



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.23.15.43-TDI

DISPERSÃO DO CAMPO MAGNÉTICO EM TORNO DE GLÓBULOS DE BOK

Victor de Souza Magalhães

Dissertação de Mestrado do Curso
de Pós-Graduação em Astrofísica,
orientada pela Dra. Cláudia Vi-
lega Rodrigues, aprovada em 8 de
março de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BDLPKH>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.23.15.43-TDI

DISPERSÃO DO CAMPO MAGNÉTICO EM TORNO DE GLÓBULOS DE BOK

Victor de Souza Magalhães

Dissertação de Mestrado do Curso
de Pós-Graduação em Astrofísica,
orientada pela Dra. Cláudia Vi-
lega Rodrigues, aprovada em 8 de
março de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BDLPKH>>

INPE
São José dos Campos
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Magalhães, Victor de Souza.
M27d Dispersão do campo magnético em torno de glóbulos de Bok / Victor de Souza Magalhães. – São José dos Campos : INPE, 2012.
xxxii + 144 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.23.15.43-TDI)

Dissertação (Mestrado em Astrofísica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientadores : Dra. Cláudia Vilega Rodrigues.

1. formação estelar. 2. objetos estelares jovens. 3. polarimetria. 4 infravermelho. 5 óptico. 6 meio interestelar. I.Título.

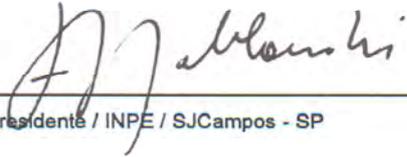
CDU 524.5

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Astrofísica

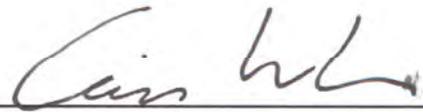
Dr. Francisco José Jablonski


Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Cláudia Vilega Rodrigues


Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Cássio Leandro Dal Ri Barbosa


Convidado(a) / UNIVAP / São José dos Campos - SP

Dr. Antonio Mário Magalhães


Convidado(a) / IAG/USP / São Paulo - SP

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

Aluno (a): Victor de Souza Magalhães

São José dos Campos, 08 de março de 2012

*“Estrelas, a noite estival da o cintilar
de muitas estrelas na negridão do firmamento.
Estrelas, pensa-se ser grãozinhos
a luzir no meio do infinito, da infinita
noite calmosa a mostrar o Cruzeiro do Sul
fulgurando ao desvão da janela
aberta para o ar do verão, cruzeiro,
quatro pontas, cada uma com uma estrela
luzindo nos céus infindos a marcar
Leste, Oeste, Norte, Sul e mais uma quinta,
menos brilhante, se apascentando no rumo
Sudoeste - para lá viajamos - no Saco de Magalhães,
nos limites da Galáxia...”*

*Certa vez um pai, numa noite também estival,
deu de presente a Estrela Vésper
ao filho Pedro - era a única riqueza
que lhe podia deixar de herança.
Nesta noite bochornosa, o avô dá as pontas
do Cruzeiro do Sul ao neto Victor”.*

JOSÉ HELDER DE SOUZA
em “CHUVA, TRISTE CHUVA DE ESTIO”, VIAGEM:
CAMINHOS, 1998

A meu avô José Helder, por me ensinar a olhar para o céu.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, aos meus pais, Zuleika e José Geraldo, por todos os ensinamentos e carinhos. A minha mãe sempre esteve ao meu lado me apoiando e me repreendendo quando necessário, mãe por causa da sua presença e ajuda que eu pude alcançar os meus sonhos. Pai, lembro-me da primeira vez que você me apresentou Discovery channel (era um programa relacionado ao ônibus espacial)! Desde daquele dia, a minha curiosidade não parou de crescer. Por isso agradeço as discussões filosóficas como também por sempre me escutar (os seus conselhos me ajudaram muito).

Sou grato também a minha avó Cida pelo seu carinho incondicional, a minha avó Neide pelos cuidados e pela atenção e ao meu avô Avelino pelo carinho e apoio nos estudos. Não posso deixar de agradecer os meus queridos tios Gustavo, Andréia, Tereza e Adriana, pelo amor, alegria e carinho. Como também a minha “boadrasta”(se eu colocar madrasta ela fica triste) Lúcia Helena pela compreensão e carinho.

A minha irmã Ana por me proporcionar boas risadas. Agradeço também aos meus primos Cecília, Dudu, Chico e Vavi e o meu irmãozinho Toninho.

Aos meus amigos de Brasília pelos bons momentos. Ao meu companheiro de quarto e amigo, Boi pelas risadas, piadas, companheirismo e ajuda.

A minha orientadora Cláudia pelos conselhos acadêmicos, pela disponibilidade, pelas oportunidades, como também pelos conhecimentos que me permitiram realizar este trabalho. Aos meus companheiros do INPE que estiveram comigo nestes últimos dois anos pelo apoio, ajuda (especialmente ao Carlos) e companheirismo.

Por fim, gostaria de agradecer a minha namorada Isadora, pelo companheirismo, pelo apoio, pela dedicação, pelos momentos em que eu precisava me divertir e que só ela sabia e também as broncas e discussões que me tornaram uma pessoa melhor.

Gostaríamos de agradecer a CAPES pelo auxílio financeiro.

Ao longo deste trabalho utilizamos os serviços SIMBAD e VIZIER (SIMBAD..., 2012; VIZIER..., 2012) para obtermos informações sobre as regiões incluídas neste estudo. Também fizemos uso do *software* ALADIN para construir os mapas de polarização e as imagens em cores expostas na dissertação. Por isso, gostaríamos de agradecer ao *Centre de Données astronomiques de Strasbourg*.

As imagens IRAS, DSS e 2MASS foram obtidas através do serviço *skyview* do *Goddard Space Flight Center* da NASA. As imagens WISE e os catálogos 2MASS e WISE foram obtidos da página do NASA/IPAC *Infrared Science Archive* (IRSA..., 2011). Portanto gostaríamos de agradecer a NASA e afiliados.

Para todo o processo de redução dos dados foi utilizado o *software* IRAF. Gostaríamos de agradecer ao NOAO pela disponibilização deste *software*. E a Antonio Pereyra pelo pacote PCCDPACK.

RESUMO

A compreensão do processo de formação estelar passa por observações das propriedades do meio interestelar e das estrelas recém-formadas que devem ser consistentemente reproduzidos por estudos teóricos e simulações. Nossa proposta é contribuir para a caracterização do campo magnético interestelar em regiões de formação estelar. Em particular, pretendemos verificar se a dispersão da direção do campo magnético, σ_B , é diferente em regiões com e sem formação estelar. Neste trabalho, usamos a polarimetria óptica para mapear a direção do campo magnético em glóbulos de Bok com e sem formação estelar. A amostra consiste de 20 regiões que incluem 23 glóbulos, 14 com formação estelar e 9 sem. Esta dissertação apresenta os detalhes da observação, redução e preparação dos catálogos polarimétricos que serão usados na determinação das propriedades do campo magnético de cada região. A técnica utilizada neste trabalho permite uma determinação precisa de σ_B , quando a distribuição de ângulos de polarização é gaussiana. Dessas regiões, 13 têm uma distribuição gaussiana de ângulos de polarização, 4 apresentam uma distribuição de ângulos de polarização com estrutura espacial e 3 apresentam uma sobreposição de distribuições de ângulos de polarização. Para 15 regiões foi possível atribuir um valor para σ_B através de um ajuste gaussiano à distribuição de ângulos de polarização. Para podermos incluir as regiões com estrutura espacial no estudo da dispersão, utilizamos a razão entre a média vetorial da polarização e a média do módulo de polarização da região, η , como uma medida da organização do campo magnético na região sendo uma medida suplementar a σ_B . Por fim, encontramos que as distribuições de σ_B e η para as regiões com e sem formação estelar são diferentes, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. As médias de η e σ_B indicam que as regiões com formação estelar são ligeiramente mais ordenadas que as regiões sem formação, porém com apenas 1σ de confiança.

MAGNETIC FIELD DISPERSION NEAR BOK GLOBULES

ABSTRACT

In order to comprehend the star formation process observational and theoretical work should walk hand in hand. Our proposal is to contribute to the characterisation of the interstellar magnetic field in star forming regions. More specifically, we try to verify whether the dispersion in the magnetic field direction, σ_B , is different in regions with and without star formation. In this work we use optical polarimetry to map the interstellar magnetic field direction around Bok globules. Our sample consists of twenty regions containing twenty three Bok globules, fourteen with embedded infrared point sources and nine without. This dissertation presents the procedures for the data reduction and catalog preparation. The catalogs are used to determine the magnetic field properties of each region. Our technique allows an accurate determination of σ_B , if the polarisation angle distribution is well described by a gaussian curve. In our sample, thirteen regions show a gaussian distribution of polarisation angles, four regions show a spatially resolved distribution of polarisation angles and three regions present a superposition of polarisation angle distributions. In fifteen regions we are able to measure σ_B fitting the distribution of polarisation angles to a gaussian curve. In order to include the regions with spatially resolved distributions of polarisation angles, we use the ratio between the mean vectorial polarisation and the mean polarisation modulus, η . This quantity is a measure of the magnetic field organisation. Finally, we find that the distributions of σ_B and η for regions with and without star formation are different, according to the Kolmogorov-Smirnov test. The averages of η and σ_B indicate that regions with star formation are slightly more ordered than quiescent regions, but with only 1 σ confidence level.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Modelo esquemático de uma protoestrela com o seu envelope de poeira. As setas representam os fótons no óptico sendo emitidos da região de acreção, absorvidos no envelope de poeira e reemitidos em comprimentos de onda mais longos.	4
1.2 Objeto protoestelar com um disco circunstelar visível. A banda negra atravessando o objeto é o disco circunstelar visto de perfil.	5
1.3 Imagens WISE de candidatos a OEJs em cores falsas, azul $3.4 \mu m$, verde $12 \mu m$ e vermelho $22 \mu m$, com aproximadamente $2'$ de lado e suas distribuições espectrais de energia (JARRETT et al., 2011; COHEN et al., 2003): (a) Candidato a OEJ Classe 0 no interior do glóbululo de Bok BHR 138. (b) Candidato a OEJ Classe I no interior do glóbululo de Bok BHR 149.	7
1.4 Continuação da Figura 1.3: (c) Candidato a OEJ Classe II no interior do glóbululo de Bok BHR 117. (d) Candidato a OEJ Classe III próximo ao glóbululo de Bok BHR 059.	8
1.5 Glóbululo de Bok BHR 034. Imagem em cores falsas, azul DSS B, verde DSS R e vermelho 2MASS-J.	9
1.6 Perfil de temperatura estimado para o glóbululo de Bok B335.	11
1.7 Exemplo da extinção causada pela poeira no meio interestelar no glóbululo de Bok Barnard 68.	11
1.8 Polarização por extinção dicróica. A radiação eletromagnética na direção perpendicular a B é absorvida tornando a radiação polarizada na direção deste.	12
1.9 Imagem de NGC 1333 IRAS 4A, um sistema binário protoestelar, em 345 GHz (submilimétrico). Os contornos indicam a emissão da poeira. As barras vermelhas representam a direção medida do campo magnético. As linhas em cinza representam o melhor ajuste do campo magnético a um modelo.	14
2.1 Relação entre $\alpha_{12/25}$ e (W3 - W4).	19
2.2 Glóbululo de Bok BHR 016, imagem em cores falsas, azul J, verde H e vermelho K. O contorno em verde delimita as bordas do glóbululo de Bok. A fonte 2MASS J08052135-3909304 é o objeto na parte superior da imagem.	23

2.3	Glóbulo de Bok BHR 034, imagem em cores falsas, azul DSS2-Blue, verde DSS2-Red e vermelho 2MASS-J. É possível ver a borda do glóbulo com a emissão na banda DSS2-Red na cor verde.	24
2.4	Glóbulo de Bok BHR 053 situado na região inferior e à direita da imagem, imagem em cores falsas, azul DSS2-Blue, verde DSS2-Red e vermelho 2MASS-J. HR 3784 é a estrela muito brilhante à esquerda e BHR 053 é a região escura à direita.	25
2.5	Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 058. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Pode-se ver claramente que o glóbulo emite no infravermelho.	26
2.6	Glóbulo de Bok BHR 059, Imagem DSS2-Red.	27
2.7	Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 059. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Pode-se ver a emissão difusa em $22 \mu m$. A seta indica a posição da fonte WISE candidata a OEJ.	28
2.8	Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 075. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente.. A linha em verde é um contorno aproximado da região de maior extinção. IRAS 12213-6550 está indicado pela seta.	29
2.9	Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 111. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. A linha em verde é um contorno aproximado da região de maior extinção. O VeLLO é o objeto indicado pela seta.	30
2.10	Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 113. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente.	31
2.11	Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 117. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. A seta vermelha indica a posição do candidato a OEJ. A seta azul indica a posição de IRAS 16037-4553.	32

2.12	Imagem WISE em cores falsas do glóbulu de Bok BHR 121. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. A seta vermelha indica a posição do candidato a OEJ no interior do glóbulu. A seta amarela indica a posição de HD 152824. A seta azul indica a posição da fonte na condensação a leste.	33
2.13	Imagem WISE em cores falsas do glóbulu de Bok BHR 140. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Os três candidatos a OEJ podem ser vistos próximo ao centro da imagem.	34
2.14	Imagem WISE em cores falsas da região contendo os glóbulos de Bok BHR 148, 149, 150 e 151. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Em azul os contornos da extinção óptica inferida visualmente da imagem DSS na banda R.	35
3.1	Sistema óptico da gaveta polarimétrica.	38
3.2	Glóbulu de Bok BHR 138. À esquerda, observado no Observatório do Pico do Dias com a gaveta polarimétrica na banda I_c . À direita, imagem retirada de DSS, DSS2-Red. Na imagem à esquerda, pode-se observar as imagens dos feixes ordinário e extraordinário separados pelo prisma de Savart.	39
3.3	À esquerda, uma imagem individual de <i>bias</i> , à direita, uma imagem de <i>master bias</i> que é o resultado da combinação de 400 imagens individuais de <i>bias</i>	44
3.4	À esquerda, uma imagem individual de <i>flat-field</i> e, à direita, imagem combinada de 100 imagens individuais de <i>flat-field</i>	45
3.5	À esquerda, máscara de <i>bad pixels</i> . À direita, imagem de <i>fringing</i>	46
3.6	Imagem do glóbulu de Bok BHR 117 na banda H subtraída da imagem de céu.	48
3.7	À esquerda, imagem na banda H do glóbulu de Bok BHR 074 obtida com a CamIV com 5 segundos de exposição, corrigida de <i>flat-field</i> e céu. À direita, combinação de 40 imagens de 5 segundos de exposição na banda H do glóbulu de Bok BHR 074.	49
3.8	Representação gráfica do ajuste realizado pela rotina <i>pccdgen</i> para o cálculo da polarização.	51

3.9	Saída da rotina <i>select</i> para o glóbulo de Bok BHR 121, na banda I_c . (a) distribuição dos parâmetros de Stokes q e u ; (b) mapa de polarização; (c) histograma da direção de polarização e (d) histograma do grau de polarização.	52
3.10	Catálogo final do glóbulo de Bok BHR 074 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red deste campo. As polarizações com duas medidas estão representadas em magenta, com três, em vermelho e com quatro, em laranja.	53
4.1	Saída da rotina <i>select</i> do PCCDPACK mostrando o histograma da direção de polarização, banda I_c , para a região contendo o glóbulo de Bok BHR 138. Sobreposto ao histograma está um ajuste Gaussiano e no canto superior direito os parâmetro do ajuste, bem como seu erro RMS. Neste e nos outros histogramas da direção da polarização apresentados neste capítulo a direção de polarização esta em graus.	58
4.2	Glóbulo de Bok BHR 034, imagem em cores falsas, azul B, verde R e vermelho J, com os vetores de polarização obtidos nas bandas I_c (em verde) e H (apenas objetos não coincidentes, em vermelho) sobrepostos à imagem. A polarização do objeto que está atrás da borda brilhante do glóbulo tem o vetor de polarização paralelo à ela.	60
4.3	Mapa de polarização óptico, banda I_c , de BHR 140 sobreposto à imagem WISE em cores falsas, azul $3.4 \mu m$, verde $12 \mu m$ e vermelho $22 \mu m$, com aproximadamente $25'' \times 20''$. A seta indica a posição da estrela vista próxima ao OEJ Classe 0 referida no texto.	62
4.4	Histograma da direção de polarização da região de BHR 117 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	63
4.5	Mapa de polarização da região de BHR 117 na banda I_c sobreposto à imagem em cores falsas, azul DSS2-Red, verde $22 \mu m$ WISE e vermelho $100 \mu m$ IRAS. Pode-se ver que próximo ao OEJ a polarização não tem uma direção preferencial.	63
4.6	Histogramas da direção de polarização na banda I_c para as regiões contendo os glóbulos de Bok BHR 044 à esquerda e 145 à direita. Direção de polarização em graus.	64
4.7	Mapas de polarização na banda I_c para as regiões contendo os glóbulos de Bok BHR 044 à esquerda e 145 à direita.	64
4.8	Histograma de polarização da região BHR 148-151 na banda I_c com um deslocamento de 90° . Direção de polarização em graus.	65

4.9	Mapa de polarização da região BHR 148-151 na banda I_c . Em azul os contornos da extinção óptica inferida visualmente da imagem DSS na banda R. É possível perceber que os vetores de polarização não são aleatoriamente distribuídos	66
4.10	Histograma de polarização da região de BHR 053 na banda I_c com um deslocamento de -70° . Direção de polarização em graus.	67
4.11	Histogramas de polarização da região de BHR 053 na banda I_c com um deslocamento de -70° . À esquerda, objetos com polarização menor que 1%. À direita, com polarização maior que 1,5%. É possível ver que as componentes de alta e baixa polarização possuem direções preferenciais diferentes. Direção de polarização em graus.	68
4.12	Gráfico de polarização versus magnitude instrumental para a região de BHR 053 na banda I_c . A população de baixa polarização e magnitude instrumental é ressaltada pela elipse vermelha.	69
4.13	Histograma de polarização de BHR 053 na banda I_c com a componente de menor polarização subtraída. Um deslocamento de -70° foi aplicado para melhorar a visualização do histograma. Direção de polarização em graus.	70
4.14	Histogramas da direção de polarização para BHR 059 na banda I_c . À esquerda, histograma com todos objetos. À direita, apenas os objetos com polarização $< 1,2\%$. Direção de polarização em graus.	70
4.15	Mapa de polarização na banda I_c da componente de alta polarização ($P > 2,1\%$) da região de BHR 059 sobreposto à imagem em cores falsas, azul $3,4 \mu m$, verde $12 \mu m$ e vermelho $22 \mu m$, também sobreposto à imagem está um contorno aproximado da extinção inferida visualmente da imagem DSS2-Red da região. Com este figura é possível ver que o grau de polarização aumenta em direção à região com emissão em $22 \mu m$ e que a direção de alguns vetores parece correlacionar com os contornos aproximados do glóbulo de Bok.	71
4.16	Histograma de direção de polarização para BHR 133 na banda I_c . É possível ver que o histograma não segue um perfil gaussiano. Direção de polarização em graus.	72

4.17	Histogramas da direção de polarização para BHR 133 na banda I_c : (a) Histograma da direção de polarização para objetos com polarização $> 5,5\%$, Pode-se ver que a direção preferencial dos objetos com alta polarização está em $\sim 50^\circ$; (b) Histograma da direção de polarização para subtraído 1; (c) Histograma da direção de polarização para subtraído 2; (d) Histograma da direção de polarização para subtraído 3. Direção de polarização em graus.	73
4.18	Histograma do grau de polarização para BHR 133 na banda I_c . Em $5,5\%$ de polarização ($P = 0,055$, indicado pela seta) o número de objetos sobe repentinamente.	74
5.1	σ_B versus média vetorial da polarização.	76
5.2	σ_B versus média do módulo de polarização	76
5.3	σ_B versus η . η aparenta crescer com o inverso de σ_B	78
5.4	η versus média do módulo de polarização.	79
5.5	η versus média do módulo de polarização dividida pela extinção. As barras de erro no eixo y são menores que os pontos.	79
5.6	Distribuição da média do módulo de polarização com longitude Galáctica. As barras de erro são menores que os pontos.	80
5.7	Distribuição da eficiência de polarização com longitude Galáctica. As barras de erro são menores que os pontos.	81
A.1	Mapa de polarização de BHR 016 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	97
A.2	Mapa de polarização de BHR 034 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	98
A.3	Mapa de polarização de BHR 044 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	99
A.4	Mapa de polarização de BHR 053 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	100
A.5	Mapa de polarização de BHR 058 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	101
A.6	Mapa de polarização de BHR 059 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	102
A.7	Mapa de polarização de BHR 074 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	103
A.8	Mapa de polarização de BHR 075 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	104

A.9	Mapa de polarização de BHR 111 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	105
A.10	Mapa de polarização de BHR 113 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	106
A.11	Mapa de polarização de BHR 117 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	107
A.12	Mapa de polarização de BHR 121 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	108
A.13	Mapa de polarização de BHR 126 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	109
A.14	Mapa de polarização de BHR 133 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	110
A.15	Mapa de polarização de BHR 138 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	111
A.16	Mapa de polarização de BHR 139 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	112
A.17	Mapa de polarização de BHR 140 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	113
A.18	Mapa de polarização de BHR 144 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	114
A.19	Mapa de polarização de BHR 145 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	115
A.20	Mapa de polarização de BHR 148-151 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.	116
A.21	Mapa de polarização de BHR 016 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	117
A.22	Mapa de polarização de BHR 034 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	118
A.23	Mapa de polarização de BHR 044 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	119
A.24	Mapa de polarização de BHR 059 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	120
A.25	Mapa de polarização de BHR 074 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	121
A.26	Mapa de polarização de BHR 075 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	122
A.27	Mapa de polarização de BHR 111 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	123

A.28	Mapa de polarização de BHR 113 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	124
A.29	Mapa de polarização de BHR 121 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	125
A.30	Mapa de polarização de BHR 145 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	126
A.31	Mapa de polarização de BHR 148-151 na banda H sobreposto à imagem 2MASS-H da região.	127
B.1	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 016 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	129
B.2	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 034 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	129
B.3	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 044 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	130
B.4	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 053 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	130
B.5	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 058 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	131
B.6	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 059 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	131
B.7	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 074 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	132
B.8	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 075 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	132
B.9	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 111 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	133
B.10	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 113 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	133
B.11	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 117 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	134
B.12	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 121 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	134
B.13	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 126 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	135
B.14	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 133 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	135
B.15	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 138 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	136

B.16	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 139 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	136
B.17	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 140 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	137
B.18	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 144 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	137
B.19	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 145 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	138
B.20	Histograma da direção de polarização da região contendo os glóbulos de Bok BHR 148-151 na banda I_c . Direção de polarização em graus.	138
B.21	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 016 na banda H . Direção de polarização em graus.	139
B.22	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 034 na banda H . Direção de polarização em graus.	140
B.23	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 044 na banda H . Direção de polarização em graus.	140
B.24	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 059 na banda H . Direção de polarização em graus.	141
B.25	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 074 na banda H . Direção de polarização em graus.	141
B.26	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 075 na banda H . Direção de polarização em graus.	142
B.27	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 111 na banda H . Direção de polarização em graus.	142
B.28	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 113 na banda H . Direção de polarização em graus.	143
B.29	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 121 na banda H . Direção de polarização em graus.	143
B.30	Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 145 na banda H . Direção de polarização em graus.	144
B.31	Histograma da direção de polarização da região contendo os glóbulos de Bok BHR 148-151 na banda H . Direção de polarização em graus.	144

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1.1 Classificação de OEJs em classes baseada no valor do índice espectral α (LADA, 1987).	6
2.1 Características da amostra.	18
2.2 Fotometria IRAS e WISE das fontes utilizadas para realizar a regressão linear (Dados das fontes IRAS obtidos em VIZIER..., 2012).	19
2.3 Classificação dos objetos estelares jovens em termos de $\alpha_{12/25}$ e W3 - W4.	21
2.4 Propriedades dos candidatos a OEJ identificados nas regiões incluídas neste estudo.	21
2.5 Características inferidas dos glóbulos a partir dos dados 2MASS, DSS, IRAS e WISE	22
3.1 Descrição das observações dos glóbulos de Bok.	39
3.2 Observações das estrelas padrões polarimétricas.	41
3.3 Resultados do cálculo da polarimetria para as estrelas padrões utilizadas.	42
4.1 Propriedades polarimétricas das regiões estudadas na banda I_c	56
4.2 Propriedades polarimétricas das regiões estudadas na banda H	57
4.3 Comparação entre as propriedades dos histogramas ópticos e infravermelhos de cada região (bandas I_c e H).	59
5.1 Propriedades polarimétricas da amostra analisadas neste capítulo.	77
5.2 Resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov	82
5.3 Médias e dispersões de σ_B e η com e sem formação estelar.	82
A.1 Catálogo ASCII de polarização de BHR 034 na banda I_c	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2MASS	–	<i>2 Micron All Sky Survey</i>
CCD	–	<i>Charge Coupled Device</i>
DSS	–	<i>Digitized Sky Survey</i>
IRAF	–	<i>Image Reduction and Analysis Facility</i>
IRAS	–	<i>Infrared Astronomical Satellite</i>
N/D	–	Não disponível
OEJ	–	Objeto Estelar Jovem
WISE	–	<i>Wide-field Infrared Survey Explorer</i>

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Formação estelar	1
1.1.1 Colapso e estabilidade das nuvens moleculares	1
1.1.2 Objetos estelares jovens	3
1.1.3 Classificação de objetos estelares jovens	4
1.2 Meio interestelar e glóbulos de Bok	6
1.3 Poeira e campo magnético	10
1.3.1 Polarimetria do meio interestelar e glóbulos de Bok	13
1.4 Justificativa deste trabalho	13
2 REVISÃO DA ASSOCIAÇÃO COM OEJS	17
2.1 Amostra	17
2.2 Transformação entre WISE e IRAS	17
2.3 Breve descrição dos campos	20
2.3.1 BHR 016	23
2.3.2 BHR 034	24
2.3.3 BHR 044	24
2.3.4 BHR 053	25
2.3.5 BHR 058	25
2.3.6 BHR 059	26
2.3.7 BHR 074	27
2.3.8 BHR 075	27
2.3.9 BHR 111	28
2.3.10 BHR 113	28
2.3.11 BHR 117	29
2.3.12 BHR 121	29
2.3.13 BHR 126	30
2.3.14 BHR 133	31
2.3.15 BHR 138	31
2.3.16 BHR 139	32
2.3.17 BHR 140	32
2.3.18 BHR 144	34

2.3.19	BHR 145	34
2.3.20	BHR 148-151	34
3	OBTENÇÃO E REDUÇÃO DOS DADOS	37
3.1	Gaveta polarimétrica do Observatório do Pico dos Dias	37
3.2	Obtenção dos dados	38
3.2.1	Dados no óptico	40
3.2.2	Dados no infravermelho	43
3.3	Preparação dos dados	43
3.3.1	Dados no óptico	43
3.3.2	Dados no infravermelho	46
3.4	Redução polarimétrica	49
4	ANÁLISE INDIVIDUAL DA POLARIMETRIA NAS REGIÕES ESTUDADAS	55
4.1	Propriedades polarimétricas dos campos estudados no óptico	55
4.2	Propriedades polarimétricas dos campos estudados no infravermelho	58
4.3	Classificação das regiões	60
4.4	Regiões com distribuições Gaussianas de ângulo de polarização	61
4.5	Regiões com estrutura espacial	61
4.5.1	BHR 117	61
4.5.2	BHR 044 e 145	62
4.5.3	BHR 148-151	65
4.6	Regiões com sobreposição de distribuições de ângulos de polarização	65
4.6.1	BHR 053	67
4.6.2	BHR 059	68
4.6.3	BHR 133	72
5	ANÁLISE DAS PROPRIEDADES POLARIMÉTRICAS DA AMOSTRA	75
5.1	Características da amostra	75
5.1.1	Grau de polarização como função da longitude Galáctica	80
5.2	Propriedades do campo magnético e formação estelar	81
6	CONCLUSÕES	85

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
---	-----------

**APÊNDICE A - CATÁLOGOS DE POLARIZAÇÃO DAS RE-
GIÕES ESTUDADAS**

95

A.1 Exemplo de catálogo de polarização	95
--	----

A.2 Mapas de polarização no óptico	97
--	----

A.3 Mapas de polarização no infravermelho	117
---	-----

**APÊNDICE B - HISTOGRAMAS DE POLARIZAÇÃO DAS RE-
GIÕES ESTUDADAS**

129

B.1 Histogramas de polarização no óptico	129
--	-----

B.2 Histogramas de polarização no infravermelho	139
---	-----

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados temas necessários ao entendimento deste trabalho de mestrado. Na Seção 1.1, é brevemente discutido o problema da formação estelar, incluindo uma descrição simplificada deste processo. Na Seção 1.2, é feita uma breve revisão do meio interestelar com ênfase nos glóbulos de Bok. A Seção 1.3 descreve o mecanismo que produz a polarização interestelar. Por fim na Seção 1.4, apresentamos o objetivo deste trabalho e uma breve justificativa.

1.1 Formação estelar

As estrelas formam-se a partir do colapso gravitacional de regiões densas do meio interestelar. A evidência disto é a associação das nuvens moleculares com as estrelas variáveis T Tauri. Estas são protoestrelas que estão próximas de ingressar na sequência principal. Uma outra evidência desta associação é a presença de fontes puntiformes infravermelhas, associadas a estágios iniciais de formação estelar, no interior de glóbulos de Bok e núcleos densos (CLEMENS; BARVAINIS, 1988).

Nas seções seguintes, serão apresentados alguns tópicos referentes à formação estelar relevantes para este estudo. Na Seção 1.1.1, será discutido brevemente o colapso das nuvens moleculares que precede a formação estelar. Na Seção 1.1.2, os objetos estelares jovens (OEJs) são apresentados, e sua classificação é explicada na Seção 1.1.3.

1.1.1 Colapso e estabilidade das nuvens moleculares

A ocorrência da formação estelar depende da nuvem molecular ser capaz de colapsar a ponto de atingir densidade estelares. As propriedades físicas da nuvem e do seu entorno como, temperatura, pressão, densidade, turbulência e campo magnético, influenciam a dinâmica deste processo. Dois modelos simples são apresentados abaixo que exemplificam casos onde uma massa máxima para uma configuração sem colapso pode ser calculada analiticamente.

Na década de 1950, Bonnor (1956) e Ebert (1955) obtiveram, independentemente, o modelo que é a base dos estudos de instabilidades gravitacionais em nuvens moleculares. Esse modelo é conhecido como a esfera de Bonnor-Ebert. Nele é assumido que a nuvem é esférica, isotérmica e sem rotação. Com estes modelos são obtidas as soluções para a densidade e pressão no interior da nuvem. Essas soluções ditam que, para uma dada pressão externa e temperatura interna da nuvem, existe uma massa máxima que a pressão interna consegue suportar contra o colapso gravitacional. Essa

massa limite ficou conhecida como a massa de Bonnor-Ebert, M_{BE} :

$$M_{BE} = \frac{1,18 c_S^4}{P_S^{1/2} G^{3/2}}, \quad (1.1)$$

onde P_S é a pressão externa à nuvem, c_S é a velocidade isotérmica do som no interior da nuvem e G é a constante gravitacional. A dependência de M_{BE} com a temperatura está embutida em c_s :

$$c_S = \sqrt{\frac{kT}{\mu m_H}}. \quad (1.2)$$

A massa de Bonnor-Ebert nas condições típicas de uma nuvem molecular ($T \sim 10 K$, $\mu \sim 2$ e $P_S \sim 10^{-12} \text{ erg cm}^{-3}$) é $M_{BE} \sim 5 M_\odot$.

Se uma nuvem com as características da esfera de Bonnor-Ebert estiver em uma região onde há um campo magnético, este ajuda a dar suporte à nuvem. Esse suporte ocorre porque o fluxo magnético se conserva durante a compressão, devido ao efeito de congelamento das linhas de campo magnético na matéria. As condições em uma nuvem molecular no meio interestelar:

- Baixa densidade ($n \sim 1 \text{ cm}^{-3}$);
- Baixa temperatura ($T \sim 10 K$);
- baixo grau de ionização ($n_i/N_H \sim 1\%$),

tornam o tempo de difusão do campo magnético lento o suficiente para que o congelamento das linhas de campo seja eficiente. Por isso, a energia magnética do sistema cresce quando a nuvem é comprimida, dificultando o colapso (e.g. [Krumholz, 2010](#)). Porém, o campo magnético só pode suportar o colapso para massas menores que uma determinada massa crítica. A massa crítica magnética, M_Φ , tem a forma (e.g. [Krumholz, 2010](#)):

$$M_\Phi = \sqrt{\frac{5}{2}} \left(\frac{\Phi_B}{3\pi G^{1/2}} \right), \quad (1.3)$$

onde Φ_B é o fluxo magnético através da nuvem e G é a constante gravitacional.

Essa massa crítica independe de temperatura ou pressão dependendo apenas do campo magnético. Porém, essa aproximação só é válida quando a energia magnética é a principal fonte de suporte. O valor do fluxo magnético através de uma nuvem esférica inserida em um campo magnético uniforme de $50 \mu G$, com um tamanho similar à um glóbulo de Bok é de $\Phi_B \sim 3 \times 10^5 G \cdot cm^2$. Com este fluxo magnético, a massa crítica magnética é $M_\Phi \sim 15 M_\odot$. Na superfície da Terra, o campo magnético varia entre 0,25 e 0,65 G , com estes valores, o fluxo magnético através de uma janela de $1 m^2$ de área é de $\Phi_B = 25 - 65 G \cdot cm^2$. Este fluxo magnético é capaz de suportar uma massa de $\sim 200 - 500 g$ contra o colapso gravitacional.

Esses dois modelos simples são a base para os modelos refinados de estudo da estabilidade de nuvens moleculares. Estes modelos descrevem bem o comportamento de glóbulos de Bok e nuvens moleculares apesar de sua aparência simples. Modelos que levam em conta a rotação e outros efeitos dinâmicos como a propagação de ondas MHD, turbulência e outros, são refinamentos desses modelos.

1.1.2 Objetos estelares jovens

O texto desta Seção é baseado no Capítulo 11 de [Stahler e Palla \(2004\)](#).

Quando o núcleo denso de uma nuvem molecular começa a colapsar, ele aumenta a sua massa devido à acreção de matéria da nuvem ao seu redor. Por ser capaz de irradiar o calor gerado no acréscimo no infravermelho distante, devido à presença de poeira, o núcleo fica mais denso sem diminuir de tamanho. Quando a parte interna do núcleo se torna opaco à radiação de resfriamento emitida por ele, a pressão interna é capaz de manter um quase-equilíbrio hidrostático. Ainda assim, o material que cai no núcleo é capaz de irradiar no infravermelho, o que faz com que o núcleo comece a se contrair. Com a contração, a temperatura no interior aumenta. Quando a temperatura passa a ser alta o suficiente para começar a dissociar o hidrogênio molecular, o quase-equilíbrio hidrostático se desfaz devido ao grande contraste de densidades. O núcleo então colapsa, formando uma estrutura em equilíbrio hidrostático, a protoestrela.

A protoestrela é quente o suficiente em seu interior para que todo o hidrogênio esteja ionizado. Portanto, não é sujeita à instabilidades decorrentes da dissociação do hidrogênio atômico ou molecular os quais poderiam desfazer o equilíbrio hidrostático. Esta estrutura continua a adquirir massa da nuvem ao seu redor. Neste momento, a sua maior fonte de luminosidade é a acreção. A acreção na superfície da protoestrela produz fótons no óptico que são absorvidos na camada de poeira que a circunda sendo

reemitidos no infravermelho (vide Figura 1.1).

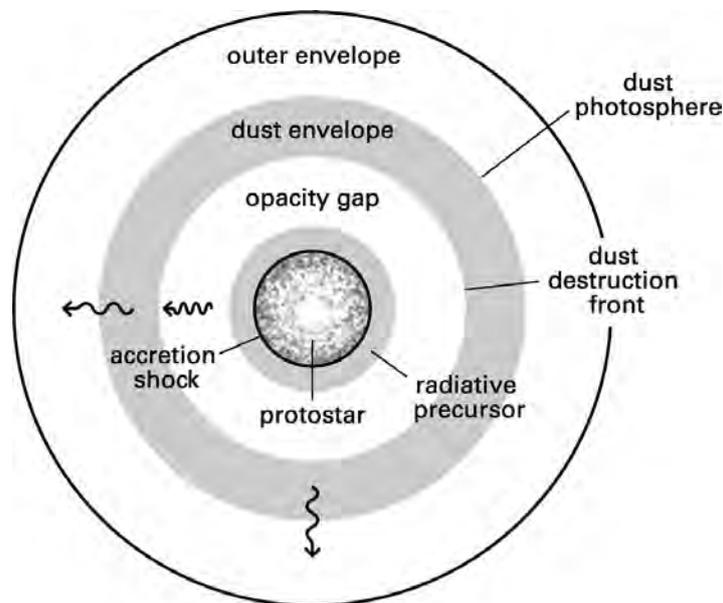


Figura 1.1 - Modelo esquemático de uma protoestrela com o seu envelope de poeira. As setas representam os fótons no óptico sendo emitidos da região de acreção, absorvidos no envelope de poeira e reemitidos em comprimentos de onda mais longos.

Fonte: [Stahler e Palla \(2004\)](#)

Com a diminuição do acréscimo, o material ao redor da estrela torna-se transparente para fótons no óptico. Nesse estágio, a protoestrela se torna visível, porém ao seu redor ainda existe muito material. A maior parte desse material se encontra em um disco ao redor do equador da estrela (vide Figura 1.2). As estrelas de baixa massa nesta fase são conhecidas como estrelas T Tauri. A estrela então continua a se contrair ainda acretando massa do disco. Quando a temperatura do núcleo da estrela é suficiente para a queima de hidrogênio pelo ciclo próton-próton, a estrela atinge a sequência principal.

1.1.3 Classificação de objetos estelares jovens

A maneira mais comum de se classificar OEJs é através de sua distribuição espectral de energia. Esta classificação foi proposta por [Lada \(1987\)](#). O índice espectral,

$$\alpha = \frac{d \log(\nu F_\nu)}{d \log \nu}, \quad (1.4)$$



Figura 1.2 - Objeto protoestelar com um disco circunestelar visível. A banda negra atravessando o objeto é o disco circunestelar visto de perfil.

Fonte: [Born... \(2012\)](#)

foi a grandeza escolhida para quantificar esta classificação. Quanto menor o valor de α maior a quantidade de energia que o OEJ emite em comprimentos de onda mais longos com relação a comprimentos de onda mais curtos. Ou seja, mais envolto por poeira. Uma forma comumente utilizada deste índice é sua versão baseada nos fluxos em 12 e 25 μm ,

$$\alpha_{12/25} = \frac{\log(\nu_{12 \mu m} F_{12 \mu m}) - \log(\nu_{25 \mu m} F_{25 \mu m})}{\log(\nu_{12 \mu m}) - \log(\nu_{25 \mu m})}. \quad (1.5)$$

Inicialmente, [Adams et al. \(1987\)](#) propuseram três classes baseadas no valor de α ; classes I, II e III. Os objetos Classe I seriam os objetos mais envoltos em poeira com o espectro no infravermelho médio crescendo em direção ao infravermelho distante (vide Tabela 1.1). Os objetos Classe II seriam os objetos com espectro aproximadamente plano no infravermelho médio, ou crescendo levemente em direção ao infravermelho próximo (vide Tabela 1.1). Os objetos Classe III seriam os objetos com o pico de seus espectros no infravermelho próximo (vide Tabela 1.1). [Andre et](#)

al. (1993) perceberam que alguns objetos possuíam espectros ainda mais inclinados para o vermelho que os objetos Classe I, ou seja mais envoltos em poeira. Estes autores propuseram então uma nova classe, a Classe 0 (vide Tabela 1.1). Essa classificação se relaciona com o estágio evolutivo dos OEJs, pois estes com o passar do tempo ficam cada vez menos envoltos em poeira.

Tabela 1.1 - Classificação de OEJs em classes baseada no valor do índice espectral α (LADA, 1987).

Classe	índice espectral
0	$\alpha < -3$
I	$-3 < \alpha < 0$
II	$0 < \alpha < 2$
III	$2 < \alpha < 3$

Este sistema de classificação é utilizado neste trabalho no Capítulo 2, para identificar as regiões com e sem formação estelar. As Figuras 1.3 e 1.4 mostram OEJs de todas as classes como vistos no infravermelho e suas distribuições espectrais de energia. As imagens em cores falsas apresentadas foram construídas com imagens do satélite *Wide-field Infrared Survey Explorer* (WISE; WRIGHT et al., 2010).

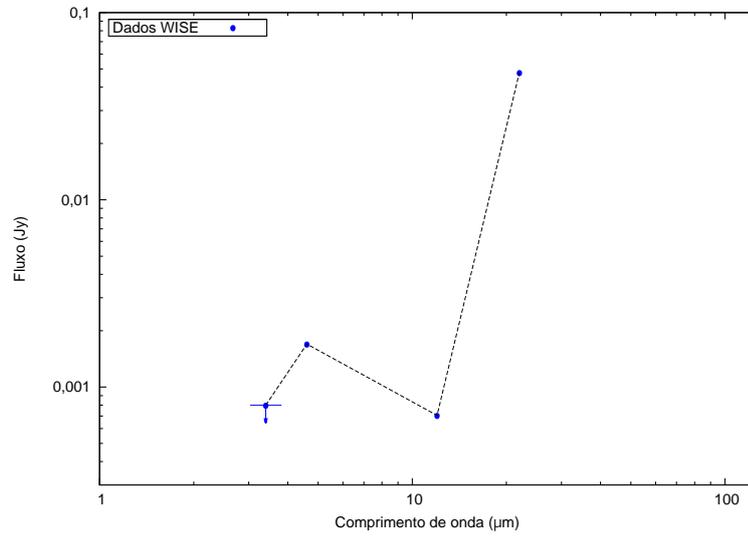
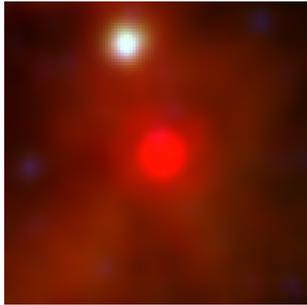
1.2 Meio interestelar e glóbulos de Bok

O meio interestelar é composto basicamente por 3 fases (e.g. STAHLER; PALLA, 2004):

- uma fase fria com temperaturas próximas a 10 K, e altas densidades, $n > 10^2 \text{ cm}^{-3}$. A maior parte da matéria nesta fase se encontra em moléculas;
- uma fase difusa com temperaturas em torno de 100 K. Nesta fase, o hidrogênio é encontrado predominantemente na forma atômica;
- e uma fase de altas temperaturas, $T \geq 10000 \text{ K}$. Nesta fase, o hidrogênio e grande parte dos átomos mais comuns se encontram ionizados.

As duas fases frias (atômica e molecular) são principalmente encontradas no plano da Galáxia. O gás na forma molecular costuma ser encontrado rodeado pelo gás na forma atômica. A fase ionizada pode ser encontrada tanto no plano quanto fora dele. No plano, o gás ionizado costuma estar associado a estrelas de alta massa, pois estas estrelas liberam muita energia na faixa do ultravioleta, portanto são capazes de ionizar o gás atômico ao seu redor.

(a)



(b)

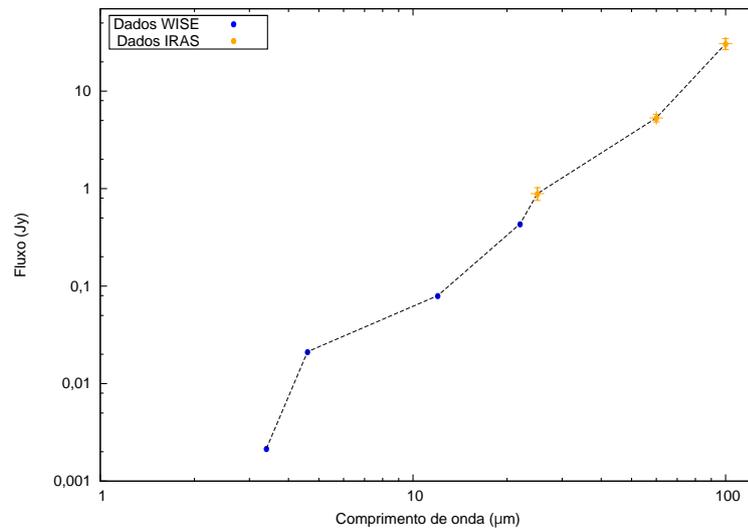
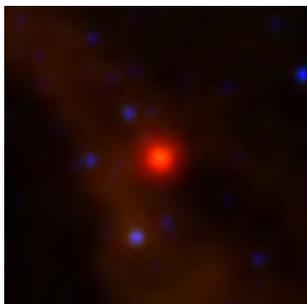
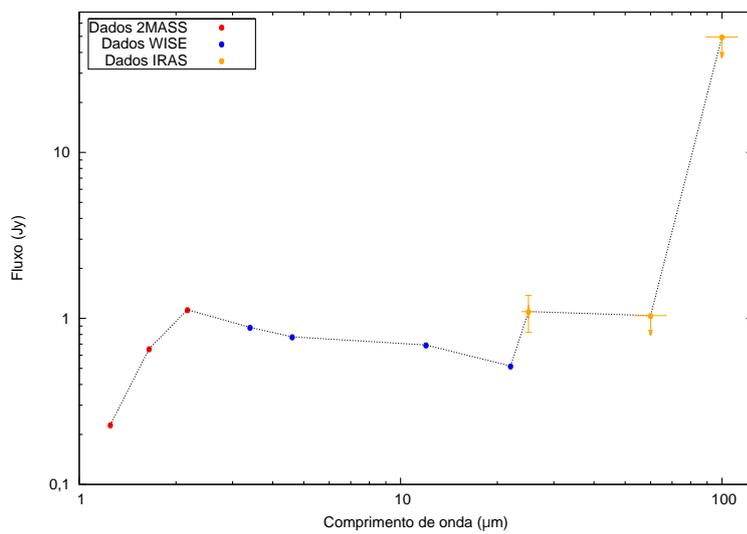


Figura 1.3 - Imagens WISE de candidatos a OEJs em cores falsas, azul $3.4 \mu\text{m}$, verde $12 \mu\text{m}$ e vermelho $22 \mu\text{m}$, com aproximadamente $2'$ de lado e suas distribuições espectrais de energia (JARRETT et al., 2011; COHEN et al., 2003): (a) Candidato a OEJ Classe 0 no interior do glóbululo de Bok BHR 138. (b) Candidato a OEJ Classe I no interior do glóbululo de Bok BHR 149.

(c)



(d)

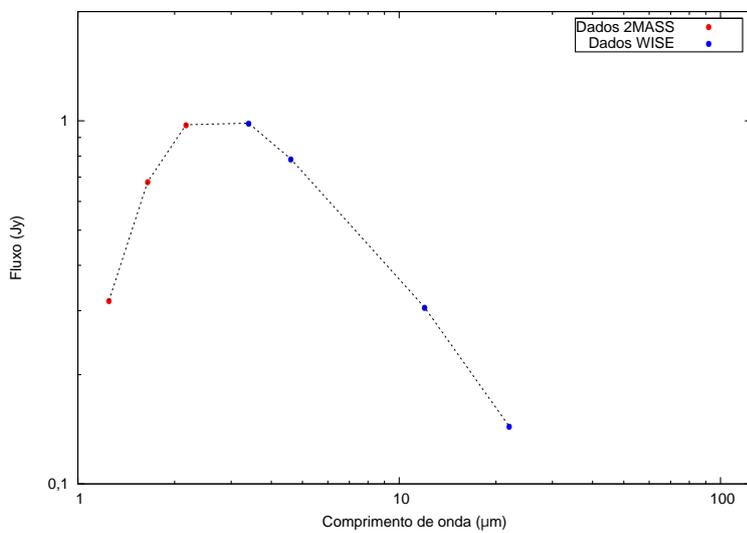
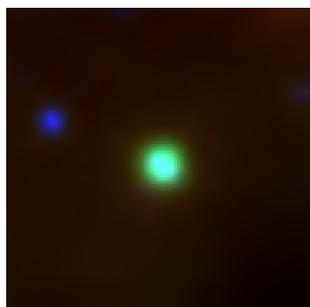


Figura 1.4 - Continuação da Figura 1.3: (c) Candidato a OEJ Classe II no interior do glóbululo de Bok BHR 117. (d) Candidato a OEJ Classe III próximo ao glóbululo de Bok BHR 059.

A maior parte do gás molecular se encontra em nuvens moleculares gigantes ($M \sim 10^4 M_\odot$), mas também pode ser encontrado em pequenas nuvens. A formação estelar ocorre nas regiões mais densas das nuvens moleculares.

Glóbulos de Bok são pequenas nuvens de hidrogênio molecular ($\sim 2 pc$), com massas em torno de $10M_\odot$ (CLEMENS et al., 1991). Acredita-se que estes glóbulos se formam a partir da erosão de nuvens moleculares gigantes, devido à ação de estrelas OB e supernovas (REIPURTH, 2008). A Figura 1.5 é um exemplo de um glóbulo de Bok.

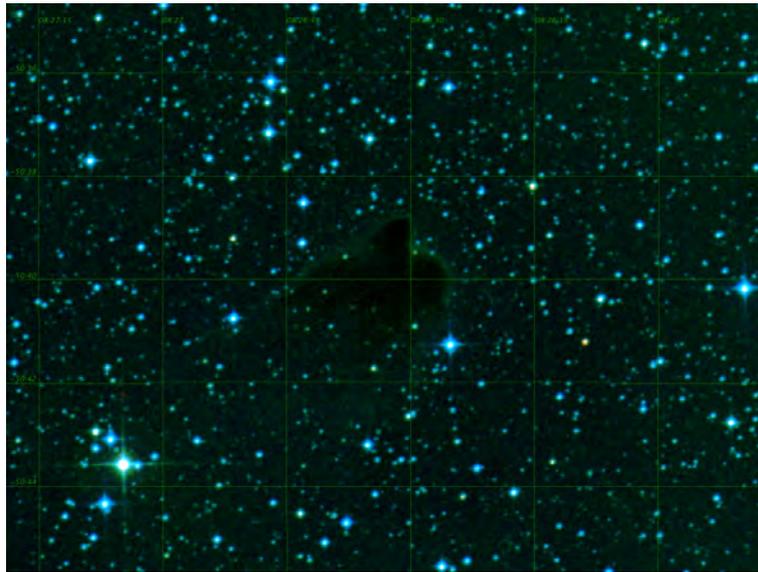


Figura 1.5 - Glóbulo de Bok BHR 034. Imagem em cores falsas, azul DSS B, verde DSS R e vermelho 2MASS-J.

Estudos sugerem que os glóbulos de Bok são em geral estáveis contra o colapso gravitacional e podem ser descritos por uma esfera de Bonnor-Ebert (e.g. RACCA et al., 2009).

Clemens e Barvainis (1988) estudaram algumas nuvens escuras do catálogo de Barnard (1919) com declinação $> -33^\circ$ que atendiam aos critérios de serem pequenas e isoladas. Com essas nuvens, Clemens e Barvainis (1988) montaram um catálogo de 225 pequenas nuvens com tamanhos angulares $\lesssim 10'$, procurando também no catálogo do satélite *Infrared Astronomical Satellite* (IRAS; Beichman et al., 1988) por fontes puntiformes associadas, assim identificando quais glóbulos possuíam formação estelar.

Posteriormente, Bourke et al. (1995) aplicaram os mesmos critérios no catálogo de nuvens escuras de Hartley (HARTLEY et al., 1986) e catalogaram as nuvens com declinação $< -33^\circ$ que possuíam as mesmas características dos objetos catalogados por Clemens e Barvainis (1988). Os objetos no catálogo de Bourke et al. (1995) são referidos com o prefixo BHR. Este novo catálogo complementa o catálogo de Clemens e Barvainis (1988) tornando a amostra de glóbulos de Bok mais completa. Bourke et al. (1995) também procuraram fontes IRAS associadas aos glóbulos para identificar quais deles possuíam formação estelar.

Por serem objetos muito frios, nuvens moleculares costumam ser estudadas no rádio. Nesta região do espectro eletromagnético, existem transições moleculares que são utilizadas para estimar densidade, temperatura e massa destes objetos. Desse modo, uma maneira comum de se inferir a temperatura dos glóbulos de Bok é usar as razões entre as linhas de transições rotacionais do monóxido de carbono. No caso do glóbulo de Bok Barnard 335 (B335), Frerking et al. (1987) encontraram uma temperatura central da ordem de 10 K . O perfil radial da temperatura obtido (vide Figura 1.6) indica que na região central, os glóbulos são aproximadamente isotérmicos. Esta temperatura é mantida pelo equilíbrio entre o aquecimento gerado pela interação do glóbulo com os raios cósmicos e o resfriamento causado pela emissão das linhas moleculares (e.g. DYSON; WILLIAMS, 1997; KRUMHOLZ, 2010).

A densidade em glóbulos de Bok costuma ser obtida através de traçadores de densidade como a transição $J_{1\rightarrow 0}$ de isótopos mais raros de monóxido de carbono ($^{13}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$, etc.), amônia e sulfeto de carbono (e.g. Stahler e Palla, 2004). Cada uma destas linhas se torna opticamente espessa em uma densidade diferente, o que torna possível traçar as densidades a partir dos pontos de saturação de cada linha. As densidades obtidas com esse método chegam a 10^5 cm^{-3} para as regiões centrais do glóbulos e caem para cerca de 10^2 cm^{-3} nas regiões externas dos glóbulos.

1.3 Poeira e campo magnético

No meio interestelar, além do gás, há também poeira. A poeira interestelar é composta, em sua maioria, por partículas feitas de elementos mais pesados que o hélio, principalmente por carbono, silício, ferro e compostos destes elementos com oxigênio. Estes grãos são pequenos, medindo aproximadamente $0,1\ \mu\text{m}$, e possuem formatos irregulares (e.g. Stahler e Palla, 2004). A mais notável evidência da presença destes grãos é a extinção visual provocada por eles (vide Figura 1.7). Além disso, os grãos são responsáveis pela emissão contínua no submilimétrico e pela polarização interestelar no óptico infravermelho e submilimétrico.

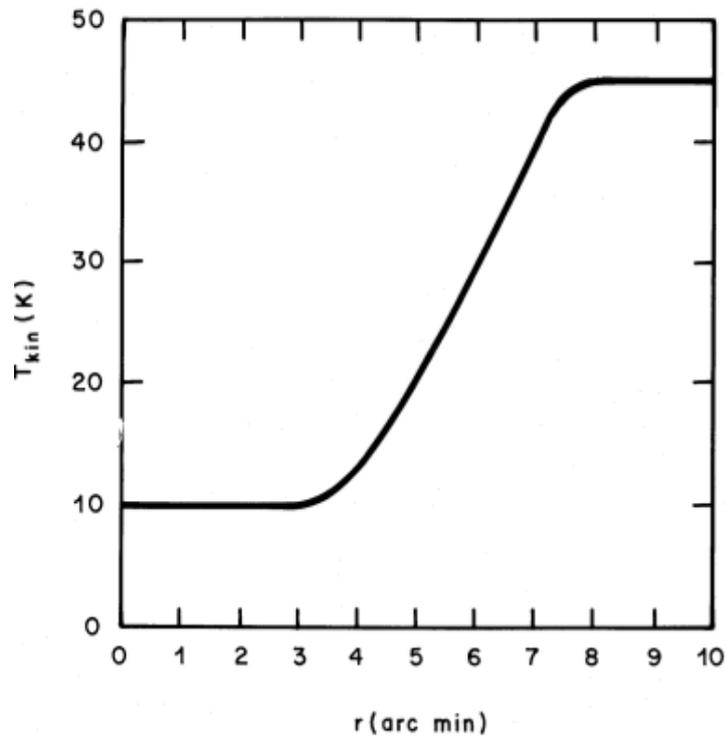


Figura 1.6 - Perfil de temperatura estimado para o glóbulo de Bok B335.
 Fonte: Frerking et al. (1987)



Figura 1.7 - Exemplo da extinção causada pela poeira no meio interestelar no glóbulo de Bok Barnard 68.
 Fonte: Astronomy Picture Of the Day, [Astronomy...](#) (1999)

A polarização interestelar surge devido ao alinhamento dos grãos interestelares. Este alinhamento ainda não é completamente entendido. A visão clássica dita que, graças a sua composição, os grãos interestelares teriam propriedades paramagnéticas. Porém, a resposta ao campo magnético seria mais intensa devido à presença de ferro nos grãos. Esse “superparamagnetismo” faz com que os grãos interajam com o campo magnético interestelar. O torque magnético faz os grãos girarem em torno de seu eixo menor que fica alinhado ao campo magnético. Portanto, o seu eixo maior está sempre perpendicular ao campo magnético. Nesta configuração, uma quantidade maior de luz é absorvida na direção perpendicular ao campo magnético do que na direção paralela a este (vide Figura 1.8). Isto faz com que a luz que atravessa a poeira se torne polarizada ($P \sim 5\%$) na direção do campo magnético (DAVIS JR.; GREENSTEIN, 1951). Este fenômeno torna possível traçar a direção do campo magnético com o uso da polarimetria.

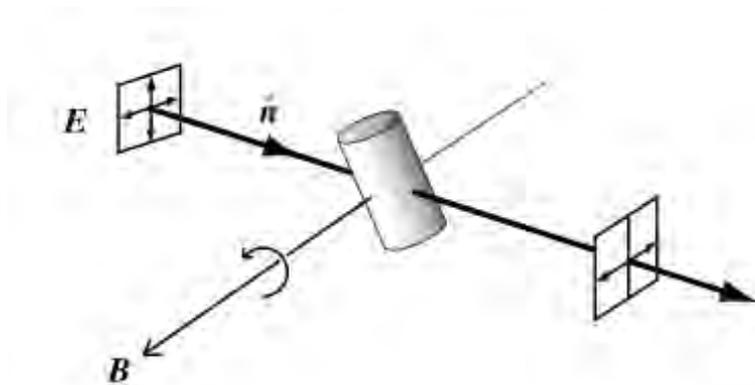


Figura 1.8 - Polarização por extinção dicróica. A radiação eletromagnética na direção perpendicular a \mathbf{B} é absorvida tornando a radiação polarizada na direção deste. Fonte: [Stahler e Palla \(2004\)](#)

De um ponto de vista observacional, se o número de objetos com polarização medida for suficiente para se fazer uma boa estatística, é possível calcular valores precisos para a direção média do campo magnético no plano do céu e também a sua dispersão (e.g. [PEREYRA; MAGALHÃES, 2004](#), [ALVES et al., 2008](#); [FRANCO et al., 2010](#); [TARGON et al., 2011](#)). Isso é importante, pois se houver equipartição de energia entre a energia cinética e magnética, a dispersão na direção das linhas de campo magnético se relaciona com velocidade de turbulência no meio ([CHANDRASEKHAR; FERMI, 1953](#)). Isso ocorre pois as linhas de campo magnético se atrelam à matéria (e. g. [Stahler e Palla, 2004](#)). Então, a dispersão do campo magnético se torna um traçador da

turbulência. A importância deste fato se deve a existência de evidências de correlação entre formação estelar e a turbulência do meio interestelar (BENSON; MYERS, 1989; PILLAI et al., 2006), ou entre a dispersão do campo magnético e a presença de formação estelar (ALVES et al., 2008; FRANCO et al., 2010; TARGON et al., 2011).

1.3.1 Polarimetria do meio interestelar e glóbulos de Bok

Nesta seção, citamos alguns trabalhos que estudaram glóbulos de Bok usando polarimetria. No submilimétrico, alguns trabalhos foram conduzidos com foco na estrutura do glóbulo e do campo magnético (WARD-THOMPSON et al., 2009; VALLÉE; BASTIEN, 2000; HENNING et al., 2001). Um resultado interessante obtido em um destes trabalhos é que a polarimetria no óptico e no submilimétrico fornece a mesma direção de campo magnético, indicando que o campo magnético no interior dos glóbulos se relaciona com o campo magnético exterior (e.g. WARD-THOMPSON et al., 2009). Estudos polarimétricos de glóbulos de Bok, conduzidos no óptico e infravermelho próximo, costumam incluir poucos objetos por região (WILLIAMS et al., 1985; JONES et al., 1984; JOSHI et al., 1985; CLEMENS et al., 1992; KANE et al., 1995; HODAPP, 1987; SEN et al., 2000).

1.4 Justificativa deste trabalho

Neste trabalho, procuramos verificar se as propriedades polarimétricas de cada região possuem alguma correlação com a presença de formação estelar nos glóbulos de Bok estudados. Alves et al. (2008) e Franco et al. (2010) encontraram que a região da Nebulosa do Cachimbo com a presença de formação estelar possui uma dispersão da direção do campo magnético maior que as regiões sem formação estelar. Esta evidência nos levou a considerar a existência de uma possível correlação entre a presença de formação estelar e a dispersão da direção do campo magnético. Uma outra evidência da importância do campo magnético para a formação estelar foi encontrada por Girart et al. (2006).

Neste trabalho os autores encontraram evidências de que a contração de uma nuvem molecular arrastou o campo magnético do meio interestelar (vide Figura 1.9).

Os glóbulos de Bok foram escolhidos por nós, por serem objetos pequenos e em geral isolados, o que os torna mais simples que grandes complexos de nuvens moleculares, onde a formação estelar é sujeita a um número maior de fatores. Por exemplo, nos complexos moleculares, a formação estelar ocorre em grupo (formação de aglomerados abertos) e por isso sujeita a interações com outras estrelas (perturbações

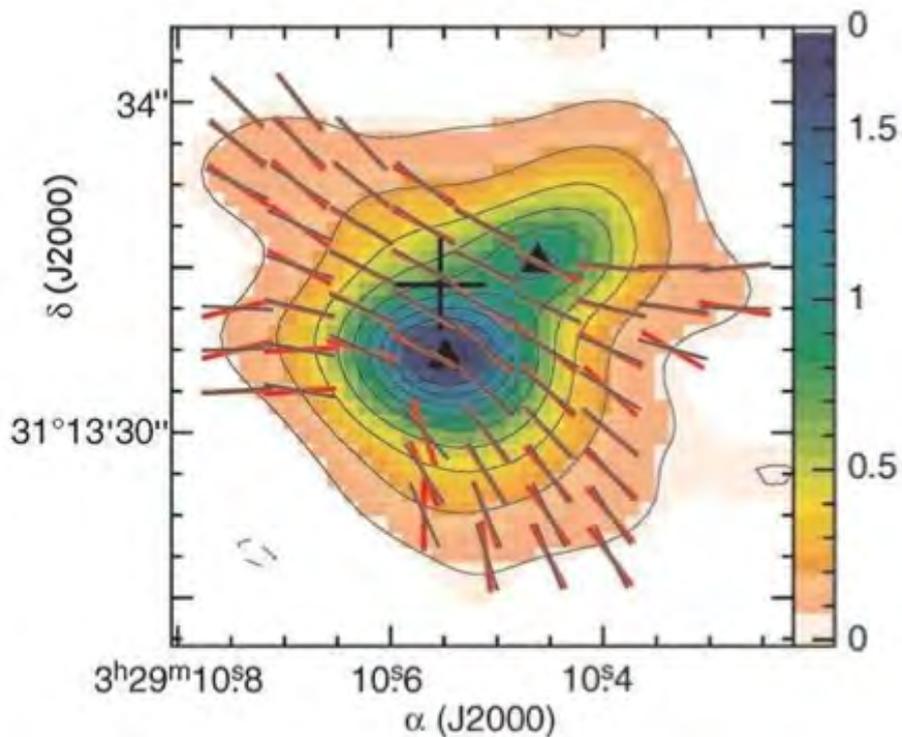


Figura 1.9 - Imagem de NGC 1333 IRAS 4A, um sistema binário protoestelar, em 345 GHz (submilimétrico). Os contornos indicam a emissão da poeira. As barras vermelhas representam a direção medida do campo magnético. As linhas em cinza representam o melhor ajuste do campo magnético a um modelo.
 Fonte: Girart et al. (2006)

gravitacionais, explosões de supernovas), além das condições físicas serem intrinsecamente mais complexas. Os glóbulos de Bok escolhidos para este trabalho são objetos previamente estudados por Racca et al. (2009). Essa amostra é conveniente por apresentar características homogêneas e conter um número similar de objetos com e sem formação estelar.

A organização desta dissertação é a seguinte:

- o Capítulo 2 descreve como foi feito o estudo da nossa amostra;
- o Capítulo 3 descreve os passos realizados no tratamento dos dados;
- o Capítulo 4 relata como foi feita a análise das propriedades polarimétricas das regiões, explicitando os casos que não apresentavam uma distribuição simples de direções de polarização;

- o Capítulo 5 contém a análise estatística e uma breve discussão dos resultados;
- por fim, o Capítulo 6 relata as nossas conclusões e perspectivas de continuidade para o projeto.

Este projeto conta com a colaboração de:

- Antonio Pereyra, no suporte à redução dos dados;
- German Racca, no fornecimento dos perfis de extinção dos glóbulos de Bok;
- e José W. S. Vilas-Boas, no levantamento de informações de linhas moleculares (em andamento).

2 REVISÃO DA ASSOCIAÇÃO COM OEJS

Neste capítulo estudaremos a presença de formação estelar nos glóbulos de Bok de nossa amostra. A Seção 2.1 apresenta a amostra junto com a Tabela 2.1 que lista algumas das informações a respeito da amostra disponíveis na literatura. A Seção 2.2 traça um paralelo entre as informações de candidatos a OEJ obtidas com os satélites WISE e IRAS. A Seção 2.3 mostra as informações obtidas em cada região e conclui a classificação das regiões entre com e sem formação estelar.

2.1 Amostra

Nossa amostra é formada pelos glóbulos de Bok estudados em [Racca et al. \(2009\)](#). Os autores escolheram esses glóbulos do catálogo de glóbulos de Bok BHR ([BOURKE et al., 1995](#)). Os dados do satélite IRAS foram utilizados por [Bourke et al. \(1995\)](#) para a classificação das fontes infravermelhas detectadas na direção dos glóbulos. A distribuição espectral de energia destas fontes foi utilizada para identificar os OEJs presentes. [Lee e Myers \(1999\)](#) montaram um catálogo de núcleos densos em nuvens moleculares, a fim de determinar a fração de núcleos densos que contem objetos embebidos. Em [Lee e Myers \(1999\)](#), os autores estão interessados em OEJs de classe 0 e I, enquanto que em [Bourke et al. \(1995\)](#), os autores estavam interessados em qualquer fonte IRAS com excesso infravermelho. A Tabela 2.1 lista alguns nomes com que esses glóbulos aparecem na literatura, colunas 1, 2 e 3. Ainda na Tabela 2.1, são listados a posição, colunas 4 e 5, a presença de um OEJ segundo [Lee e Myers \(1999\)](#) e [Bourke et al. \(1995\)](#), colunas 6 e 7, respectivamente e uma estimativa de distância, coluna 8. As colunas 6 e 7 não necessariamente concordam devido aos critérios diferentes nos dois trabalhos.

2.2 Transformação entre WISE e IRAS

O satélite WISE realizou um *survey* de céu inteiro em 4 bandas do infravermelho (3,4, 4,6, 12 e 22 μm). Dados de uma metade do céu foram liberados em abril de 2011 para o uso público, inclusive um catálogo de fontes puntiformes ([IRSA..., 2011](#)). O WISE possui resolução espacial e sensibilidade muito melhores que o IRAS, por isso possui dados melhores na região espectral onde ambos trabalharam. Apenas quatro glóbulos da nossa amostra não estão incluídos no *release* inicial de dados do WISE: BHR 016, 034, 044 e 053. Todos estes glóbulos estão na região da nebulosa de Gum. Os dados utilizados estão disponíveis disponíveis em [IRSA... \(2011\)](#).

Para podermos utilizar os dados do satélite WISE, foi necessário estabelecer uma

Tabela 2.1 - Características da amostra.

Glóbulo de Bok	Outras denominações		Ascensão reta J2000 ^e	Declinação J2000 ^e	OEJ embebido ^c	Forma estrelas ^{d,e}	Distância (pc) ^e
	Dcl ^d ^a	TGU ^b					
BHR 016	255.4-03.9	H1654	08 05 26	-39 08,9	N/C	Não	250
BHR 034	267.2-07.2	N/C	08 26 34	-50 39,9	Sim	Sim	200
BHR 044	269.5+04.0	H1712 P5	09 26 19	-45 11,0	Não	Não	200
BHR 053	274.2-00.4	N/C	09 28 47	-51 36,7	Não	Não	200
BHR 058	289.3-02.8	N/C	10 49 00	-62 23,1	N/C	Sim	200
BHR 059	291.1-01.7	N/C	11 07 07	-62 05,8	N/C	Não	200
BHR 074	300.0-03.7	N/C	12 22 09	-66 27,1	N/C	Não	175
BHR 075	300.2-03.5	H1861	12 24 13	-66 10,7	Não	Não	175
BHR 111	327.2+01.8	N/C	15 42 20	-52 49,1	Não	Não	250
BHR 113	331.0-00.7	N/C	16 12 43	-52 15,6	N/C	Não	200
BHR 117	334.6+04.6	N/C	16 06 18	-45 55,3	Não	Sim	175
BHR 121	337.1-04.9	N/C	16 58 42	-50 35,8	N/C	Sim	125
BHR 126	338.6+09.5	N/C	16 04 29	-39 37,8	Não	Sim	250
BHR 133	340.5+00.5	N/C	16 46 45	-44 30,8	N/C	Não	225
BHR 138	345.0-03.5	N/C	17 19 36	-43 27,1	N/C	Sim	225
BHR 139	345.2-03.6	N/C	17 20 45	-43 20,5	N/C	Sim	225
BHR 140	345.4-04.0	N/C	17 22 55	-43 22,6	N/C	Sim	225
BHR 144	346.4+07.9	N/C	16 37 28	-35 13,9	Não	Não	225
BHR 145	347.5-08.0	H2132 P1	17 48 01	-43 43,2	Não	Não	150
BHR 148	349.0+03.0	N/C	17 04 26	-36 18,8	N/C	Sim	175
BHR 149	349.2+03.1	N/C	17 04 27	-36 08,4	N/C	Sim	175

Legenda:

- ^a - Hartley et al. (1986).
^b - Dobashi et al. (2005).
^c - Lee e Myers (1999).
^d - Bourke et al. (1995).
^e - Racca et al. (2009).
N/C - Não Consta.

equivalência entre as cores utilizadas por Bourke et al. (1995) e outros a partir de dados IRAS, com os novos dados do WISE. Uma definição de cor comumente utilizada é a inclinação entre 12 e 25 μm , denominada $\alpha_{12/25}$ (e.g. SANTOS et al., 1998; Seção 1.1.3). Sendo uma medida da inclinação do espectro do OEJ ela poderia ser utilizada para estimar a natureza da fonte (vide Equação 1.5). Devido à proximidade entre os comprimentos de onda, a cor WISE W3 - W4 ($mag_{12\mu m} - mag_{22\mu m}$) deve mostrar resultados similares aos obtidos com o índice $\alpha_{12/25}$ obtido com dados do IRAS. Portanto, buscou-se a transformação entre o índice espectral $\alpha_{12/25}$ e a cor W3 - W4.

Realizamos uma regressão linear afim de encontrar uma regra de transformação de um sistema para o outro. Para a regressão linear, foram escolhidas dez fontes IRAS com fluxos bem medidos em 12 μm e 25 μm e que não se resolviam em mais fontes nas imagens do WISE. O gráfico $\alpha_{12/25}$ versus W3 - W4 mostra uma relação linear entre as duas grandezas (Figura 2.1). A Tabela 2.2 apresenta os dados destas fontes utilizados na regressão linear.

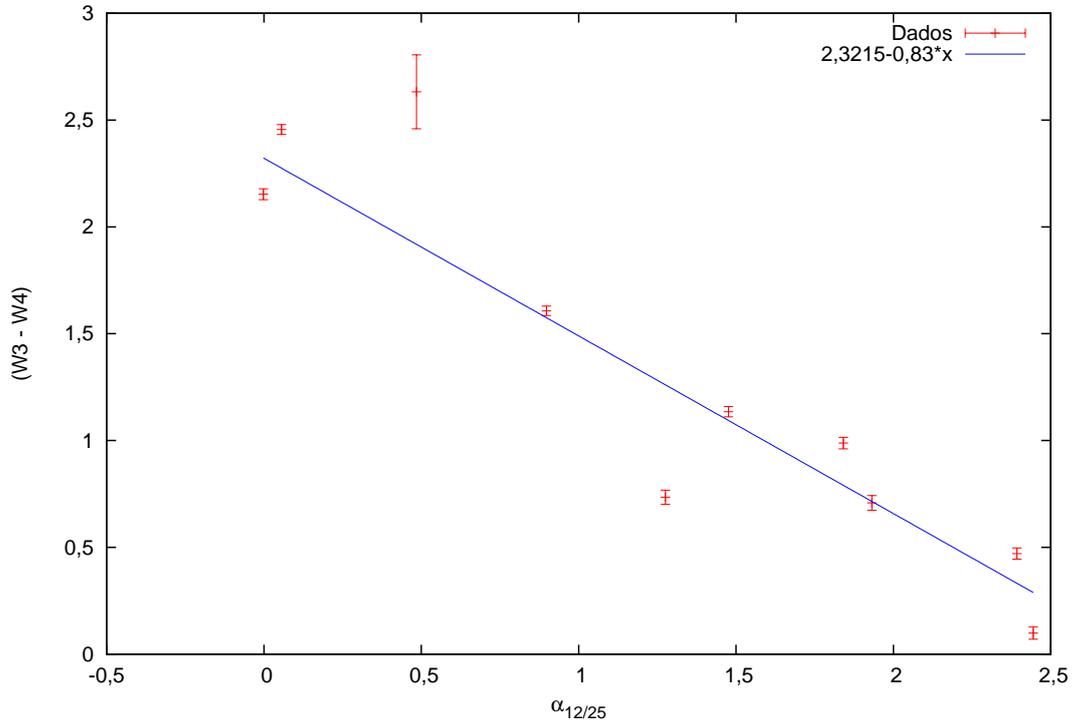


Figura 2.1 - Relação entre $\alpha_{12/25}$ e $(W3 - W4)$.

Tabela 2.2 - Fotometria IRAS e WISE das fontes utilizadas para realizar a regressão linear (Dados das fontes IRAS obtidos em [VIZIER...](#), 2012).

Fonte IRAS	Fluxo em $12 \mu m$ (Jy)	Fluxo em $25 \mu m$ (Jy)	Índice espectral $\alpha_{12/25}$	W3 - W4 (mag)	Erro W3 - W4 (mag)
16029-4548	1,56	1,1	1,48	1,14	0,02
16009-3927	1,27	0,44	2,44	0,1	0,03
17172-4316	0,39	0,78	0,06	2,46	0,02
17011-3613	0,37	0,54	0,48	2,63	0,17
17015-3559	3,25	1,64	1,93	0,71	0,03
17169-4322	3,17	1,71	1,84	0,99	0,03
16037-4553	6,93	7,47	0,90	1,61	0,02
16023-4554	0,49	0,4	1,28	0,74	0,03
16017-3936	0,77	1,6	0,00	2,15	0,03
12188-6615	0,87	0,31	2,39	0,47	0,03

A regressão linear foi feita com um código Fortran do *Numerical Recipes* (PRESS et al., 1992). A expressão obtida para a transformação foi a seguinte:

$$(W3 - W4) = 2,3215 \pm 0,0152 - (0,83 \pm 0,01) \times \alpha_{12/25}. \quad (2.1)$$

O gráfico correspondente a esta regressão é mostrado na Figura 2.1. Esta transformação nos permitiu transportar a classificação de OEJs para o sistema de magnitudes do WISE, tornando possível a classificação dos OEJs utilizando o índice de cor W3 - W4. A Tabela 2.3 mostra os valores correspondentes as classes nos dois sistemas. O limite inferior de cor W3 - W4 para um objeto de classe III, de acordo com a Tabela 1.1, seria -0,17. Porém, a inspeção das imagens WISE mostra que as estrelas de campo, provavelmente estrelas de sequência principal, possuem índices de cores maiores que -0,17, chegando a valores próximos a 0,1. Assim, adotamos 0,1 como o valor mínimo de W3 - W4 para objetos de classe III.

Ao analisarmos as imagens WISE, procuramos objetos coincidentes com fontes detectadas pelo IRAS. Vários objetos coincidentes foram encontrados. Alguns destes objetos apresentam cores compatíveis com OEJs. Algumas fontes IRAS nas imagens WISE são resolvidas em mais de um objeto ou se mostram como um objeto extenso. Porém, nem todos os objetos WISE com cores compatíveis com OEJs possuem contrapartida IRAS. Isto ocorre pois a sensibilidade do IRAS era insuficiente para detectar todos os objetos detectados pelo WISE. A Tabela 2.4 resume os resultados desta análise para as regiões incluídas na amostra, além das cores W3 - W4 e $\alpha_{12/25}$ desses objetos.

Neste trabalho, os glóbulos são classificados com formação estelar quando existe uma fonte WISE com índice de cor W3 - W4 compatível com um OEJ a menos de 5' da posição listada para cada glóbulo (BOURKE et al., 1995). Nas regiões, onde os dados do WISE não estão disponíveis, procuramos fontes IRAS com o índice de cor $\alpha_{12/25}$ compatível com um OEJ a menos de 5' da posição listada para cada glóbulo (BOURKE et al., 1995). A Tabela 2.5 resume a classificação final de cada região. A amostra final contém vinte regiões, onze com formação estelar e 9 sem.

2.3 Breve descrição dos campos

Nesta seção será apresentada uma breve descrição dos campos observados baseada nas imagens ópticas (*Digitized Sky Survey*, DSS) e infravermelhas (WISE e *2 Micron All Sky Survey*, 2MASS), nos catálogos disponíveis no SIMBAD (SIMBAD..., 2012)

Tabela 2.3 - Classificação dos objetos estelares jovens em termos de $\alpha_{12/25}$ e W3 - W4.

Classe	IRAS $\alpha_{12/25}$	W3-W4
0	$\alpha_{12/25} < -3$	$4,9 < c$
I	$-3 < \alpha_{12/25} < 0$	$2,3 < c < 4,9$
II	$0 < \alpha_{12/25} < 2$	$0,65 < c < 2,3$
III	$2 < \alpha_{12/25} < 3$	$0,1 < c < 0,65$
não é OEJ	$3 < \alpha_{12/25}$	$c < 0,1$

Tabela 2.4 - Propriedades dos candidatos a OEJ identificados nas regiões incluídas neste estudo.

Região	Fonte IRAS	$\alpha_{12/25}$	Classe $\alpha_{12/25}$	W3 ? W4 (mag)	σ_{W3-W4} (mag)	Classe W3-W4
BHR 016	-	-	-	N/D	N/D	N/D
BHR 034	08250-5030	1,00	II	N/D	N/D	N/D
BHR 044	-	-	-	N/D	N/D	N/D
BHR 053	-	-	-	N/D	N/D	N/D
BHR 058	10471-6206	0,90	II	0,49 2,37	0,28 0,32	III I
BHR 059	-	-	-	0,63	0,04	III
BHR 074	-	-	-	-	-	-
BHR 075	12213-6550	2,39	III	1,04	0,03	II
BHR 111	-	-	-	0,72	0,04	II
BHR 113	-	-	-	-	-	-
BHR 117	16029-4548	1,48	II	1,14	0,02	II
BHR 121	16549-5030	1,52	II	0,31	0,03	III
BHR 126	16009-3927	2,44	III	0,1	0,03	Não é OEJ
BHR 133	-	-	-	-	-	-
BHR 138	17159-4324	1,70	II	6,03 0,29	0,37 0,06	0 III
BHR 139	17172-4316	0,06	I	2,46	0,02	I
BHR 140	17193-4319	-0,36	I	1,15 5,16 3,91	0,04 0,06 0,05	II 0 I
BHR 144	-	-	-	0,07	0,08	Não é OEJ
BHR 145	-	-	-	-	-	-
BHR 148-151	17011-3613	0,48	II	2,63	0,17	I
	17012-3603	-0,48	I	3,29	0,05	I
	17014-3606	1,19	II	3,95	0,1	I
	17015-3559	1,93	II	0,71	0,03	II

Legenda:

N/D - Não Disponível.

Tabela 2.5 - Características inferidas dos glóbulos a partir dos dados 2MASS, DSS, IRAS e WISE

Região	Posição do(s) candidatos a OEJ(s)	Com formação estelar		Classificação do(s) candidatos a OEJ(s) (W3 - W4)	Extinção visual A_V (mag) ^(c)	Características da região
		(a)	(b)			
BHR 016	–	não	não	–	2,5	–
BHR 034	dentro	sim	sim	II*	1,5	GC
BHR 044	–	não	não	–	2,5	–
BHR 053	–	não	não	–	3	GC
BHR 058	dentro	sim	sim	I, II	1,7	GE
BHR 059	2,2' [†]	não	sim	III	4	ED, GC
BHR 074	–	não	não	–	2	–
BHR 075	3,3' [†]	não	sim	II	2,5	–
BHR 111	dentro	não	sim	II	6,5	–
BHR 113	–	não	não	–	7	–
BHR 117	2,5' [†]	sim	sim	II	3	ED
BHR 121	dentro	sim	sim	III	1,5	–
BHR 126	–	sim	não	–	2	–
BHR 133	–	não	não	–	7	RSN
BHR 138	dentro	sim	sim	0, III	1,7	BI, ED
BHR 139	dentro	sim	sim	I	1,5	–
BHR 140	dentro	sim	sim	0, I, II	3	TRI
BHR 144	–	não	não	–	2,5	–
BHR 145	–	não	não	–	2,5	–
BHR 148-151	dentro	sim	sim	I, I, I, II	3	GE, ED

Legenda:

* Classe inferida a partir de $\alpha_{12/25}$ com dados do IRAS.

[†] Distância à posição do glóbulo listada em Bourke et al. (1995).

dentro - Dentro da região de maior extinção inferida visualmente.

BI - TRI - Formação múltipla no interior do glóbulo.

GC - Glóbulo cometário.

GE - Glóbulo emite em 12 e/ou 22 μm .

ED - Emissão difusa em 22 μm em torno do glóbulo.

RSN - Remanescente de supernova próximo ao glóbulo.

(a) - Bourke et al. (1995).

(b) - Este trabalho.

(c) - Valor da extinção fora das regiões centrais dos glóbulos (Racca G., comunicação privada).

do campo e eventuais referências encontradas na literatura.

2.3.1 BHR 016

Este glóbulo situa-se na Nebulosa de Gum e não está na região incluída no *release* preliminar de dados do WISE. Uma fonte 2MASS, J08052135-3909304 pode ser vista na direção do glóbulo (CUTRI et al., 2003). Em uma imagem em cores falsas composta por imagens 2MASS, a fonte apresenta uma cor avermelhada (Figura 2.2). Bem próxima à fonte, 36,5", porém já fora do glóbulo, existe uma nebulosa de reflexão, BRAN 103, que é visível inclusive no infravermelho. Assumindo que a distância para o glóbulo é de 250 *pc* (RACCA et al., 2009) e que os dois objetos estão associados ao glóbulo, a distância projetada é de $\sim 0,04$ *pc*. Boogert et al. (2011) em um estudo com o telescópio espacial Spitzer identificam J08052135-3909304 como uma estrela de classe M0, portanto não é um OEJ. Wu et al. (2007) realizaram um levantamento da emissão em 350 μm de regiões candidatas a conter objetos de muito baixa luminosidade (VeLLO, sigla em inglês para *Very Low Luminosity Object*). BHR 016 é um dos objetos de sua amostra, porém nenhuma fonte foi detectada nessa direção.

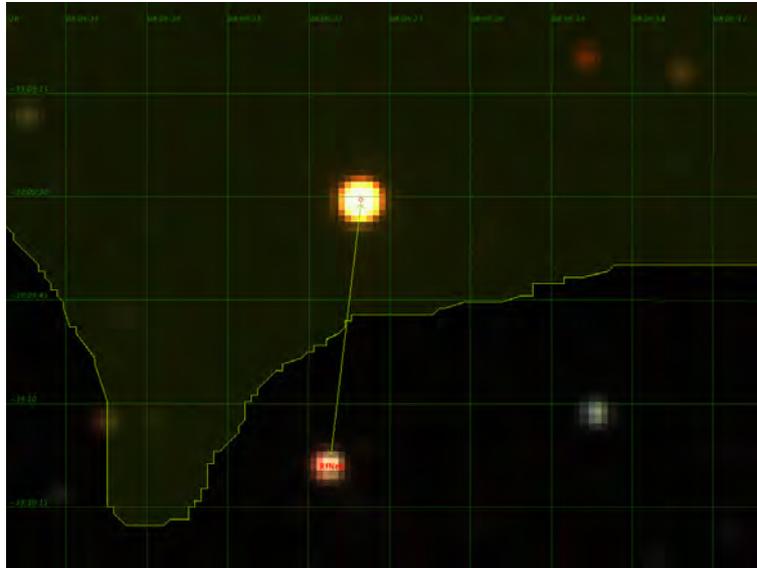


Figura 2.2 - Glóbulo de Bok BHR 016, imagem em cores falsas, azul J, verde H e vermelho K. O contorno em verde delimita as bordas do glóbulo de Bok. A fonte 2MASS J08052135-3909304 é o objeto na parte superior da imagem.

2.3.2 BHR 034

O glóbulo BHR 034, como BHR 016, situa-se na região da Nebulosa de Gum e não está incluído no *release* preliminar do WISE. Este glóbulo está associada à fonte IRAS 08250-5030. Esta fonte IRAS tem um índice espectral $\alpha_{12/25}$ que a caracteriza como um candidato a OEJ (Tabela 2.4). Porém, os fluxos em 12 e 25 μm são apenas limites superiores. Em Henning e Launhardt (1998) BHR 034 é listado como um objeto de grupo 2, isto é, sendo possivelmente um glóbulo pré-protostelar. Já Lee e Myers (1999) incluem este glóbulo como contendo um OEJ embebido, vide Tabela 2.1. Na imagem DSS2-Red, é possível ver que o glóbulo possui uma borda levemente brilhante. Isto, e o fato de ele estar inserido na nebulosa de Gum, nos leva a crer que se trata de um glóbulo cometário (Figura 2.3).

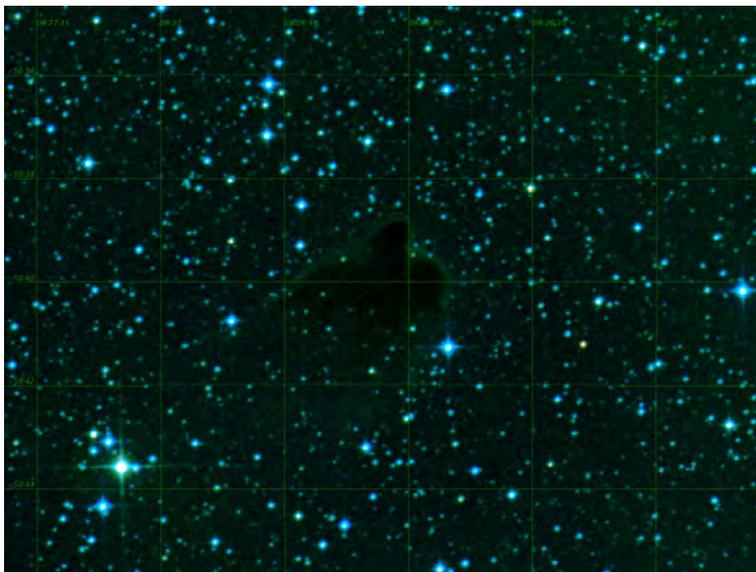


Figura 2.3 - Glóbulo de Bok BHR 034, imagem em cores falsas, azul DSS2-Blue, verde DSS2-Red e vermelho 2MASS-J. É possível ver a borda do glóbulo com a emissão na banda DSS2-Red na cor verde.

2.3.3 BHR 044

Este glóbulo não apresenta muitas características marcantes nas imagens DSS ou 2MASS. Situa-se dentro da nebulosa de Gum e não está na região incluída no *release* preliminar de dados do WISE.

2.3.4 BHR 053

Este glóbulos situa-se dentro da nebulosa de Gum e não está na região incluída no *release* preliminar de dados do WISE. As imagens DSS nas bandas B e R mostram que o glóbulos tem uma aparência peculiar (Figura 2.4). BHR 053 aparenta ser soprado, com diversas caudas. A estrela HR 3784, B8V, está a 11,7' da posição listada para o glóbulos em Bourke et al. (1995), vide Figura 2.4. Sua distância foi estimada em $127,4 + 8,5 - 7,5$ pc por Perryman et al. (1997) e BHR 053 está a aproximadamente 200 pc (RACCA et al., 2009). Essa diferença entre as distâncias torna pouco provável que os objetos interajam.

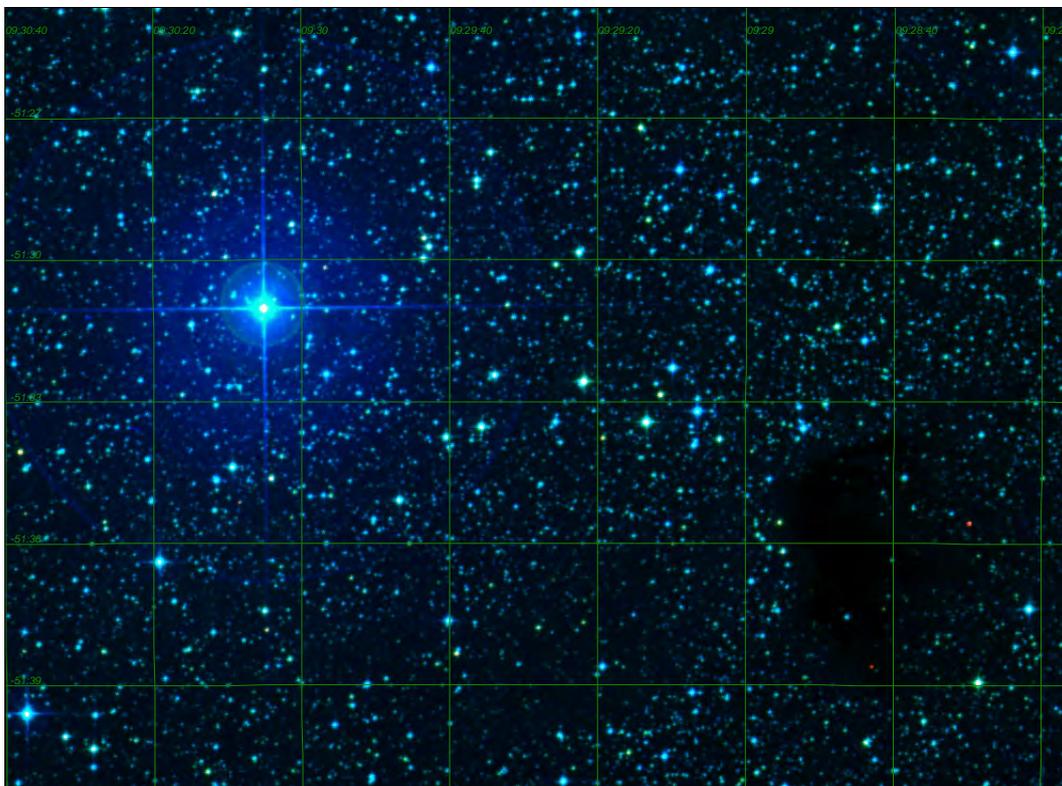


Figura 2.4 - Glóbulos de Bok BHR 053 situado na região inferior e à direita da imagem, imagem em cores falsas, azul DSS2-Blue, verde DSS2-Red e vermelho 2MASS-J. HR 3784 é a estrela muito brilhante à esquerda e BHR 053 é a região escura à direita.

2.3.5 BHR 058

Este glóbulos não apresenta nenhuma característica marcante nas imagens DSS. Porém, nas imagens WISE, ele possui uma aparência muito peculiar (vide Figura 2.5): o glóbulos em si emite em 12 e 22 μm . A comparação com as imagens do IRAS mostra

que a fonte IRAS identificada no glóbululo (IRAS 10471-6206) é na verdade, o próprio glóbululo. Duas fontes no interior do glóbululo possuem índices de cor (W3 - W4) compatíveis com OEJ (classes I e III, Tabela 2.4). Persi et al. (2007) não encontraram nenhuma fonte no infravermelho médio e próximo, mas devido à emissão em $1,3\text{ mm}$ sugerem a presença de um OEJ classe 0. Já Henning e Launhardt (1998) sugerem um estágio pré-protostelar para esse glóbululo.

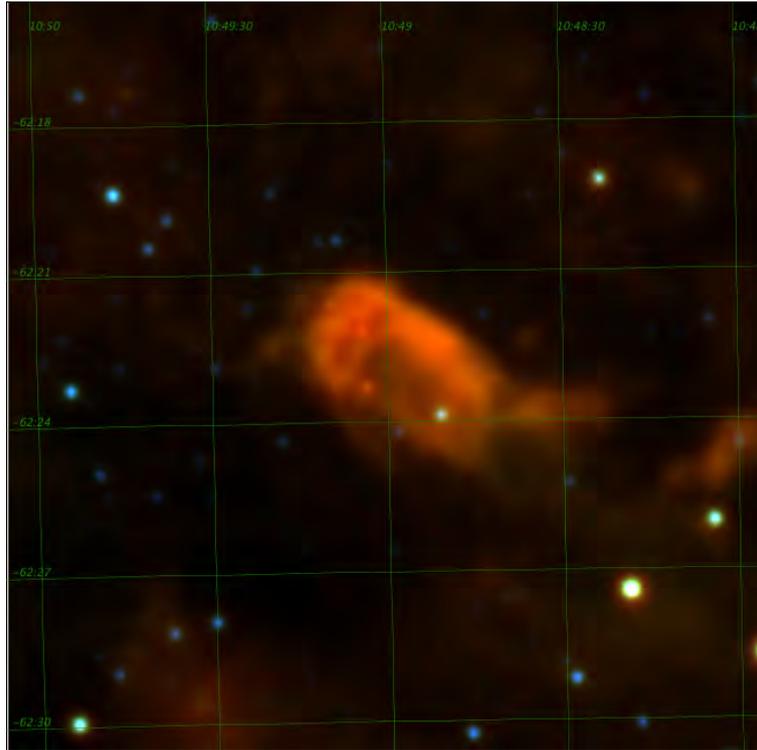


Figura 2.5 - Imagem WISE em cores falsas do glóbululo de Bok BHR 058. As bandas centradas em $3,4\ \mu\text{m}$, $12\ \mu\text{m}$ e $22\ \mu\text{m}$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Pode-se ver claramente que o glóbululo emite no infravermelho.

2.3.6 BHR 059

Na imagem DSS2-Red é possível ver que o glóbululo possui uma cauda (vide Figura 2.6). Esta cauda e a forma do glóbululo dão a ele uma aparência cometária. A detecção de $\text{H}\alpha$ nesta direção (GEORGELIN et al., 2000) reforça esta hipótese, pois os glóbululos cometários exibem emissão $\text{H}\alpha$. Na região deste glóbululo há muita emissão de fundo em $22\ \mu\text{m}$ (vide Figura 2.7), além de uma fonte WISE a aproximadamente $0,5'$ da borda do glóbululo. Esta fonte WISE está na direção da cauda do glóbululo. Ela também tem um índice de cor compatível com um OEJ entre as classes II e III (Tabela 2.4).

Este glóbulu não estava associado a nenhuma fonte IRAS, a identificação de uma fonte WISE levou-o a uma reclassificação de, glóbulu sem formação estelar para glóbulu com formação estelar (Tabela 2.5).

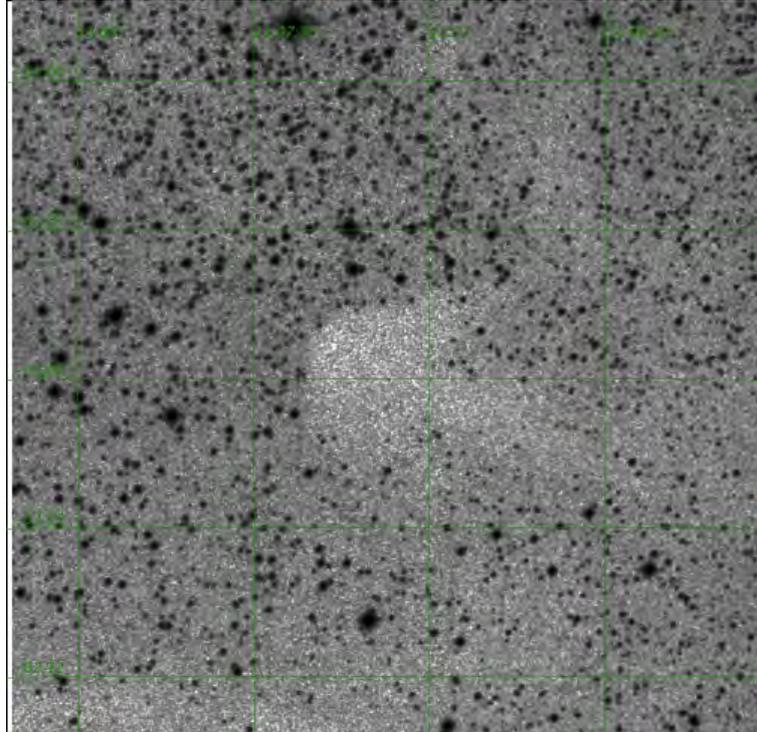


Figura 2.6 - Glóbulu de Bok BHR 059, Imagem DSS2-Red.

2.3.7 BHR 074

O campo que contém este glóbulu é bastante simples, tanto nas imagens WISE quanto DSS. Existe uma fonte IRAS (IRAS 12188-6615) próxima ao glóbulu, porém a mais de 5' de distância da posição listada para o glóbulu em [Bourke et al. \(1995\)](#) BHR 074 está a uma distância angular de 20' de BHR 075.

2.3.8 BHR 075

Assim como BHR 074, este glóbulu aparenta ser bem simples. Porém, no caso de BHR 075 há uma fonte IRAS (IRAS 12213-6550) próxima ao glóbulu ($\sim 3'$), vide Figura 2.8. O índice de cor W3 - W4 nos leva a crer que se trata de um OEJ classe II (Tabela 2.4). BHR 075 não havia sido classificado como um glóbulu com formação estelar anteriormente devido a fonte estar fora da região de alta extinção do glóbulu.

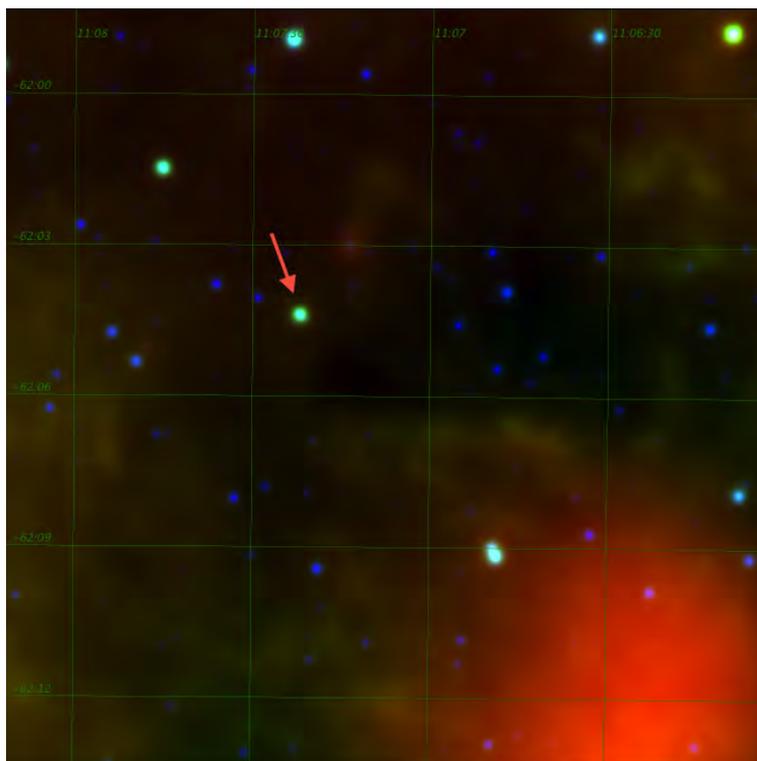


Figura 2.7 - Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 059. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Pode-se ver a emissão difusa em $22 \mu m$. A seta indica a posição da fonte WISE candidata a OEJ.

2.3.9 BHR 111

Este glóbulo aparenta ser na verdade duas nuvens nas imagens DSS. As imagens WISE são bem simples e apresentam uma fonte com cores consistentes com um OEJ de classe II (vide Tabela 2.4 e Figura 2.9). Usando o satélite Spitzer, Maheswar et al. (2011) identificam esse objeto e o classificam como um VeLLO. Esses autores reestimam a distância para o glóbulo em $355 \pm 65 pc$ ($250 pc$ em RACCA et al., 2009). A discrepância nas medidas de distância pode ser explicada pela diferença entre os métodos utilizados. Por consistência de metodologia, vamos reclassificar esse objeto como com formação estelar devido a cor da fonte WISE (classe II).

2.3.10 BHR 113

Este glóbulo tem uma aparência bastante comum nas imagens DSS. Porém, nas imagens WISE é possível detectar uma faixa de emissão difusa a oeste do glóbulo que é mais forte no noroeste (vide Figura 2.10). Ao longo desta faixa existem dois objetos que se assemelham a OEJs, porém ambos a mais de $5'$ do glóbulo.

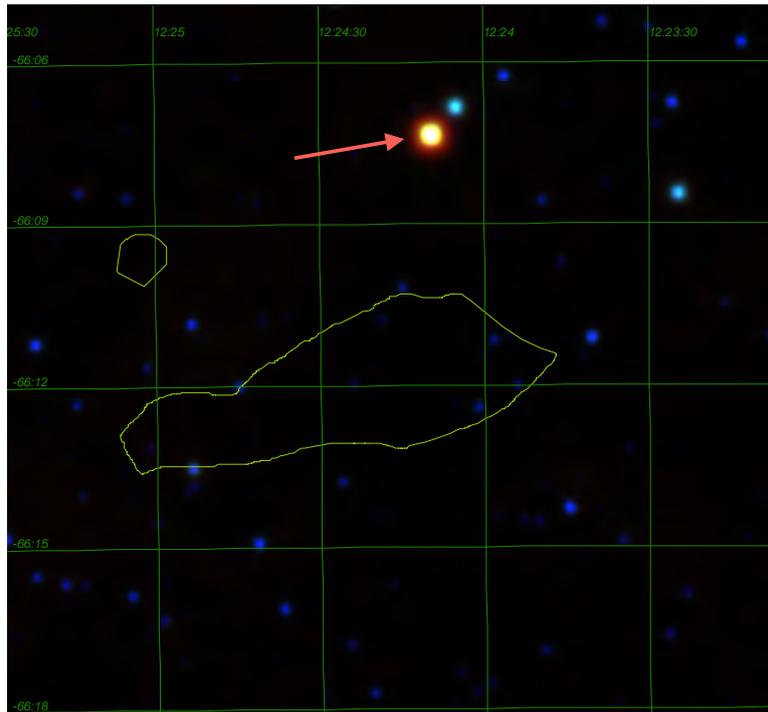


Figura 2.8 - Imagem WISE em cores falsas do glóbululo de Bok BHR 075. As bandas centradas em $3,4 \mu\text{m}$, $12 \mu\text{m}$ e $22 \mu\text{m}$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente.. A linha em verde é um contorno aproximado da região de maior extinção. IRAS 12213-6550 está indicado pela seta.

2.3.11 BHR 117

A região onde este glóbululo está inserida é bastante interessante nas imagens WISE. Há emissão difusa bem fraca em $22 \mu\text{m}$, além de existir uma estrela OH/IR (IRAS 16037-4553) próxima ao glóbululo ($9.6'$). O glóbululo aparenta ter seu eixo maior perpendicular à linha que o une a estrela OH/IR (Figura 2.11). Curiosamente o candidato a OEJ (IRAS 16029-4548) está nesta mesma linha e nas bordas do glóbululo. Em Lee e Myers (1999) este glóbululo é classificado como sem formação estelar (vide Tabela 2.1). Mas isto se deve provavelmente aos critérios de seleção que visavam obter OEJs classe 0 e I.

2.3.12 BHR 121

A estrela HD 152824, B9 IV, possui uma nebulosa de reflexão associada, GN 16.54.4, e esta associada a BHR 121 (HENNING; LAUNHARDT, 1998). HD 152824 tem sua distância estimada em $159 + 10 - 9 \text{ pc}$ (LEEUEWEN, 2007), enquanto BHR 121 está a 125 pc (RACCA et al., 2009). Henning e Launhardt (1998) detectam CO e CS na

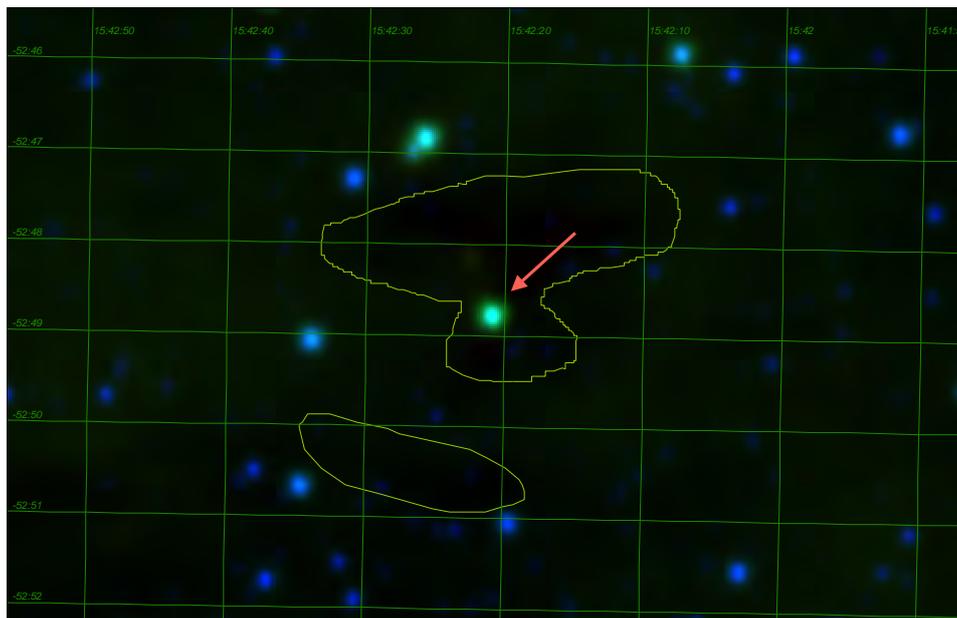


Figura 2.9 - Imagem WISE em cores falsas do glóbulu de Bok BHR 111. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. A linha em verde é um contorno aproximado da região de maior extinção. O VeLLO é o objeto indicado pela seta.

direção do núcleo denso associado a este glóbulu. Essas linhas não possuem asas, o que seria um indicativo de *outflows* e portanto de formação estelar. Esses mesmos autores não tiveram detecção positiva em $1.3 mm$. Eles não conseguiram concluir se esse núcleo está ou não associado a formação estelar. As imagens WISE não indicam nada de extraordinário, apenas a presença de uma fonte no interior do glóbulu e outra em uma nebulosidade a leste próxima, Figura 2.12. A fonte no interior do glóbulu (IRAS 16549-5030) tem um índice de cor compatível com um OEJ classe III (Tabela 2.4).

2.3.13 BHR 126

Este glóbulu parece ser bem simples e sua forma é consistente com a de um glóbulu de Bok clássico. As imagens WISE não revelam nada extraordinário também. A fonte IRAS, IRAS 16009-3927, citada por Bourke et al. (1995) como um provável OEJ apresenta um índice de cor W3 - W4 que não é compatível com nenhuma classe de OEJ. Esta mesma fonte é citada em Santos et al. (1998) como uma provável estrela de fundo (Tabela 2.4). Por isto, este glóbulu foi classificado como sem formação

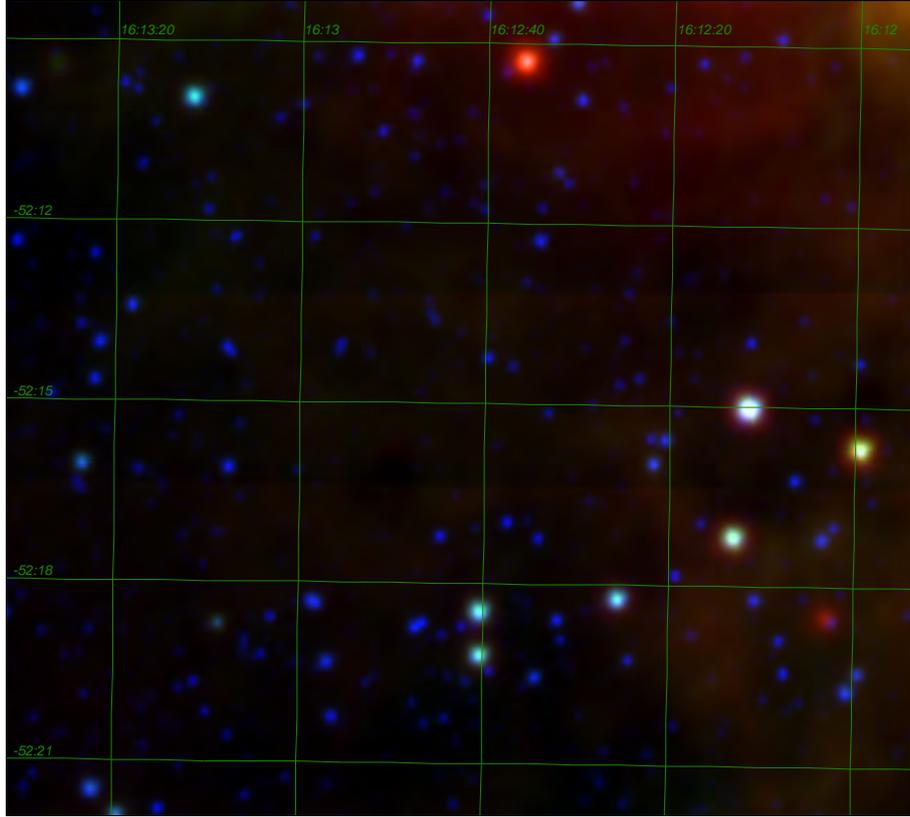


Figura 2.10 - Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 113. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente.

estelar neste trabalho.

2.3.14 BHR 133

No mapa de extinção de [Racca et al. \(2009\)](#), este glóbulo aparenta ser muito caótico com alta extinção em torno do glóbulo. Essa linha de visada apresenta alguns remanescentes de supernova os quais estão associados ao aglomerado Westerlund 1 que está a uma distância projetada de $\sim 20'$. Porém, Westerlund 1 está entre 2 e 5 *kpc* de distância (e.g. [CLARK et al., 2005](#)), sendo provavelmente um objeto de fundo que pode explicar o mapa de extinção.

2.3.15 BHR 138

Este glóbulo está inserido numa região com muita emissão difusa em $22 \mu m$. Um aspecto interessante é que a fonte IRAS 17159-4324 se resolve em duas fontes nas imagens WISE. As fontes resolvidas são de classe 0 e III (Tabela 2.4).

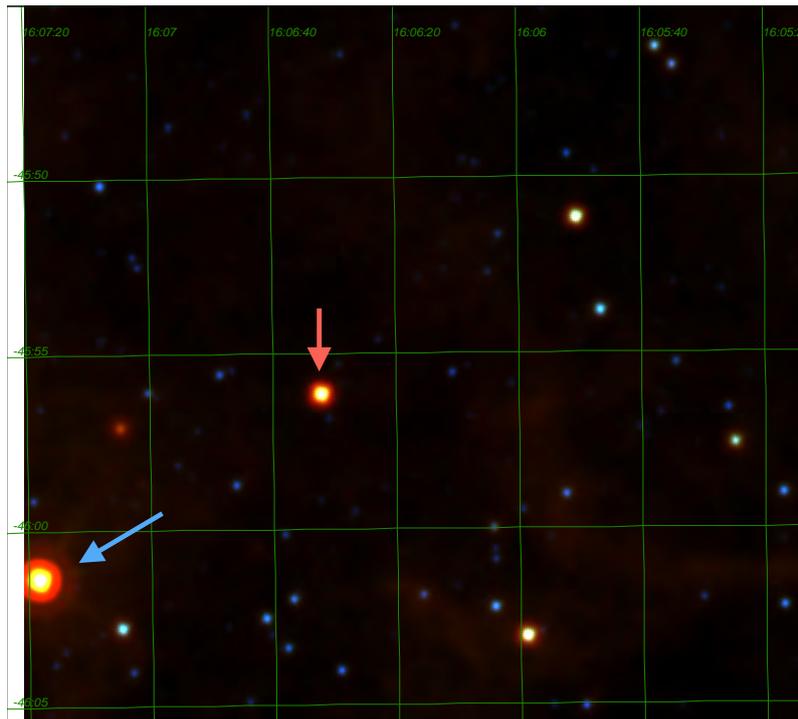


Figura 2.11 - Imagem WISE em cores falsas do glóbulu de Bok BHR 117. As bandas centradas em $3,4 \mu\text{m}$, $12 \mu\text{m}$ e $22 \mu\text{m}$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. A seta vermelha indica a posição do candidato a OEJ. A seta azul indica a posição de IRAS 16037-4553.

2.3.16 BHR 139

BHR 139 é um glóbulu de aspecto simples e com uma fonte IRAS no seu interior (IRAS 17172-4316). Esta fonte IRAS tem um índice de cor compatível com um OEJ classe I (Tabela 2.4). Este glóbulu está situado entre os glóbulos BHR 138, aproximadamente $15'$ a sudoeste, e BHR 140, aproximadamente $25'$ a leste.

2.3.17 BHR 140

Analisando as imagens WISE do campo do glóbulu BHR 140, foi possível identificar que a fonte IRAS 17193-4319 se resolve em três fontes. Estas fontes tem índices de cor compatíveis com OEJs de classe 0, I e II, o que torna este glóbulu interessante (vide Figura 2.13, Tabela 2.4). À leste há uma outra região de alta extinção que também contém uma fonte IRAS, porém está a mais de $5'$ do centro de BHR 140.

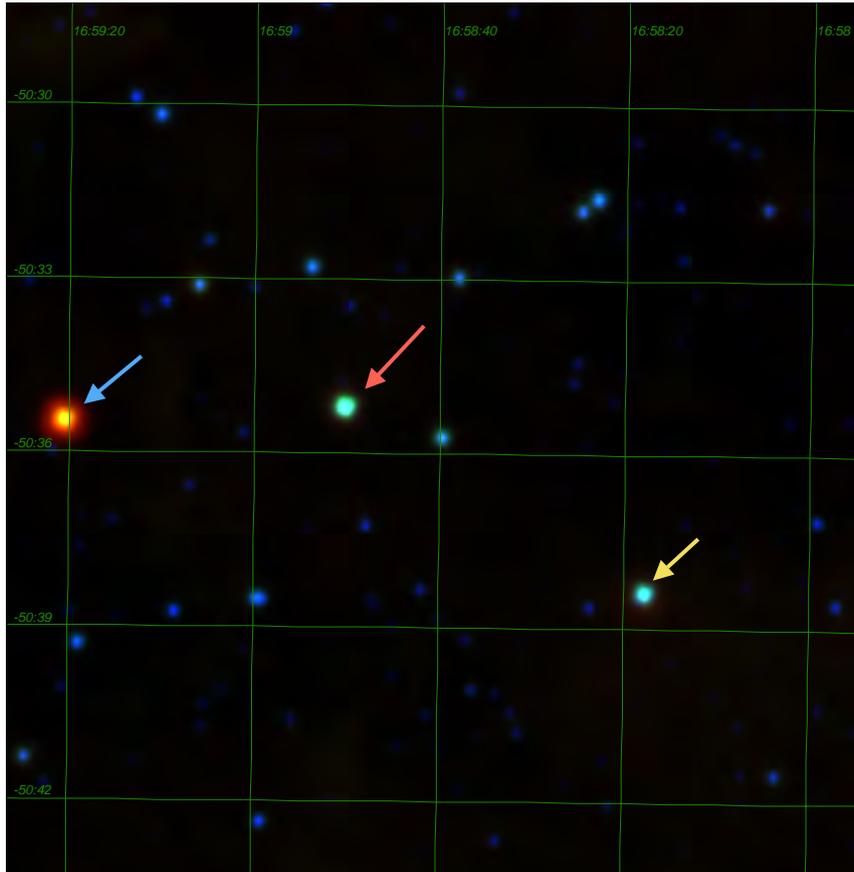


Figura 2.12 - Imagem WISE em cores falsas do glóbulo de Bok BHR 121. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. A seta vermelha indica a posição do candidato a OEJ no interior do glóbulo. A seta amarela indica a posição de HD 152824. A seta azul indica a posição da fonte na condensação a leste.

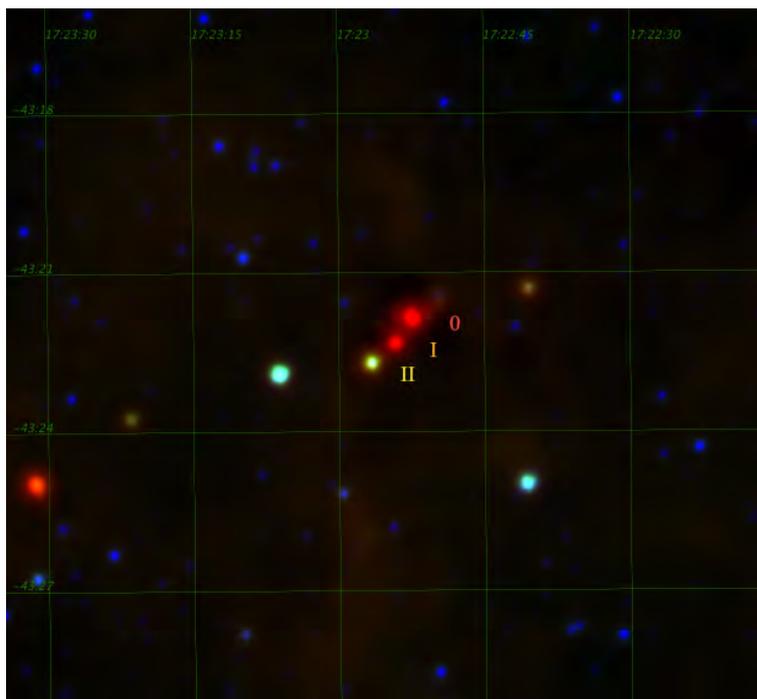


Figura 2.13 - Imagem WISE em cores falsas do glóbulu de Bok BHR 140. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Os três candidatos a OEJ podem ser vistos próximo ao centro da imagem.

2.3.18 BHR 144

As imagens DSS não apresentam nada de extraordinário para este glóbulu exceto pela presença de uma estrela gigante K6 III à oeste do glóbulu. Nas imagens WISE, aparece um objeto no interior do glóbulu na direção de um dos seus núcleos densos. Porém, seu índice de cor é compatível com uma estrela de fundo vista através do glóbulu (Tabela 2.4).

2.3.19 BHR 145

Este glóbulu aparenta ser bastante simples. As imagens DSS e WISE não revelam nenhum detalhe que chame a atenção.

2.3.20 BHR 148-151

A amostra original contém os glóbulos BHR 148 e BHR 149 que foram observados em apontamentos separados. Os campos são muito próximos e existe uma pequena superposição entre eles. Ao estudar essa região, notamos que os dois campos contêm também os glóbulos BHR 150 e BHR 151. De fato, BHR 151 é listado em [Racca et](#)

al. (2009) como BHR 149 B. As estruturas parecem ser contínuas e cobrem os dois campos observados, o que nos levou a estudar a região como uma só.

Um aspecto interessante é que todos os glóbulos da região formam estrelas. Os índices de cor são compatíveis com OEJs classe I, I, I e II, respectivamente para BHR 148, 149, 150 e 151 (Tabela 2.4). Na Figura 2.14, pode-se ver a estrutura que emite em $22 \mu m$, da qual os glóbulos fazem parte.

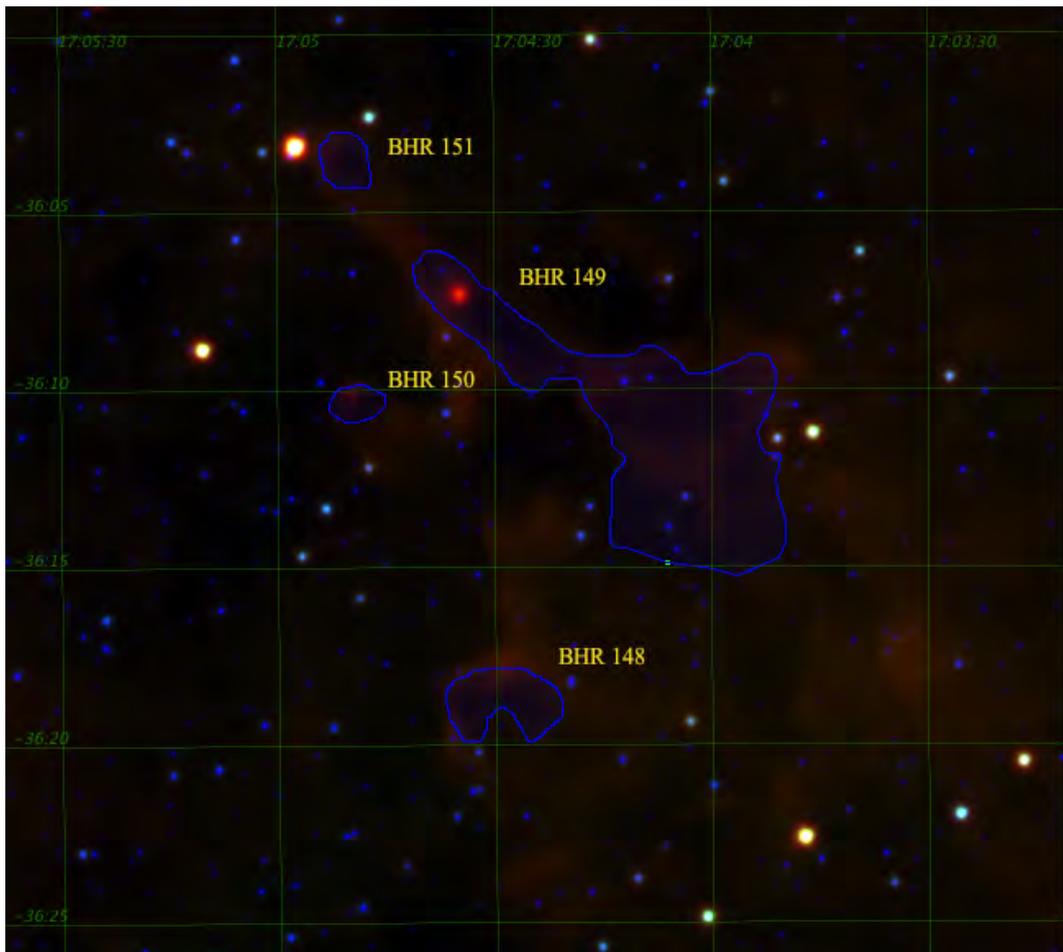


Figura 2.14 - Imagem WISE em cores falsas da região contendo os glóbulos de Bok BHR 148, 149, 150 e 151. As bandas centradas em $3,4 \mu m$, $12 \mu m$ e $22 \mu m$ são representadas pelas cores azul, verde e vermelho, respectivamente. Em azul os contornos da extinção óptica inferida visualmente da imagem DSS na banda R.

3 OBTENÇÃO E REDUÇÃO DOS DADOS

Neste capítulo, apresentamos os procedimentos observacionais e de redução de dados referentes à polarimetria óptica e infravermelha dos campos contendo os glóbulos de Bok da nossa amostra. Na Seção 3.1, a instrumentação polarimétrica utilizada é descrita. Na Seção 3.2, descreve-se a obtenção dos dados. Já na Seção 3.3 são descritos os procedimentos utilizados na preparação dos dados. Ainda na Seção 3.3 são descritas as imagens de calibração necessárias para cada tipo de observação. Por último, na Seção 3.4, descreve-se os passos da redução polarimétrica.

3.1 Gaveta polarimétrica do Observatório do Pico dos Dias

O instrumento utilizado neste trabalho é descrito em Magalhães et al. (1996) e está instalado no Observatório do Pico dos Dias. Essa gaveta polarimétrica, conhecida por IAGPOL, consiste em 3 partes básicas (vide Figura 3.1):

- a) uma lâmina retardadora, que pode ser de meia-onda ou quarto-de-onda para o óptico, ou de meia-onda para o infravermelho. Esta lâmina gira em torno do seu eixo com passos de $22,5^\circ$;
- b) uma roda com analisadores. Em uma posição da roda, é colocado um polarizador linear que deixa passar apenas a luz polarizada em uma direção. Em outra posição, é colocado um prisma de Savart que consiste em uma configuração de cristais de calcita. Este separa a luz em dois feixes polarizados com direções de polarização perpendiculares. E também há uma posição aberta que permite a passagem direta da luz sem atravessar um analisador;
- c) por último, uma roda de filtros com quatro posições para filtros e uma posição sem filtro.

Cada medida da polarização é composta por uma série de imagens em diferentes posições da lâmina. A lâmina ao ser girada altera a fase entre os feixes de diferentes polarizações que compõem o feixe de entrada, o que gira o plano de polarização. Quando o prisma de Savart é colocado no caminho óptico de um instrumento, os feixes com polarização paralela e ortogonal ao eixo óptico do prisma são separados. Estes são os feixes ordinário e extraordinário. As diferentes direções de polarização fazem com que haja uma mudança de fluxo entre os feixes ordinário e extraordinário. A modulação da diferença entre os fluxos dos feixes ordinário e extraordinário,

SISTEMA ÓPTICO DA GAVETA POLARIMÉTRICA IAG

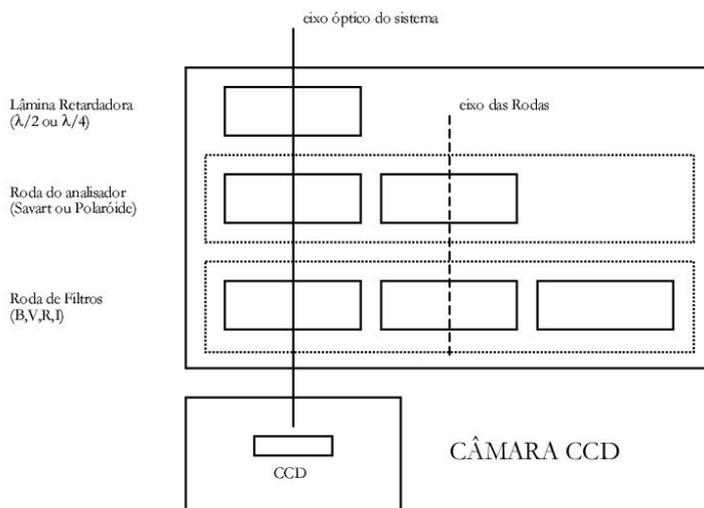


Figura 3.1 - Sistema óptico da gaveta polarimétrica.
Fonte: IAGPOL... (2010)

normalizados pelo fluxo total, para várias posições da lâmina retardadora, fornece a polarização do feixe incidente. Uma vantagem desta técnica, é que a polarização do céu se cancela. Isto acontece porque as imagens ordinária e extraordinária do céu se sobrepõem, anulando a modulação causada pela polarização do céu. Um exemplo de imagem obtida com esta técnica é apresentada na Figura 3.2.

Os valores da polarização interestelar costumam ser baixos, em geral, abaixo de 5%, tornando difícil a sua medição. Os *Charge Coupled Devices* (CCDs), por serem detetores bidimensionais, possuem algumas vantagens com relação a outros detetores como fotomultiplicadoras. Uma dessas vantagens é a habilidade de se obter a imagem ordinária e extraordinária, simultaneamente sem uso de técnicas complicadas como o uso de chopping. Isto torna as medidas mais precisas e mais simples de serem obtidas.

3.2 Obtenção dos dados

Os dados foram obtidos em três missões no Observatório do Pico dos Dias: 12 e 13 de março de 2010, conduzida por Cláudia Vilega Rodrigues e German Racca; 31 de maio e primeiro de junho de 2010, conduzida por Cláudia Vilega Rodrigues; e de 2 a 9 de maio de 2011, conduzida por Victor de Souza Magalhães e Carlos Eduardo Cedeño Montaña. Todos os dados foram obtidos no telescópio 0,6 m Boller & Chivens, com

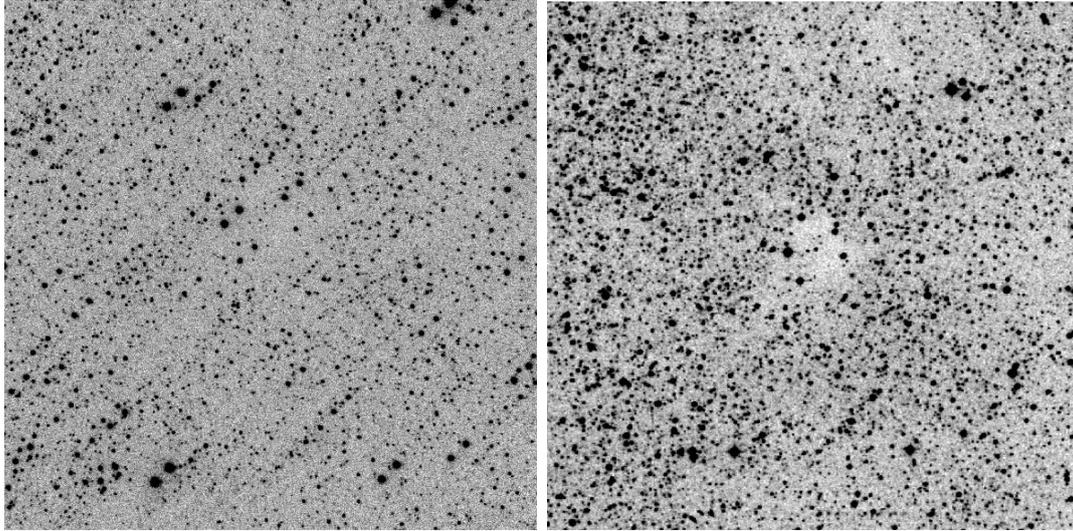


Figura 3.2 - Glóbulos de Bok BHR 138. À esquerda, observado no Observatório do Pico do Dias com a gaveta polarimétrica na banda I_c . À direita, imagem retirada de DSS, DSS2-Red. Na imagem à esquerda, pode-se observar as imagens dos feixes ordinário e extraordinário separados pelo prisma de Savart.

o uso da gaveta polarimétrica. Uma descrição das observações pode ser encontrada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Descrição das observações dos glóbulos de Bok.

Objeto	Data	Filtro	Tempo de exposição (s)	Número de posições posições da lâmina	Pontilhamento
BHR 016	12/03/2010	H	30×5	8	Em cruz
	03/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
BHR 034	13/03/2010	H	40×8	8	Norte-sul
	03/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
BHR 044	03/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
	07/05/2011	H	25×8	8	Em cruz
BHR 053	01/06/2010	I_c	30	8	Não
BHR 058	01/06/2010	I_c	200	8	Não
BHR 059	13/03/2010	H	30×10	8	Norte-sul
	01/06/2010	I_c	40	16	Não
BHR 074	31/05/2010	I_c	30	8	Não
	31/05/2010	I_c	180	8	Não
	06/05/2011	H	40×5	12	Em cruz

Continua

Tabela 3.1 – Continuação

Objeto	Data	Filtro	Tempo de exposição (s)	Número de posições da lâmina	Pontilhamento
BHR 075	31/05/2010	I_c	30	8	Não
	31/05/2010	I_c	200	8	Não
	07/05/2011	H	20×10	8	Em cruz
BHR 111	01/06/2010	I_c	200	8	Não
	06/05/2011	H	100×2	8	Norte-sul
BHR 113	01/06/2010	I_c	200	8	Não
	08/05/2011	H	100×2	8	Em cruz
BHR 117	01/06/2010	I_c	200	8	Não
BHR 121	03/05/2011	I_c	30	12	Em cruz
	07/05/2011	H	50×4	8	Em cruz
BHR 126	03/05/2011	I_c	40	16	Não
BHR 133	01/06/2010	I_c	200	8	Não
BHR 138	05/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
BHR 139	05/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
BHR 140	05/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
BHR 144	03/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
BHR 145	05/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
	07/05/2011	H	70×3	8	Em cruz
BHR 148	03/05/2011	I_c	40	16	Não
	08/05/2011	H	50×4	8	Em cruz
BHR 149	04/05/2011	I_c	40	12	Em cruz
	08/05/2011	H	50×4	8	Em cruz

3.2.1 Dados no óptico

Os dados no óptico foram obtidos na banda I_c para minimizar a extinção interestelar. O detetor utilizado foi o Ikon-L 10127 montado na câmara 4. Este CCD é do tipo iluminado por trás com 2048 x 2048 pixels e possui vários modos de leitura. O modo escolhido possui uma frequência de transferência de carga de 1 MHz e ganho do pré-amplificador de quatro vezes. Este modo de leitura fornece um ganho final de 0,9 e^- por ADU e um ruído de leitura de 6 e^- por pixel. Uma descrição mais detalhada deste e de outros CCDs do Observatório do Pico dos Dias pode ser encontrada

Tabela 3.2 - Observações das estrelas padrões polarimétricas.

Objeto	Data	Filtro	Tempo de exposição (s)	Número de posições da lâmina	Pontilhamento
HD 094851	01/06/2010	I_c	10	16	Não
	05/05/2011	I_c	10	16	Não
	08/05/2011	H	4×15	8	Em cruz
HD 109055	08/05/2011	H	6×10	8	Em cruz
HD 110984	01/06/2010	I_c	10	16	Não
	03/05/2011	I_c	4	16	Não
HD 111579	12/03/2010	H	15×2	8	Norte-sul
	01/06/2010	I_c	10	16	Não
	03/05/2011	I_c	2,5	16	Não
	07/05/2011	H	15×2	8	Em cruz
HD 176425	04/05/2011	I_c	0,7	16	Não
HD 298383	13/03/2010	H	10×2	8	Norte-sul
	07/05/2011	H	20×2	8	Em cruz
	08/05/2011	H	30×2	8	Em cruz

em LNA... (2010). No telescópio Boller & Chivens, este detetor cobre uma área com 11 minutos de lado sem redutor focal. Com o redutor, essa área passa a ter aproximadamente, 25 minutos de arco de lado. As imagens do dia 31/05/2010 foram obtidas com o redutor focal, todas as outras imagens foram obtidas sem. Das imagens com redutor focal apenas as das regiões de BHR 074 e 075 foram utilizadas, pois as outras imagens da mesma noite não possuíam boa qualidade. As imagens com redutor focal apresentam um forte *vignetting* que afeta uma região considerável do campo. Por isso, não utilizamos o redutor focal em outras noites, pois o campo com qualidade óptica boa tem um tamanho similar ao campo sem redutor focal. Assim, mesmo com o aumento de campo, não recomendamos o uso do redutor focal.

No início de cada noite foram colhidas imagens de *bias* e *flat-field* em número suficiente para uma boa calibração de ruídos do detetor, como explicado na Seção 3.3.1. Os objetos da amostra foram observados com tempos de exposição entre 40 e 200 segundos por posição da lâmina. Cada glóbulo de Bok foi observado em pelo menos 8 posições da lâmina retardadora (vide Tabela 3.1).

Nas imagens obtidas, foi constatada a presença de *fringing*. *Fringing* é um padrão irregular de regiões claras e escuras. Esse padrão é o resultado da interferência da emissão em linhas espectrais do céu, no filme de silício do CCD o que cria o padrão não uniforme visível nas imagens. Este padrão costuma possuir uma dependência

espacial constante ao longo da noite, mas de nível variável. Este fato fez com que as observações de 03 a 05 maio de 2011 fossem feitas com pontilhamento, isto é, movendo-se o telescópio levemente entre as exposições. Cada posição de pontilhamento foi feita em uma posição diferente da lâmina retardadora. O pontilhamento deve ser feito de modo que uma estrela não se sobreponha a imagem dela mesma em outras imagens da mesma sequência. Esse procedimento permite estimar a contribuição do *fringing* em cada imagem e sua posterior subtração, conforme será melhor explicado na seção de redução de dados (Seção 3.3.1).

Em cada missão também foram observadas estrelas padrões polarimétricas (vide Tabela 3.2). Estas estrelas dividem-se em estrelas polarizadas e não-polarizadas. Cada uma foi observada em 16 posições da lâmina de modo que a direção e o valor da polarização ficassem muito bem determinados. Os valores de polarização medidos para as estrelas padrões não-polarizadas são utilizados ao final da redução de dados de modo a corrigir qualquer polarização instrumental que possa surgir. As estrelas polarizadas são usadas para corrigir a direção de polarização obtida para o sistema equatorial. As medidas realizadas de cada estrela padrão estão listadas na Tabela 3.3, bem como os ângulos de correção para o sistema equatorial encontrados.

Tabela 3.3 - Resultados do cálculo da polarimetria para as estrelas padrões utilizadas.

Missão	Estrela	Polarizada	θ (°)	σ_θ (°)	P (%)	σ_P (%)	θ_{ref} (°)	δ (°)	$\bar{\delta}$ (°)
Banda I_C									
31/05/2010	HD110984	Sim	172,32	0,12	4,9	0,02	91,6 ^a	-80,72	
a	HD111579	Sim	3,32	0,16	5,4	0,03	103,1 ^a	-80,22	-80,47
01/06/10	HD94851	Não	142,97	8,6	0,1	0,03			
03/05/11	HD110984	Sim	3,91	0,23	4,9	0,04	91,6 ^a	-92,31	
	HD111579	Sim	15,77	0,27	5,4	0,05	103,1 ^a	-92,67	
a	HD176495	Não	80,99	11,46	0,2	0,08			-92,49
05/05/11	HD94851	Não	135,17	9,55	0,06	0,02			
Banda H									
12/03/10	HD111579	Sim	99,97	12,53	1,6	0,7	103,1 ^a	-176,87	
13/03/2010	HD298383	Sim	145,68	7,54	1,9	0,5	148,6 ^a	-177,08	-176,98
06/05/11	HD111579	Sim	110,77	5,73	1	0,2	103,1 ^a	-7,67	
	HD298383	Sim	152,98	4,41	1,3	0,2	148,6 ^a	-4,38	
a	HD109055	Não	34,2	28,65	0,2	0,2			-6,03
	HD298383	Sim	163,3	21,33	0,9	0,67	148,6 ^a	-14,7	
08/05/11	HD94851	Não	104,94	11,46	0,1	0,04			

Legenda:

- θ - Direção de polarização medida, não corrigida.
- σ_θ - Erro de θ .
- P - Grau de polarização.
- σ_P - Erro do grau de polarização.
- θ_{ref} - Direção de polarização no sistema equatorial.
- δ - Diferença entre a direção de polarização no sistema equatorial e θ .
- $\bar{\delta}$ - Média de δ em uma missão, é a correção aplicada aos objetos medidos na missão em questão.
- ^a - Valores retirados de [Turnshek et al. \(1990\)](#)

3.2.2 Dados no infravermelho

Os dados no infravermelho foram obtidos na banda H com a câmera infravermelha do Observatório do Pico dos Dias, conhecida como CamIV. A CamIV utiliza um detector do tipo HAWAII (Rockwell Sci.) de 1024 x 1024 pixels. No telescópio Boller & Chivens, este detector cobre uma área com 8 minutos de lado. A câmara é mantida em 77 K através do uso de nitrogênio líquido. Mais informações podem ser encontradas em *Câmara...* (2011).

A observação começa usualmente com a obtenção das imagens de *flat-field*, descritas na Seção 3.3.2, e a seguir são observados os objetos de programa. Em cada campo foram escolhidos tempos de integração curtos o suficiente para que o maior número possível de estrelas no campo ficasse com um número de contagens inferior ao limite de não linearidade de aproximadamente 10.000 contagens. Para atingir o tempo de exposição de cerca de 200 segundos, foram obtidas várias imagens (vide Tabela 3.1). Essas imagens são somadas no procedimento de redução, como está descrito na Seção 3.3.2.

A cosmética de detectores infravermelhos é pior que a de detectores ópticos. Assim é usual utilizar o pontilhamento nas observações com a CamIV. Cada posição de pontilhamento foi feita com uma posição diferente da lâmina retardadora. As imagens feitas com pontilhamento são posteriormente utilizadas para estimar o ruído aditivo na imagem e então fazer a correção de “céu”. Cada glóbulo foi observado em pelo menos 8 posições da lâmina. As estrelas padrões foram observadas com 8 posições da lâmina (vide Tabela 3.2).

No infravermelho foram observados catorze das 20 regiões de nossa amostra (vide Tabela 3.1).

3.3 Preparação dos dados

Nas seções 3.3.1 e 3.3.2, descrevemos o processo de correção das ruídos do detector para o óptico e infravermelho, respectivamente. A descrição do cálculo da polarização é apresentada na Seção 3.4.

3.3.1 Dados no óptico

Com o uso de CCDs surge a necessidade de serem feitas imagens de calibração, devido ao detector não ser perfeito. As imagens de calibração usadas neste trabalho são:

- *bias*;
- *flat-field*;
- Máscara de *bad pixels*;
- Imagem de *fringing*.

A primeira das imagens de calibração necessárias é a imagem de *bias*. A necessidade de se fazer esta imagem surge de dois fatos. O CCD introduz um sinal positivo para não haver contagens negativas (*overscan*). Este é um artifício comum em dispositivos eletrônicos para evitar que haja problemas com o conversor de elétrons para ADUs. Isto faz com que as contagens em imagens obtidas com zero segundos de exposição não sejam iguais a zero, possuindo um certo nível de contagens. A imagem também inclui um padrão de leitura que possui uma pequena variação pixel a pixel, mas é aproximadamente constante para todas as imagens. Para se ter uma boa estimativa deste padrão são obtidas diversas imagens com exposições curtíssimas e com o obturador fechado, cerca de 100 por noite, de modo a combiná-las em uma única imagem média (vide Figura 3.3). Isto é necessário pois a variação pixel-a-pixel é menor que o erro na contagem de um pixel de uma imagem. Desse modo a imagem de *bias* contém o *overscan* e o padrão de leitura.

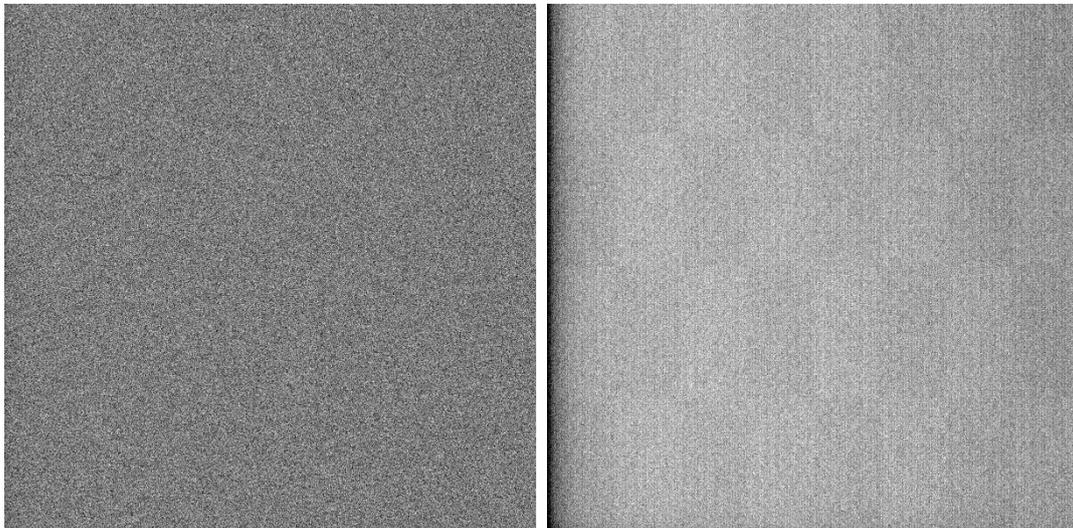


Figura 3.3 - À esquerda, uma imagem individual de *bias*, à direita, uma imagem de *master bias* que é o resultado da combinação de 400 imagens individuais de *bias*.

As imagens de *flat-field* são obtidas apontando o telescópio para uma superfície uniformemente iluminada ou então para o céu no fim da tarde ou no início da

manhã. Estas imagens são necessárias, pois a sensibilidade do detetor varia pixel a pixel como também, os elementos no caminho óptico podem fazer com que o detetor não seja uniformemente iluminado. Isto faz com que a imagem de uma superfície uniformemente iluminada não seja uma imagem plana. Como cada imagem de *flat-field* contém ruído, são feitas muitas imagens por noite a fim de se combiná-las e obter uma imagem média que tenha um erro menor que cada imagem individual. O ruído mais importante no caso da imagem de *flat-field* é o ruído de Poisson dos fótons que chegam ao CCD. Por último, a imagem combinada é normalizada pelo seu valor modal (vide Figura 3.4). A imagem de *flat-field* é normalizada para que quando seja feita a divisão pelo *flat-field* os pixels bem iluminados sejam divididos por valores próximos a 1.

A imagem de *flat-field* também é utilizada para se fazer a máscara de *bad pixels*. *Bad pixels* são pixels que devido a pequenos defeitos de fabricação apresentam respostas incoerentes com o sinal que está recebendo ou até mesmo não apresentando nenhuma resposta. A máscara de *bad pixels* (Figura 3.5, à esquerda) é uma imagem que contém a posição dos pixels ruins do CCD. Ela é utilizada para se fazer uma interpolação através destes pixels ruins criando uma imagem com menos defeitos.

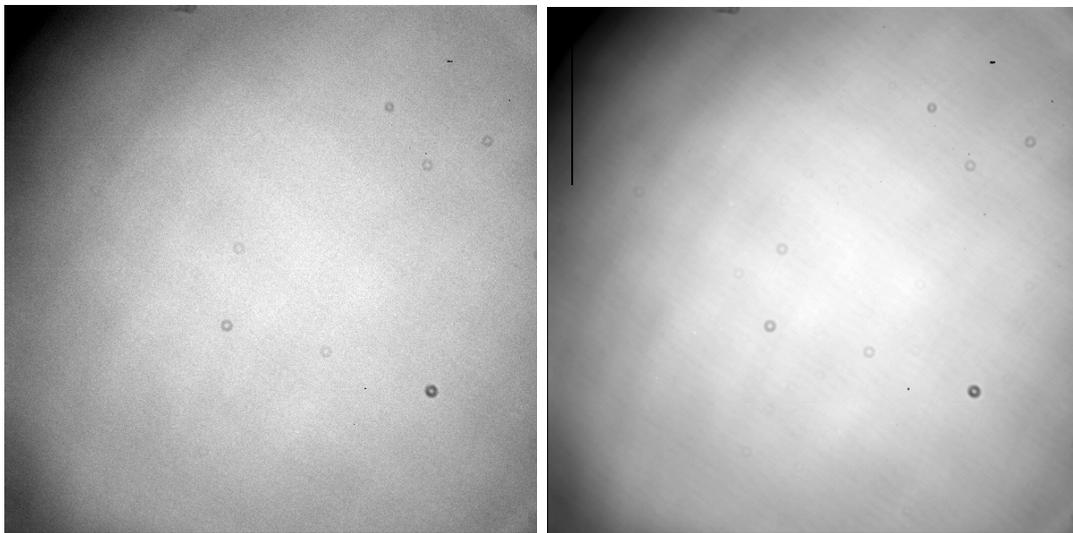


Figura 3.4 - À esquerda, uma imagem individual de *flat-field* e, à direita, imagem combinada de 100 imagens individuais de *flat-field*

Depois de obtidas as imagens combinadas de *flat-field* e *bias*, as imagens dos objetos têm seus *bad pixels* corrigidos, são subtraídas da imagem de *bias* e divididas pela imagem de *flat-field* normalizada.

Devido ao *fringing* (vide Seção 3.2.1), passamos também a produzir a imagem de *fringing* descrita abaixo. Após as 3 correções, as imagens dos objetos obtidas em uma mesma noite são normalizadas à menor moda entre elas e a seguir são combinadas pela mediana. O resultado é a imagem de céu. Devido ao pontilhamento, o valor mediano para um mesmo pixel nas diversas imagens é uma estimativa do céu. Essa imagem ainda não serve para a correção de *fringing*, pois ela contém o *fringing* e ruídos de baixa frequência. A imagem é então suavizada para conter apenas os ruídos de baixa frequência. A seguir a imagem suavizada é subtraída da imagem original, o resultado é uma imagem que contém apenas o *fringing* para cada noite (Figura 3.5). A amplitude do *fringing* varia de acordo com o tempo de exposição portanto, a imagem de *fringing* é escalonada pelo tempo de exposição de cada imagem e então subtraída. Infelizmente, por ser necessário o uso de pontilhamento, apenas as imagens obtidas na missão de maio de 2011 foram corrigidas de *fringing*.

Ao fim destes passos, obtemos uma imagem corrigida para cada posição da lâmina retardadora. Estas imagens são usadas para o cálculo da polarização como descrito na Seção 3.4.

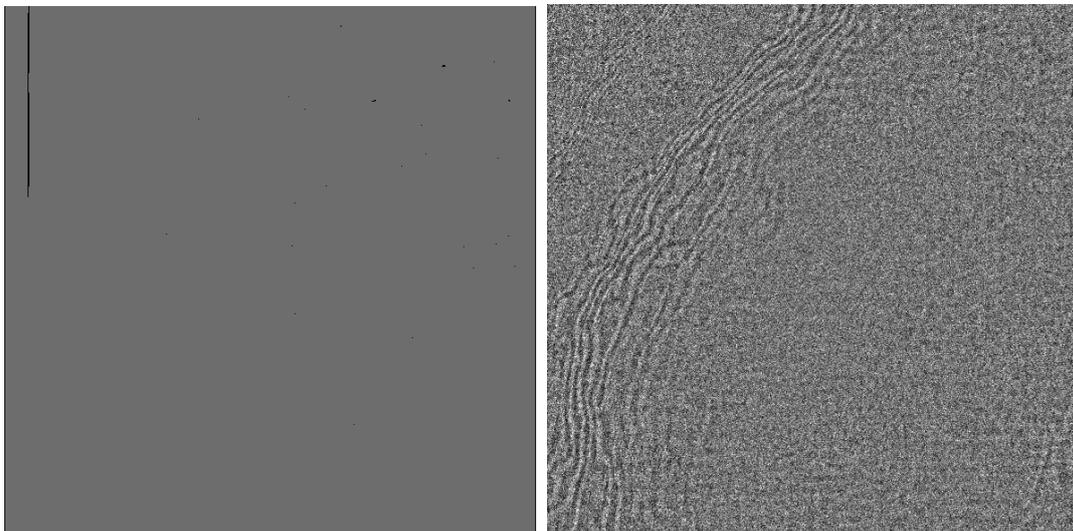


Figura 3.5 - À esquerda, máscara de *bad pixels*. À direita, imagem de *fringing*.

3.3.2 Dados no infravermelho

O uso da CamIV implica em imagens de calibração diferentes das imagens descritas na Seção 3.3.1. Isto acontece pois este detetor é diferente de um CCD, porque possui uma cosmética pior e trabalha em uma região espectral em que o próprio céu e os

instrumentos emitem. As imagens usadas costumam ser as imagens de *flat-field*, porém obtidas de forma diferente de como são obtidas no óptico, máscara de *bad pixels* e uma imagem de céu. Uma outra imagem, às vezes determinada, é a dos coeficientes de não linearidade pixel-a-pixel.

As imagens de *flat-field* com a CamIV são obtidas em duas etapas. Primeiro, são obtidas as imagens de *flat-on*. Estas são obtidas da mesma maneira que as imagens de *flat-field* no óptico, com a limitação de o número de contagens não ultrapassar o limite de não linearidade da CamIV. E depois são obtidas as imagens de *flat-off*. Estas são obtidas na mesma configuração das imagens de *flat-on* exceto pelo fato de a luz estar desligada. As imagens de *flat-off* é uma estimativa dos ruídos introduzidos pela emissão térmica da cúpula, corrente de escuro no detetor e outros ruídos que possam estar presentes. Essas imagens são combinadas e o resultado combinado é então subtraído de todas as imagens de *flat-on*. Estas, por fim, são combinadas a fim de se obter uma imagem de *flat-field* que é normalizada para ser utilizada na correção. A máscara de *bad pixels*, como no óptico, é obtida da imagem de *flat-field*.

Para a subtração do céu, seguimos os seguintes passos:

- a) encontra-se a menor moda dentre todas as imagens;
- b) multiplica-se cada imagem por um fator de escala, de modo a todas possuam a mesma moda, sendo esta a moda mínima entre todas as imagens;
- c) toma-se a mediana das imagens normalizadas à mesma moda;
- d) esta imagem mediana é então subtraída das imagens normalizadas à mesma moda;
- e) as imagens normalizadas à mesma moda são multiplicadas por um fator que é o inverso do fator utilizado em (b) para retornarem à moda original.

Este procedimento proporciona bons resultados na subtração do céu (vide Figura 3.6).

Para se obter a imagem dos coeficientes de não linearidade são feitas imagens com tempos de exposição crescentes de modo a se medir como as contagens crescem com o tempo de exposição. As imagens são obtidas com o telescópio apontado para o interior da cúpula ou com o telescópio fechado, para que a fonte de luz seja constante. A partir das contagens obtidas nas imagens com menores tempo de exposição, é feito

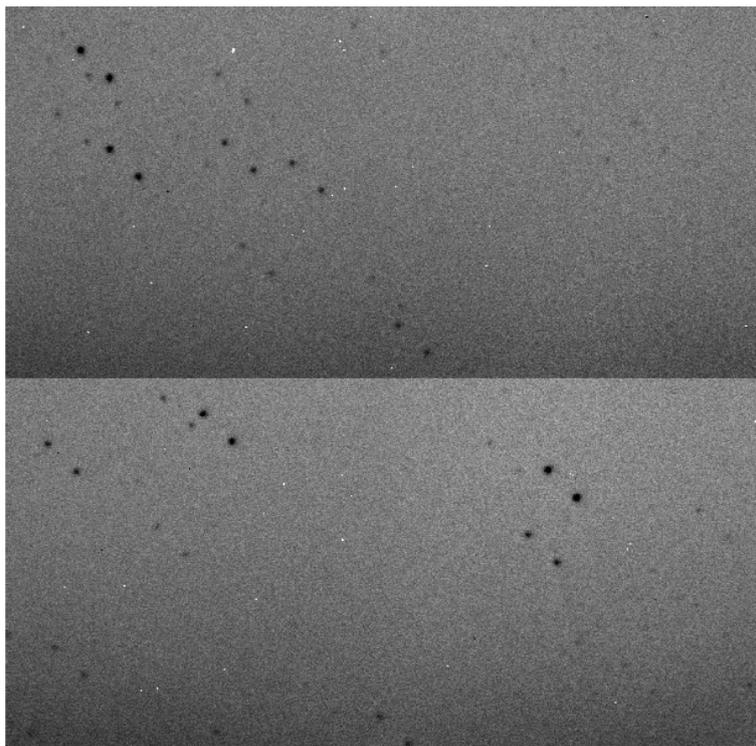


Figura 3.6 - Imagem do glóbulu de Bok BHR 117 na banda H subtraída da imagem de céu.

um ajuste do crescimento das contagens com o tempo de exposição. A partir da diferença de contagens entre a reta e as contagens obtidas é calculado o coeficiente de não linearidade pixel a pixel. Um modo de se evitar fazer esta correção é manter o número de contagens dos objetos no campo abaixo de 10.000. Nesse caso a não linearidade é desprezível.

As imagens são corrigidas pela não-linearidade com a rotina *lineariza* do pacote de redução para o *framework Image Reduction and Analysis Facility* (IRAF) da CamIV desenvolvido por F. J. Jablonski. Por último, são corrigidas de seus *bad pixels*, divididas pelo *flat-field* normalizado e subtraídas da imagem de céu.

Após a aplicação das correções acima, as imagens de uma mesma posição da lâmina são alinhadas e combinadas. Foi criada uma rotina que identifica todas as imagens de uma mesma lâmina e as combina. Isto automatizou o processo tornando-o menos demorado e menos sujeito a erros. A imagem resultante é uma imagem com um tempo de integração equivalente ao da soma dos tempos de integração das imagens individuais. Com esse procedimento, aparecem mais estrelas no campo com razão sinal ruído alta, como pode ser visto na Figura 3.7. Estas são as imagens que são

utilizadas no cálculo da polarização.

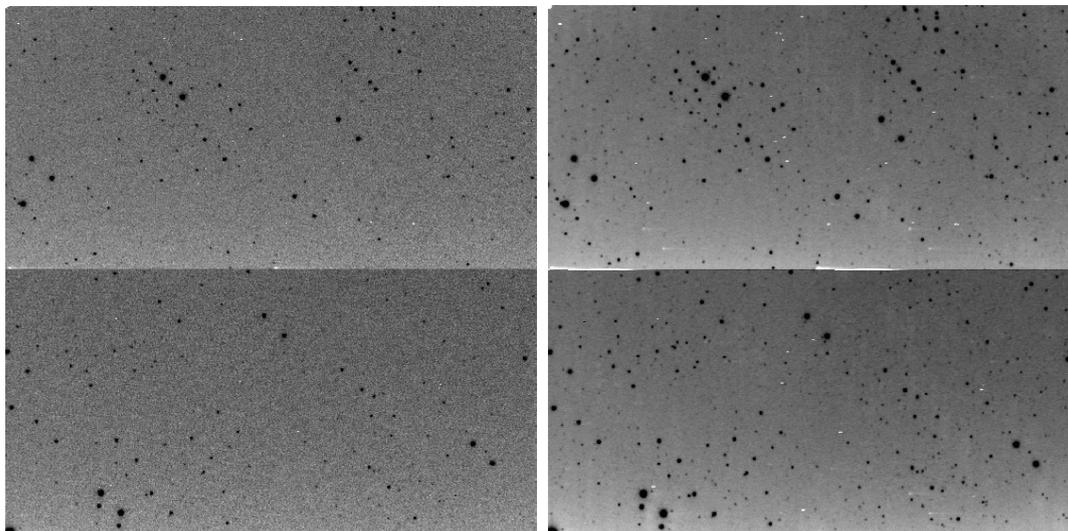


Figura 3.7 - À esquerda, imagem na banda H do glóbulo de Bok BHR 074 obtida com a CamIV com 5 segundos de exposição, corrigida de *flat-field* e céu. À direita, combinação de 40 imagens de 5 segundos de exposição na banda H do glóbulo de Bok BHR 074.

3.4 Redução polarimétrica

O cálculo da polarização é feito com o auxílio do pacote de redução PCCDPACK para a plataforma IRAF desenvolvido por Antonio Pereyra ([PEREYRA, 2000](#)). A redução polarimétrica consiste em diversos passos descritos abaixo. Estes passos são iguais tanto para os dados obtidos no óptico quanto para os dados obtidos no infravermelho. Nesta lista as diferenças entre os procedimentos para o cálculo de um objeto ou vários serão destacadas quando relevantes. Uma descrição detalhada dos passos mais importantes é apresentada logo após a lista dos passos.

- a) seleção da imagem de referência;
- b) seleção dos objetos;
- c) formação dos pares ordinário e extraordinário;
- d) cálculo do deslocamento entre as imagens;
- e) criação dos arquivos de coordenadas para cada imagem;
- f) realização da fotometria de abertura para os objetos contidos nos arquivos de coordenadas em cada imagem;

- g) cálculo da polarização usando a modulação da diferença de fluxo entre os feixes ordinário e extraordinário dividida pelo fluxo total em cada abertura para qual a fotometria foi feita;
- h) seleção da abertura que resulta na medida da polarização com o menor erro;
- i) confecção dos mapas de polarização com critérios de seleção para os objetos;
- j) confecção dos catálogos em ascensão reta e declinação;
- k) busca e retirada dos catálogos de objetos que apresentam polarizações espúrias;
- l) compilação dos catálogos finais.

No passo (a), a imagem mais nítida e que contenha o maior número de objetos é selecionada. A seguir, no passo (b), no caso da redução para apenas um objeto, ele é escolhido manualmente. Já no caso de múltiplos objetos, uma rotina IRAF é utilizada. Esta rotina encontra todas as fontes na imagem de referência com largura próxima ao *seeing* e que tenham o pico com mais de 4 vezes o valor da dispersão do céu. A dispersão do céu e o *seeing* em pixels são extraídos com uma rotina criada para o auxílio da redução. Esta mesma rotina também fornece a distância em x e y dos objetos que constituem um par de imagens ordinária e extraordinária. O passo (c) é feito por uma rotina do PCCDPACK, no caso de múltiplos objetos, o que não é necessário no caso de apenas um objeto, pois as imagens ordinária e extraordinária são apontadas manualmente.

Nos passos (d) e (e), são calculados os deslocamentos entre as diversas imagens e são criados os arquivos de coordenadas referentes a cada imagem a partir do arquivo de coordenadas da imagem de referência criado no passo (c). Estes deslocamentos surgem devido a pequenos erros de acompanhamento do telescópio e também devido ao uso de pontilhamento. Estes arquivos são utilizados na fotometria de abertura e também na confecção dos mapas de polarização (passos g e i).

O cálculo das contagens é feito no passo (f) com a fotometria de abertura dos objetos listados nos arquivos de coordenadas. Para cada fonte é realizada uma série de medidas com diversas aberturas. Os resultados da fotometria são então utilizados no passo (g) para se calcular a polarização de cada objeto. A polarização é

calculada fazendo-se o ajuste das diferenças de contagens entre os feixes ordinário extraordinário divididas pelo fluxo total a uma senóide (vide Figura 3.8):

$$M(\phi) = P \cos(4\phi + 2\theta) \quad (3.1)$$

onde P e θ são os parâmetros livres, grau e ângulo de polarização respectivamente. $M(\phi)$ é a amplitude da modulação para a posição ϕ da lâmina retardadora. No passo (h) é escolhida a abertura com menor erro dentre as diversas medidas.

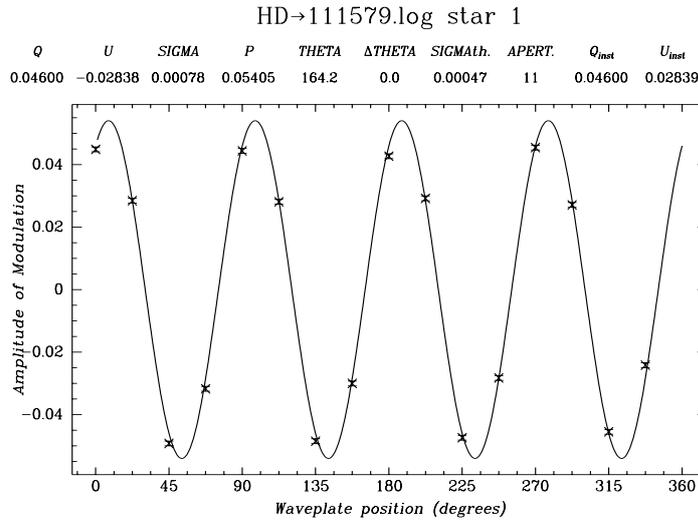


Figura 3.8 - Representação gráfica do ajuste realizado pela rotina *pccdgen* para o cálculo da polarização.

Apenas os valores dos parâmetros de entrada variam para cada campo entre os passos (b) e (h). Portanto, foram feitas duas rotinas, uma para automatizar o cálculo da polarização para apenas um objeto e outra para campos com múltiplos objetos. Estas duas rotinas tornaram o processo fácil e rápido, além de padronizar a redução. Havendo apenas um objeto no campo a redução se encerra aqui. Os passos de (i) a (l) dizem respeito apenas a campos com múltiplos objetos.

No passo (i) utilizamos a rotina *select* do PCCDPACK que seleciona os objetos com a razão $\frac{P}{\sigma_P}$ acima de um dado valor. Esta rotina também constrói os mapas de polarização nas coordenadas da imagem de referência, os histogramas da direção de polarização e do grau de polarização e a distribuição bi-dimensional dos parâmetros de Stokes q e u . Esta rotina foi modificada para permitir a seleção de objetos que te-

nam o erro da polarização abaixo de um valor máximo σ_P^{max} escolhido. Isto garante que todos objetos escolhidos tenham uma razão sinal ruído maior que $\frac{1}{\sigma_P^{max}}$ para a polarização. Para a confecção dos mapas, escolhemos $\frac{P}{\sigma_P} \geq 3$ e $\sigma_P \leq \sigma_P^{max} = 0.01$ o que faz com que todos os objetos nos mapas tenham o erro de polarização $\leq 1\%$. A Figura 3.9 é um exemplo de saída gráfica desta rotina.

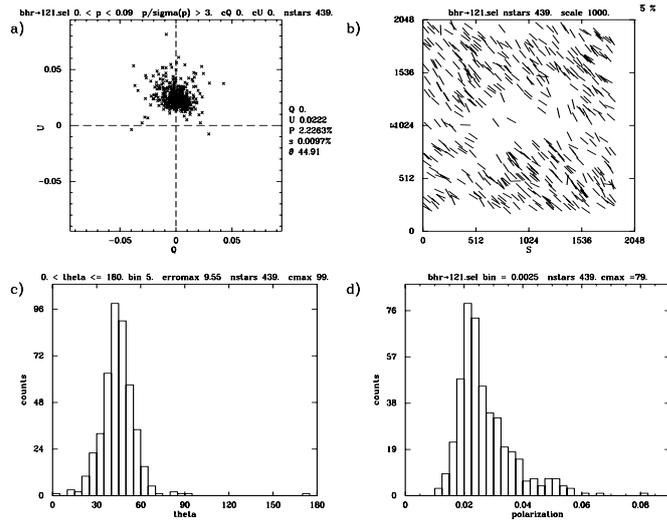


Figura 3.9 - Saída da rotina *select* para o glóbulo de Bok BHR 121, na banda I_c . (a) distribuição dos parâmetros de Stokes q e u ; (b) mapa de polarização; (c) histograma da direção de polarização e (d) histograma do grau de polarização.

Com os mapas prontos, no passo (j) são criados os catálogos que possuem ascensão reta, declinação, polarização, erro da polarização e direção de polarização dos objetos no mapa. Este processo foi padronizado com uma rotina que guia o usuário através do processo de transformação das coordenadas da imagem para o sistema equatorial. Estes catálogos são inspecionados visualmente a fim de se encontrar polarizações espúrias que possam haver sobrevivido ao processo de seleção em (i). Estas polarizações espúrias se originam, por exemplo, da confusão entre pares ordinário e extraordinário de diferentes estrelas em campos muito ricos.

Com os catálogos limpos, verifica-se se há sobreposição entre os campos. Nesses casos os catálogos são combinados para se formar um catálogo que contenha apenas um valor de polarização por objeto. Para os objetos com múltiplas medidas, é feita a média ponderada pelos erros da polarização das diferentes medidas (vide Figura 3.10). Com estes passos concluídos, obtém-se os catálogos utilizados neste trabalho.

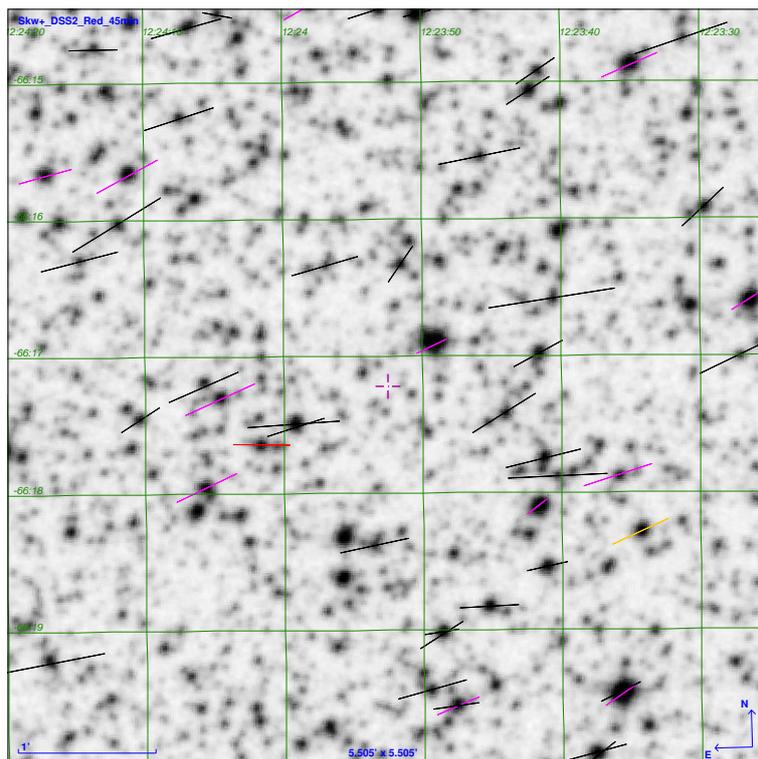


Figura 3.10 - Catálogo final do glóbulo de Bok BHR 074 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red deste campo. As polarizações com duas medidas estão representadas em magenta, com três, em vermelho e com quatro, em laranja.

A Tabela A.1 é um exemplo de catálogo final. Todos os catálogos são mostrados no Apêndice A em forma gráfica, isto é, com os vetores de polarização superpostos à imagem DSS2-Red, ou 2MASS-H no caso do infravermelho, de cada campo. Os histogramas de direção de polarização para cada região podem ser encontrados no Apêndice B.

4 ANÁLISE INDIVIDUAL DA POLARIMETRIA NAS REGIÕES ESTUDADAS

Completados os passos descritos no Capítulo 3, obtivemos um histograma da direção de polarização e um mapa de polarização para cada região. Para cada região foram calculadas médias de quantidades importantes, além de, quando possível, os parâmetros da Gaussiana que define a distribuição de ângulos de polarização. As propriedades polarimétricas de cada região no óptico e no infravermelho são listadas nas Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente. Neste Capítulo, descrevemos os mapas encontrados e apresentamos os detalhes dos valores apresentados nesse trabalho.

4.1 Propriedades polarimétricas dos campos estudados no óptico

A média vetorial da polarização e a média do ângulo de polarização foram calculadas a partir da média ponderada pelo erro da polarização dos parâmetros de Stokes q e u ,

$$\bar{P} = \sqrt{\bar{q}^2 + \bar{u}^2}, \quad \bar{\theta} = \frac{1}{2} \arctan \frac{\bar{u}}{\bar{q}}. \quad (4.1)$$

A equação 4.2 mostra como foi calculada a média, \bar{S} , para os parâmetros de Stokes,

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{obj}} \frac{S_i}{e_i^2}}{\sum_{i=1}^{N_{obj}} \frac{1}{e_i^2}}, \quad (4.2)$$

onde N_{obj} é o número de objetos, S_i é um dos parâmetros de Stokes do objeto i , e_i é o erro da polarização do objeto i . A média do módulo de polarização, $|\bar{P}|$, foi calculada de modo similar segundo,

$$|\bar{P}| = \frac{\sum_{i=1}^{N_{obj}} \frac{|P|_i}{e_i^2}}{\sum_{i=1}^{N_{obj}} \frac{1}{e_i^2}}, \quad (4.3)$$

onde $|P|_i$ é o módulo de polarização para o objeto i . A média do erro do ângulo de

Tabela 4.1 - Propriedades polarimétricas das regiões estudadas na banda I_c .

Região	Tipo	N_{obj}	\overline{P} (%)	$ \overline{P} $ (%)	$\overline{\theta}$ (°)	$\overline{\sigma_\theta}$ (°)	θ_{gauss} (°)	σ_B (°)
BHR 016	G	38	0,77	1,09	88,1	5,09	90,4	13,36
BHR 034	G	77	1,77	1,93	151,1	4,41	152,7	13,76
BHR 044	E	30	0,22	1,27	114,7	5,78	N/D	N/D
BHR 053 ^a	S, G	139	0,65	0,96	166,0	5,20	160,8	26,34
BHR 053 ^b	G	25	0,47	0,56	178,9	5,12	2,2	14,53
BHR 053 ^c	G	83	1,70	2,18	152,2	4,96	151,3	19,12
BHR 053 ^d	G	108	0,67	1,2	144,2	5,47	139,77	15,57
BHR 058	G	130	0,90	1,02	112,2	5,76	112,6	11,28
BHR 059 ^a	S, E, G	180	0,51	1,00	138,9	4,62	N/D	N/D
BHR 059 ^b	G	59	0,53	0,76	135,9	4,52	129,6	14,62
BHR 059 ^c	E	63	0,40	2,66	166,7	3,82	N/D	N/D
BHR 074	G	1128	1,27	1,40	99,2	4,73	100,3	10,56
BHR 075	G	546	0,99	1,14	114,7	5,29	114,3	13,43
BHR 111	G	498	2,86	3,04	39,7	2,67	40,4	10,21
BHR 113	G	1093	3,88	3,93	45,5	2,62	46,3	5,10
BHR 117	G, E	415	2,17	2,41	37,1	3,87	39,0	11,95
BHR 121	G	391	2,22	2,29	44,9	4,56	44,4	7,12
BHR 126	G	134	1,89	2,04	174,4	4,53	177,4	11,24
BHR 133 ^a	S, G	693	2,16	2,37	45,2	3,61	45,7	13,36
BHR 133 ^c	G	178	5,50	5,66	53,8	2,52	52,6	6,15
Subtraído 1	G	635	4,18	4,38	150,5	3,04	151	6,06
Subtraído 2	G	688	6,45	6,54	55,1	2,11	55,2	4,15
Subtraído 3	G	601	4,46	4,65	150,6	3,78	150,6	5,13
BHR 138	G	531	2,59	2,64	29,0	3,88	28,3	5,17
BHR 139	G	242	2,35	2,38	31,6	5,08	30,8	5,57
BHR 140	G	463	1,98	2,10	20,3	4,66	23,4	7,90
BHR 144	G	81	0,86	1,18	37,4	5,84	40,0	15,14
BHR 145	E	86	0,41	0,94	160,3	5,94	N/D	N/D
BHR 148-151	E	440	0,82	1,23	30,1	5,67	N/D	N/D

Legenda:

- N_{obj} - Número de objetos.
- \overline{P} - Média vetorial da polarização.
- $|\overline{P}|$ - Média do módulo de Polarização.
- $\overline{\theta}$ - Direção de polarização média.
- $\overline{\sigma_\theta}$ - Erro médio da direção de polarização.
- θ_{gauss} - Direção preferencial (ajuste Gaussiano).
- σ_B - Dispersão do campo magnético.
- ^a - Todos os objetos do campo.
- ^b - Componente de baixa polarização.
- ^c - Componente de alta polarização.
- ^d - Componente de baixa polarização subtraída.
- G - Distribuição gaussiana.
- S - Sobreposição de distribuições.
- E - Distribuição com estrutura espacial.

polarização, $\overline{\sigma_\theta}$ em graus, foi calculada segundo,

$$\overline{\sigma_\theta} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{obj}} \frac{28,6479 \cdot e_i}{P_i}}{N_{obj}} \quad (4.4)$$

Tabela 4.2 - Propriedades polarimétricas das regiões estudadas na banda H .

Região	N_{obj}	$\overline{P^H}(\%)$	$ \overline{P^H} (\%)$	$\overline{\theta^H}(\circ)$	$\overline{\sigma_\theta^H}(\circ)$	$\theta_{gauss}^H(\circ)$
BHR 016	4	1,33	1,63	108,5	6,04	N/D
BHR 034	15	0,81	1,95	149,2	6,29	N/D
BHR 044	2	0,54	1,55	64,7	8,44	N/D
BHR 059	4	1,57	2,61	130,1	5,37	N/D
BHR 074	19	1,08	1,63	114,5	7,22	N/D
BHR 075	29	0,68	1,51	102,4	6,57	N/D
BHR 111	61	1,93	2,37	32,7	4,34	30,4
BHR 113	120	2,44	2,82	38,2	4,40	30,4
BHR 121	16	1,04	1,54	46,5	6,03	N/D
BHR 145	2	0,49	1,07	72,0	6,70	N/D
BHR 148-151	62	0,19	1,17	149,5	5,98	N/D

Legenda:

- N_{obj} - Número de objetos.
- $\overline{P^H}$ - Polarização média.
- $|\overline{P^H}|$ - Média do módulo de Polarização.
- $\overline{\theta^H}$ - Direção de polarização média.
- $\overline{\sigma_\theta^H}$ - Erro médio da direção de polarização.
- θ_{gauss}^H - Direção preferencial (ajuste Gaussiano).
- σ_B - Dispersão do campo magnético.

onde P_i é o grau de polarização para o objeto i .

Todos os valores cujas fórmulas foram apresentadas acima podem ser calculados mesmo se o conjunto de objetos não possuir uma distribuição Gaussiana de ângulos de polarização. Porém, a direção preferencial e a dispersão do campo magnético só podem ser calculadas para conjuntos de objetos em que a distribuição de ângulos de polarização for Gaussiana. Nestas distribuições é realizado um ajuste do histograma de ângulos de polarização a uma Gaussiana. A Figura 4.1 mostra um exemplo deste tipo de ajuste. A média desta distribuição, θ_{gauss} , é a direção preferencial de polarização para a região. Já a largura a meia altura, $FWHM$, está associada à dispersão da distribuição. A dispersão da distribuição é ligeiramente maior que a dispersão do campo magnético devido ao erro na medida do ângulo de polarização para cada objeto (e.g. TARGON et al., 2011). Este efeito é corrigido segundo,

$$\sigma_B = \sqrt{\left(\frac{FWHM}{2,355}\right)^2 - \overline{\sigma_\theta^2}}, \quad (4.5)$$

onde σ_B é a dispersão do campo magnético.

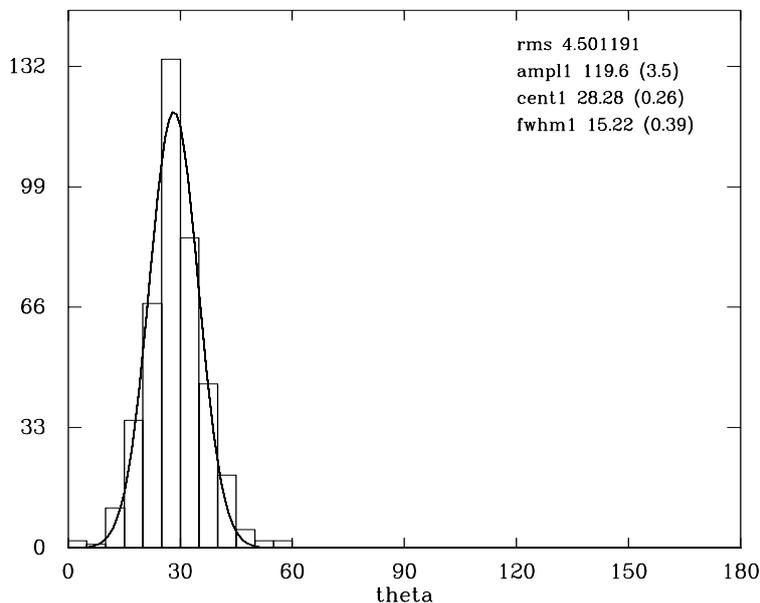


Figura 4.1 - Saída da rotina *select* do PCCDPACK mostrando o histograma da direção de polarização, banda I_c , para a região contendo o glóbulo de Bok BHR 138. Sobreposto ao histograma está um ajuste Gaussiano e no canto superior direito os parâmetro do ajuste, bem como seu erro RMS. Neste e nos outros histogramas da direção da polarização apresentados neste capítulo a direção de polarização esta em graus.

4.2 Propriedades polarimétricas dos campos estudados no infravermelho

A polarimetria no óptico mede objetos nas regiões de menor extinção, as partes externas das nuvens. Portanto, para medir objetos em regiões centrais das nuvens, regiões com extinção mais alta, optamos por usar a banda H do infravermelho próximo. Porém, no infravermelho as medidas são mais difíceis, exigindo longos tempos de integração, o que torna pouco prática a obtenção de dados. Com o tempo de integração utilizado, conseguimos medir a polarização de poucos objetos por região, em geral apenas os mais brilhantes. As propriedades polarimétricas das regiões medidas no infravermelho estão listadas na Tabela 4.2.

Com o objetivo de verificar se a tendência vista nos mapas de polarização do óptico se estendia ao interior dos glóbulos, montou-se a Tabela 4.3. Esta apresenta uma comparação entre as direções médias medidas no óptico e no infravermelho. Na maior parte dos casos $\overline{\delta_{H-I_c}}$, a média da diferença de ângulos de polarização entre objetos coincidentes individuais, é pequena, em geral menor que $\overline{\sigma_{\theta}^H}$. Isso é consistente com

uma origem interestelar para a polarização. Porém, em alguns casos $\overline{\sigma_{\theta}^H} < \overline{\delta_{H-I_c}}$. Nestes casos conferiu-se os mapas de polarização que continham apenas objetos não coincidentes com objetos na banda I_c .

Tabela 4.3 - Comparação entre as propriedades dos histogramas ópticos e infravermelhos de cada região (bandas I_c e H).

Região	$\theta_{gauss}^H(^{\circ})$	$\overline{\delta_{H-I_c}}(^{\circ})$	N_c	$\overline{\theta_{nc}}(^{\circ})$	N_{nc}	$\overline{\delta_{\theta-\overline{\theta_{nc}}}}(^{\circ})$
BHR 016	N/D	25,1	3	113,3	1	25,2
BHR 034	N/D	-6,29	10	14,3	5	-43,2
BHR 044	N/D	11,8	2	N/D	0	N/D
BHR 059	N/D	N/D	0	130,1	4	-5,8
BHR 074	N/D	-0,55	3	117,2	16	18,0
BHR 075	N/D	-3,71	3	101,9	26	-12,8
BHR 111	30,4	-5,94	27	34,1	35	-5,6
BHR 113	30,39	-5,03	39	38,7	82	-6,9
BHR 121	N/D	-3,00	15	N/D	0	N/D
BHR 145	N/D	27,0	2	N/D	0	N/D
BHR 148-151	N/D	-4,32	27	150,0	35	-60,1

Legenda:

- θ_{gauss}^H - Direção preferencial dos objetos na banda H (ajuste Gaussiano).
- $\overline{\delta_{H-I_c}}$ - Média da diferença de ângulos de polarização entre objetos coincidentes individuais.
- N_c - Número de objetos, na banda H , coincidentes com os objetos da banda I_c .
- $\overline{\theta_{nc}}$ - Direção de polarização média para objetos na banda H não coincidentes com objetos na banda I_c .
- N_{nc} - Número de objetos, na banda H , não coincidentes com os objetos da banda I_c .
- $\overline{\delta_{\theta-\overline{\theta_{nc}}}}$ - Diferença entre a direção média na banda I_c e a direção média dos objetos não coincidentes.

Na região de BHR 034 apenas os objetos não coincidentes possuem uma direção média diferente dos objetos no óptico. Uma análise destes objetos revela que a maioria não difere muito em direção dos objetos medidos na banda I_c , exceto por um objeto. Este objeto se encontra por trás da região na borda do glóbulo que emite na banda R . A direção de polarização do objeto é paralela à borda do glóbulo (Figura 4.2). Este alinhamento pode ser um indício da compressão das linhas de campo magnético.

Em BHR 148-151, as direções de polarização são distribuídas de forma peculiar, não se encaixam em um perfil normal, e ainda em BHR 145 são baixas ($\lesssim 1\%$). Portanto, não é de se estranhar que as direções de polarização no óptico e no infravermelho não sejam iguais.

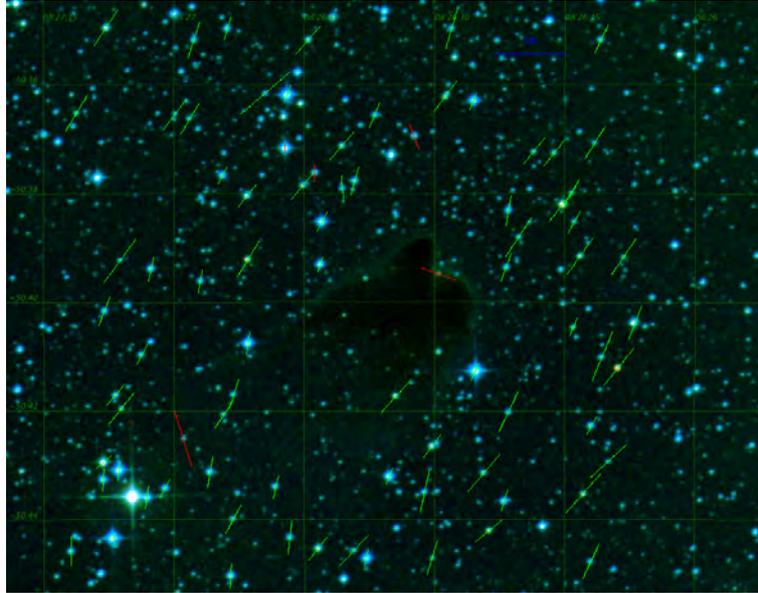


Figura 4.2 - Glóbulo de Bok BHR 034, imagem em cores falsas, azul B, verde R e vermelho J, com os vetores de polarização obtidos nas bandas I_c (em verde) e H (apenas objetos não coincidentes, em vermelho) sobrepostos à imagem. A polarização do objeto que está atrás da borda brilhante do glóbulo tem o vetor de polarização paralelo à ela.

4.3 Classificação das regiões

Nosso objetivo inicial é obter a dispersão de direção do campo magnético. Porém, ao analisarmos as distribuições de ângulos de polarização encontramos regiões onde não era possível, pelo menos de imediato, realizar um ajuste Gaussiano ao histograma de ângulos de polarização. A partir da análise dos histogramas e mapas de cada região, apresentada nas próximas seções, dividimos as regiões em três casos:

- regiões com distribuições gaussianas de ângulo de polarização, regiões onde a distribuição de ângulos de polarização segue uma distribuição normal (Seção 4.4);
- regiões com estrutura espacial, regiões nas quais a distribuição de ângulos de polarização não é aleatória porém não é bem descrita por uma distribuição normal (Seção 4.5);
- regiões com sobreposição de distribuições de ângulos de polarização, regiões onde há uma sobreposição de duas distribuições que se separam em grau de polarização (Seção 4.6).

4.4 Regiões com distribuições Gaussianas de ângulo de polarização

A maior parte das regiões se encaixa neste grupo. Das vinte regiões, treze possuem uma distribuição de direção de ângulos de polarização simples, isto é, gaussiana e sem sobreposição ou estrutura espacial. Nestas regiões o ajuste gaussiano pode ser realizado sem problemas e podemos obter a média e a dispersão do ângulo de polarização. Essas regiões estão anotadas pela letra G, quando não acompanhada de outra letra, na coluna 2 da Tabela 4.1.

Nessas regiões os ângulos de polarização costumam se manter bem próximos da direção preferencial, mesmo nas regiões de alta extinção. Porém, em pelo menos um caso existe um desvio desta tendência próximo ao centro do glóbulo. Na região de BHR 140 próximo ao candidato a objeto Classe 0 há uma região extensa de emissão em $22 \mu m$ e através dela uma estrela óptica pode ser vista (Figura 4.3). Esta estrela tem a polarização medida e seu ângulo de polarização difere bastante da direção preferencial da região, além de ter um grau de polarização bastante alto ($P \sim 7\%$). Uma possível explicação para esse fenômeno é a emissão estendida estar associada a matéria circunstelar associado ao candidato a OEJ.

4.5 Regiões com estrutura espacial

As regiões da nossa amostra que não possuem uma distribuição Gaussiana de ângulos de polarização apresentam uma estrutura espacial que fica evidente nos mapas de polarização. Cada região é bastante peculiar e apresenta características únicas não sendo possível traçar características gerais para o grupo. Estas regiões são apresentadas a seguir explicitando o que as tornam diferentes das demais, além das possíveis causas para as peculiaridades encontradas. Essas regiões estão anotadas pela letra E na coluna 2 da Tabela 4.1.

4.5.1 BHR 117

O histograma da direção de polarização desta região apresenta uma distribuição Gaussiana bem definida e vários objetos em diversas direções (Figura 4.4). Isto poderia ter sido interpretado como objetos com a polarização mal medida, porém ao inspecionarmos o mapa de polarização ficou claro que este não era o caso. O mapa de polarização, Figura 4.5, mostra que os objetos com direção de polarização aleatoriamente distribuída e os que compunham a distribuição Gaussiana estavam separados espacialmente. A região que separa os dois regimes é o glóbulo de Bok, e a região bem organizada parece circundar o glóbulo. Os vetores de polarização da

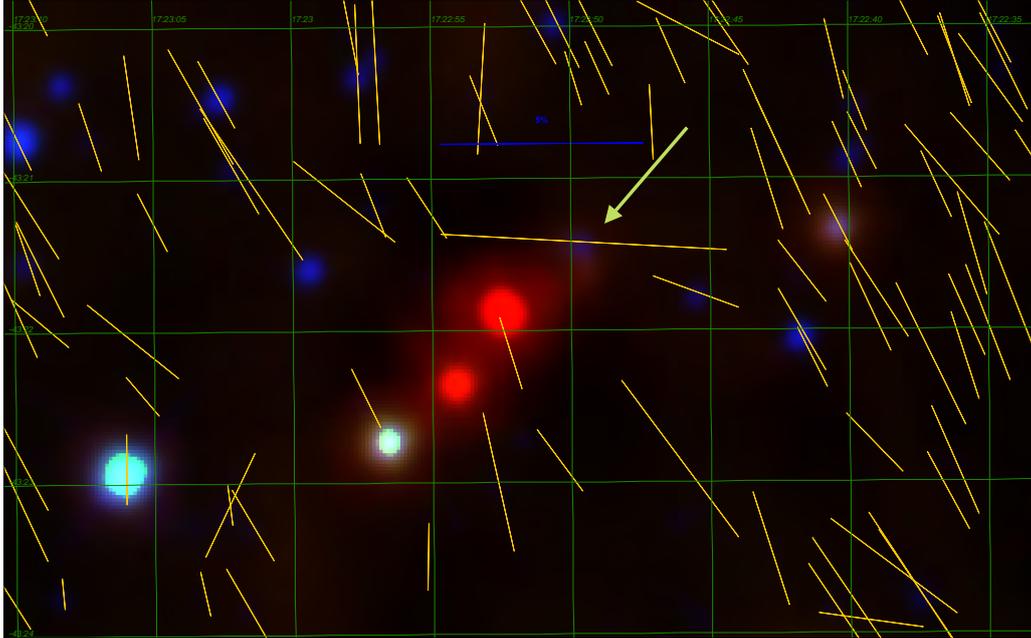


Figura 4.3 - Mapa de polarização óptica, banda I_c , de BHR 140 sobreposto à imagem WISE em cores falsas, azul $3.4 \mu m$, verde $12 \mu m$ e vermelho $22 \mu m$, com aproximadamente $25'' \times 20''$. A seta indica a posição da estrela vista próxima ao OEJ Classe 0 referida no texto.

região ordenada são alinhados ao eixo maior do glóbulu.

A região à sudeste do glóbulu onde está localizada a região desordenada, também é onde se localiza o OEJ presente nesta região. O motivo desta desordem pode ser a atividade do OEJ, devido a produção de jatos e *outflows*, o que vai ao encontro da proposta deste trabalho. Devido a estas peculiaridades esta região será alvo de um estudo mais aprofundado no futuro. A distribuição Gaussiana foi incluída nos resultados listados na Tabela 4.1. O OEJ, por estar fora da região de maior extinção, aparece nas nossas imagens na banda I_c e tem a polarização medida, como também passa nos critérios de corte descritos na Seção 3.4. A direção de polarização do OEJ é diferente da região ordenada.

4.5.2 BHR 044 e 145

As regiões que contêm os glóbulos de Bok BHR 044 e 145 não apresentam uma direção preferencial no histograma (vide Figura 4.6). Porém através da inspeção dos mapas é possível identificar alguma estrutura mesmo que não muito pronunciada

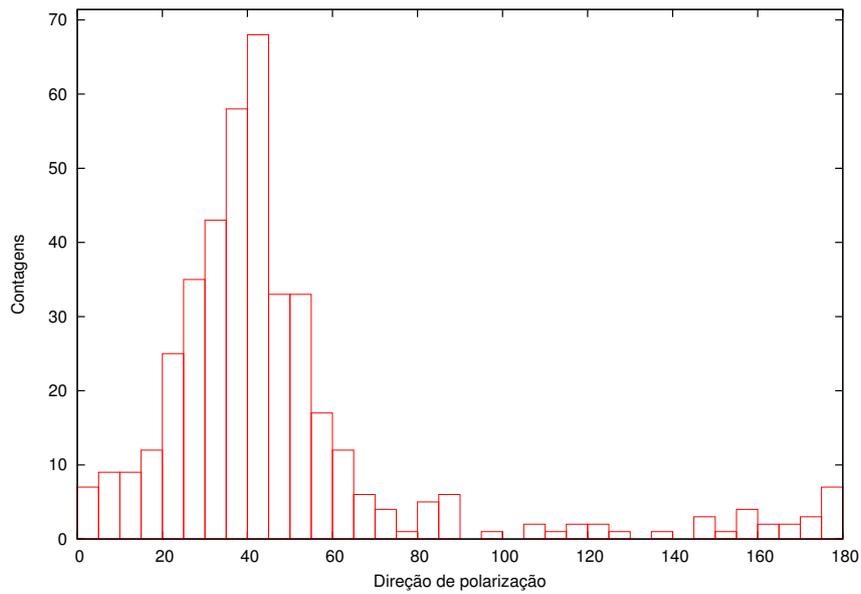


Figura 4.4 - Histograma da direção de polarização da região de BHR 117 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

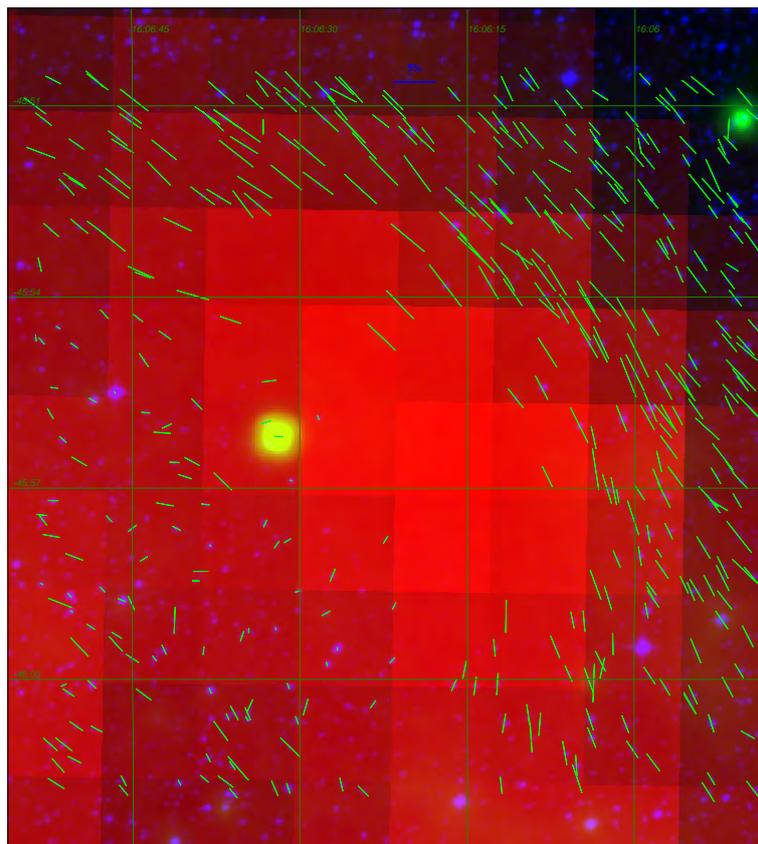


Figura 4.5 - Mapa de polarização da região de BHR 117 na banda I_c sobreposto à imagem em cores falsas, azul DSS2-Red, verde $22 \mu m$ WISE e vermelho $100 \mu m$ IRAS. Pode-se ver que próximo ao OEJ a polarização não tem uma direção preferencial.

em ambos os glóbulos (vide Figura 4.7). Nestes dois casos como não é possível definir uma direção preferencial, não é possível realizar o ajuste a uma distribuição gaussiana.

Um motivo provável para a ausência de direção preferencial nestes casos é o campo magnético estar na direção da linha de visada. Com esta configuração de campo magnético, a luz não é efetivamente polarizada pelos grãos alinhados na direção do observador (vide Seção 1.3). Porém, de acordo com a Tabela 4.1, a média do módulo de polarização destas regiões não é especialmente baixa, o que torna a explicação acima pouco plausível. Uma alternativa é que o campo magnético seja intrinsecamente pouco organizado.

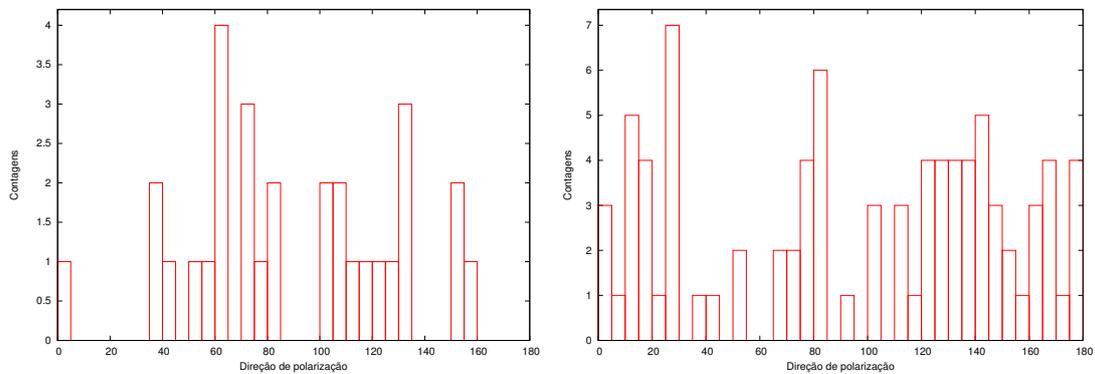


Figura 4.6 - Histogramas da direção de polarização na banda I_c para as regiões contendo os glóbulos de Bok BHR 044 à esquerda e 145 à direita. Direção de polarização em graus.

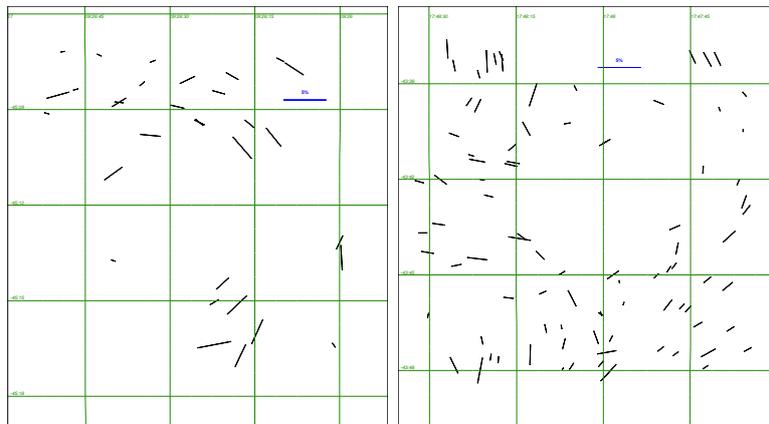


Figura 4.7 - Mapas de polarização na banda I_c para as regiões contendo os glóbulos de Bok BHR 044 à esquerda e 145 à direita.

4.5.3 BHR 148-151

Nesta região é possível identificar um pico no histograma de direção de polarização e um *plateau* se estendendo a partir de um dos lados do pico (Figura 4.8). Porém, este *plateau* não é composto de objetos com polarização aleatoriamente distribuída. O mapa de polarização, Figura 4.9, mostra que existem componentes com diferentes direções de polarização que se separam espacialmente. Não é possível identificar uma ou mais distribuições Gaussianas para serem incluídas na Tabela 4.1.

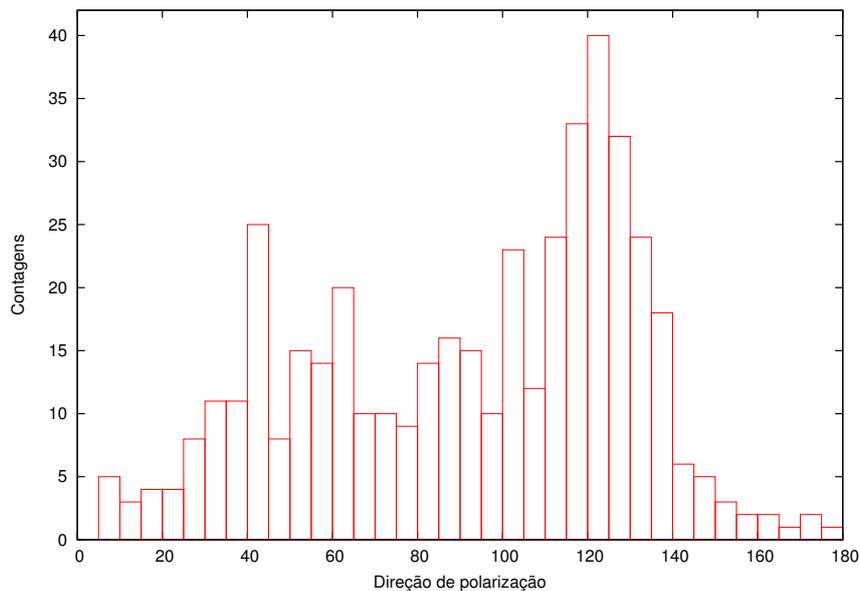


Figura 4.8 - Histograma de polarização da região BHR 148-151 na banda I_c com um deslocamento de 90° . Direção de polarização em graus.

4.6 Regiões com sobreposição de distribuições de ângulos de polarização

Em três regiões, BHR 053, 059 e 133, ao analisarmos os dados polarimétricos encontramos evidências de distribuições de polarização sobrepostas. Nestes casos, realizamos o procedimento de filtrar os objetos pelo grau de polarização. Dessa forma, foi constatado que para determinados limites em grau de polarização, é possível isolar componentes distintas. A provável causa disto é a presença de duas regiões com alta extinção na mesma linha de visada. Os procedimentos que foram adotados em cada um dos casos estão descritos abaixo. Essas regiões estão anotadas pela letra S na coluna 2 da Tabela 4.1.

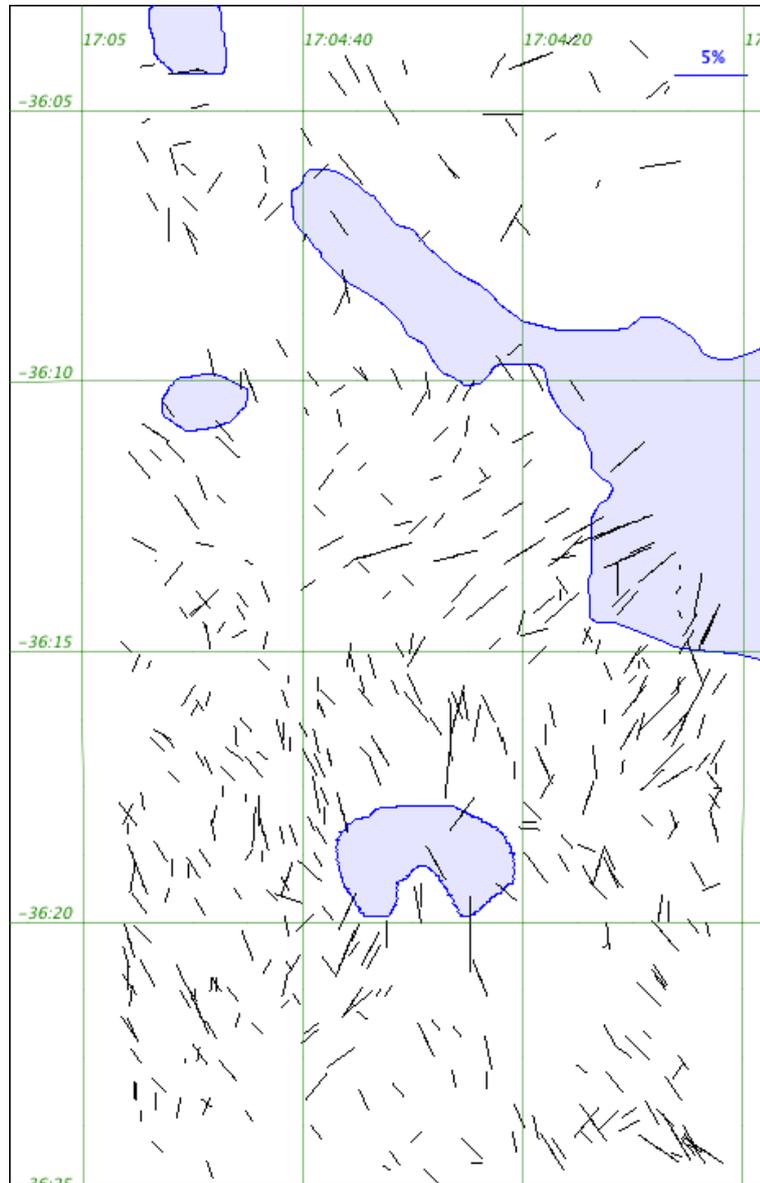


Figura 4.9 - Mapa de polarização da região BHR 148-151 na banda I_c . Em azul os contornos da extinção óptica inferida visualmente da imagem DSS na banda R. É possível perceber que os vetores de polarização não são aleatoriamente distribuídos

4.6.1 BHR 053

O histograma da direção de polarização de BHR 053 apresenta uma distribuição muito larga, sensivelmente mais larga do que qualquer outra região; vide Figura 4.10. Ao definir limites máximo e mínimo no grau de polarização, $P < 1\%$ e $P > 1,5\%$ respectivamente, foi possível isolar duas componentes distintas com centros ligeiramente diferentes (Figura 4.11). Devido ao pequeno número de objetos, vinte e cinco ao todo, ao baixo grau de polarização e a existência de uma população brilhante com polarização baixa, vide Figura 4.12, concluímos que a componente de baixa polarização não está associada ao glóbulo e possivelmente é uma região de extinção mais próxima.

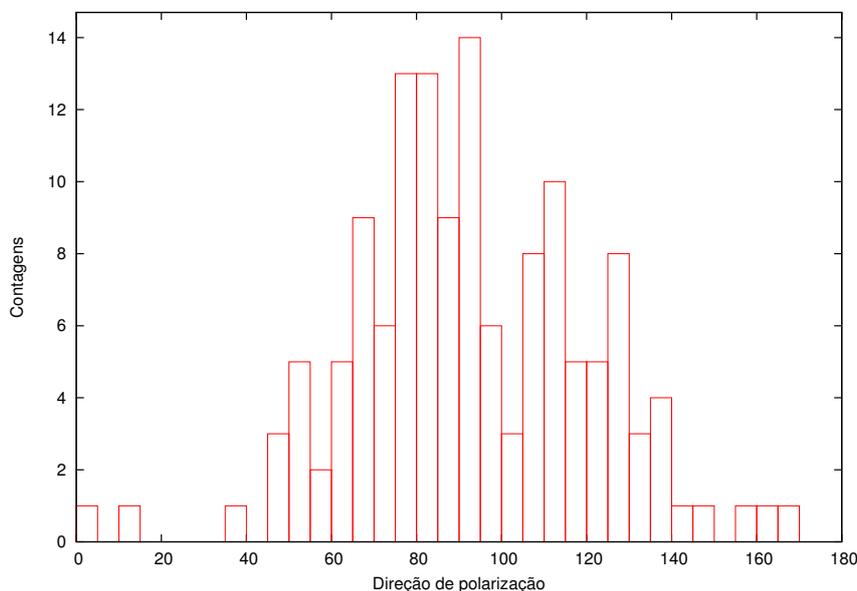


Figura 4.10 - Histograma de polarização da região de BHR 053 na banda I_c com um deslocamento de -70° . Direção de polarização em graus.

Para obtermos somente a componente de fundo, nós primeiros calculamos a média dos parâmetros de Stokes q e u e o erro associado para a componente com menor grau de polarização. Em seguida, esses valores de q e u foram subtraídos de todos os objetos, propagando o erro associado a q e u . Os objetos foram então novamente filtrados para que sobrem apenas objetos com $P/\sigma_P > 3$ e $\sigma_P < 1\%$. O histograma com os objetos restantes, vide Figura 4.13, foi ajustado a uma gaussiana (Tabela 4.1). Para aumentar a precisão do ajuste, dois picos adicionais foram ajustados aos resíduos da subtração para evitar que eles contaminassem a gaussiana principal.

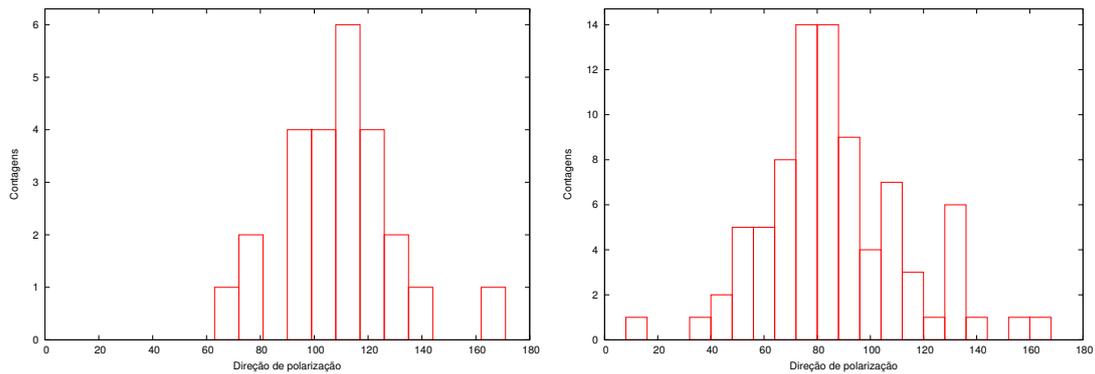


Figura 4.11 - Histogramas de polarização da região de BHR 053 na banda I_c com um deslocamento de -70° . À esquerda, objetos com polarização menor que 1%. À direita, com polarização maior que 1,5%. É possível ver que as componentes de alta e baixa polarização possuem direções preferenciais diferentes. Direção de polarização em graus.

4.6.2 BHR 059

O histograma de polarização desta região parece conter uma componente aleatoriamente distribuída e outra com uma direção preferencial (Figura 4.14 à esquerda). Ao selecionarmos objetos com grau de polarização menor que 1,2%, o histograma se assemelha a uma distribuição gaussiana (Figura 4.14 à direita). Quando selecionamos objetos com grau de polarização maior que 2,1% sobra apenas uma distribuição altamente estruturada (vide Figura 4.15). Esta estrutura tem uma distribuição de direções que correlaciona com os contornos de extinção do glóbulu. Devido a sua polarização média alta e também a correlação espacial, concluímos que a componente estruturada está associada ao glóbulu ao invés da componente Gaussiana. A ação do OEJ a noroeste do glóbulu pode ser a origem da estrutura vista no mapa de polarização, como também pode ser a causa do formato peculiar do glóbulu.

Outra hipótese plausível é a hipótese de que componente gaussian está associada ao glóbulu. Um fato que corrobora esta outra hipótese é o fato de a direção preferencial da componente gaussiana ter um ângulo de aproximadamente 90° com a cauda do glóbulu. Mas este alinhamento pode ser apenas uma coincidência. Outra evidência que apóia esta hipótese, da componente gaussiana estar relacionada ao glóbulu, é a direção de polarização do candidato a OEJ ser a mesma da componente gaussiana. Porém, se a componente gaussiana for causada por uma região de extinção mais próxima e o OEJ não possuir polarização intrínseca, a direção de polarização do OEJ medida seria a mesma da componente gaussiana.

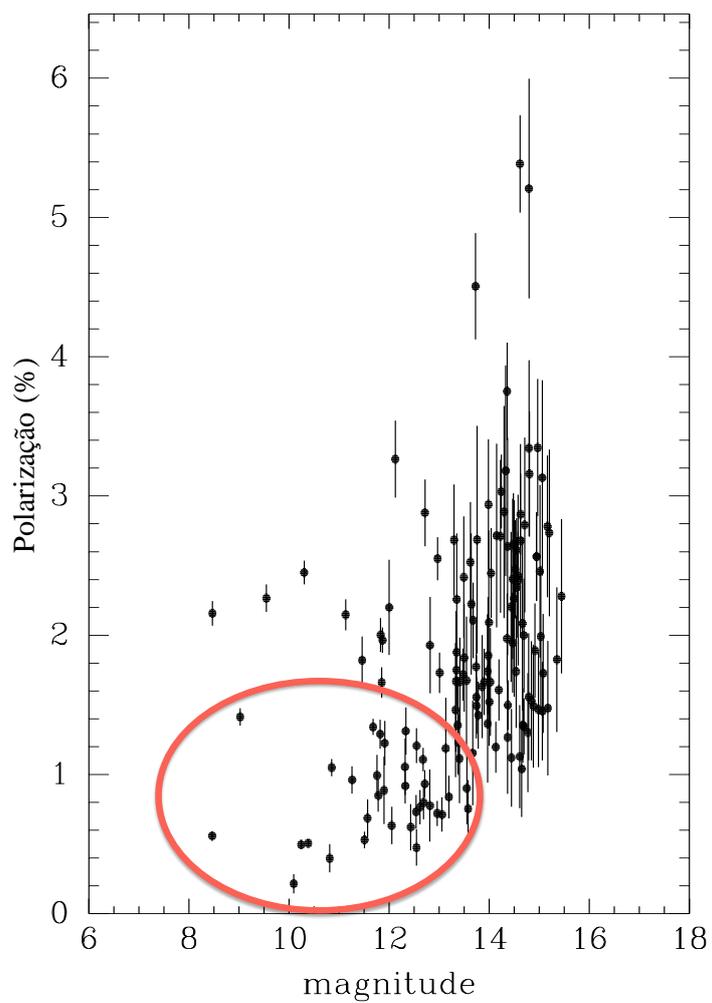


Figura 4.12 - Gráfico de polarização versus magnitude instrumental para a região de BHR 053 na banda I_c . A população de baixa polarização e magnitude instrumental é ressaltada pela elipse vermelha.

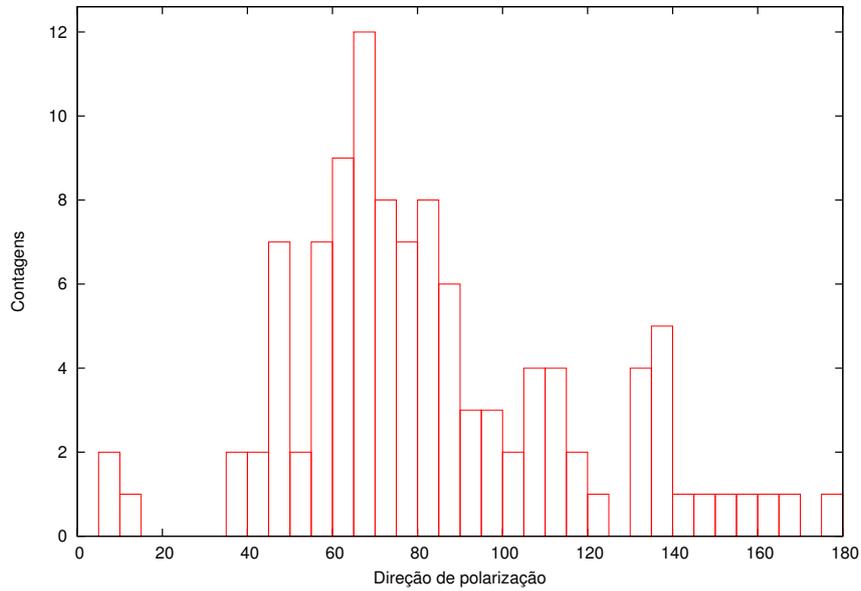


Figura 4.13 - Histograma de polarização de BHR 053 na banda I_c com a componente de menor polarização subtraída. Um deslocamento de -70° foi aplicado para melhorar a visualização do histograma. Direção de polarização em graus.

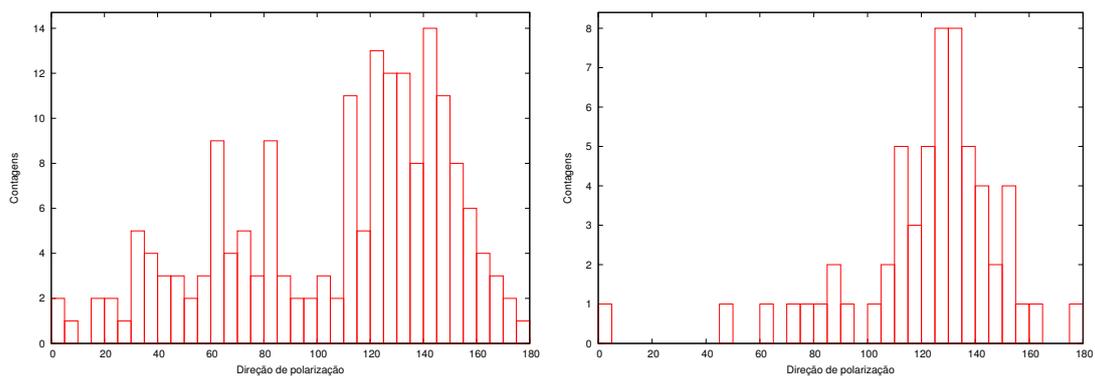


Figura 4.14 - Histogramas da direção de polarização para BHR 059 na banda I_c . À esquerda, histograma com todos objetos. À direita, apenas os objetos com polarização $< 1,2\%$. Direção de polarização em graus.

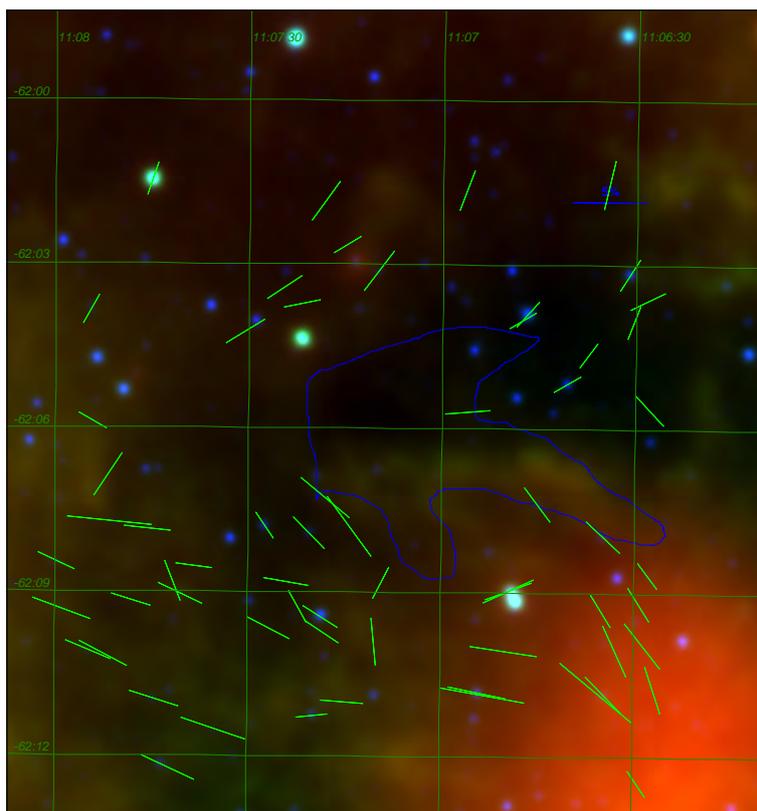


Figura 4.15 - Mapa de polarização na banda I_c da componente de alta polarização ($P > 2,1\%$) da região de BHR 059 sobreposto à imagem em cores falsas, azul $3,4 \mu m$, verde $12 \mu m$ e vermelho $22 \mu m$, também sobreposto à imagem está um contorno aproximado da extinção inferida visualmente da imagem DSS2-Red da região. Com este figura é possível ver que o grau de polarização aumenta em direção à região com emissão em $22 \mu m$ e que a direção de alguns vetores parece correlacionar com os contornos aproximados do glóbulo de Bok.

4.6.3 BHR 133

O histograma da direção de polarização de BHR 133 apresenta uma Gaussiana com um aspecto peculiar. O histograma possui dois picos, um em 30° e o outro em 45° , vide Figura 4.16. Colocando um limite mínimo no grau de polarização, é possível isolar uma componente com alto grau de polarização (polarização $> 5,5\%$, Figura 4.17). Este valor foi escolhido do histograma de grau de polarização apresentado na Figura 4.18. Quando se coloca o limite inverso, polarização $< 5,5\%$, não se consegue obter um histograma simples.

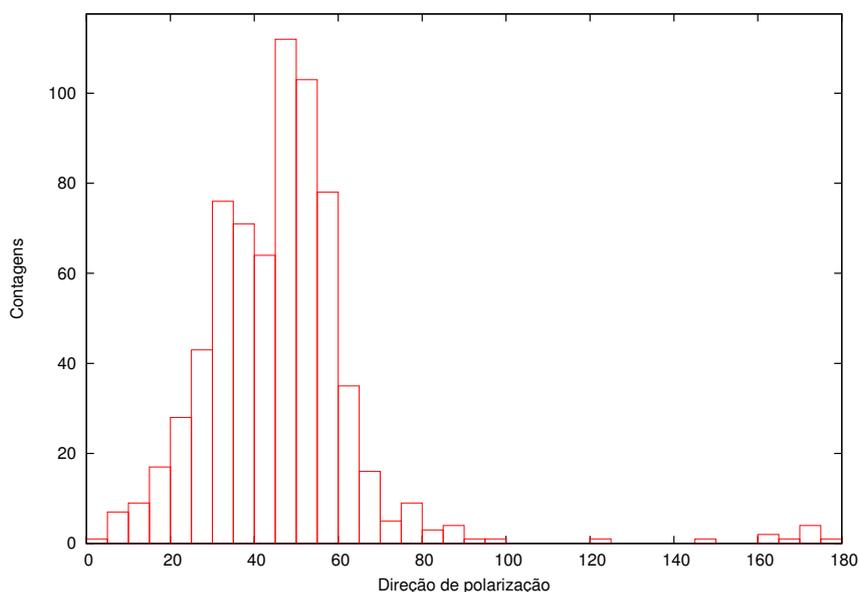


Figura 4.16 - Histograma de direção de polarização para BHR 133 na banda I_c . É possível ver que o histograma não segue um perfil gaussiano. Direção de polarização em graus.

O próximo passo foi tentar obter cada componente separadamente, com este fim, realizamos operações de subtração como descrito na Seção 4.6.1. A primeira operação de subtração que fizemos foi subtrair a média dos objetos da componente de alta polarização ($P > 5,5\%$) de todos os objetos, a fim de obter uma estimativa da componente de baixa polarização. O resultado desta subtração é um conjunto que chamamos de subtraído 1. Subtraído 1 tem um histograma de direção de polarização gaussiano, ou seja sem a deformação do histograma original. Para se obter uma estimativa da outra componente que aparece no histograma original, subtraímos a média de subtraído 1 do conjunto original de objetos. O resultado desta subtração é um conjunto que chamamos de subtraído 2. Para melhorar a estimativa da com-

ponente presente em subtraído 1, subtraímos subtraído 2 do conjunto de objetos original obtendo por fim o conjunto que chamamos de subtraído 3. As propriedades de todos esses conjuntos estão listadas na Tabela 4.1. A Figura 4.17 mostra os histogramas de ângulo de polarização resultantes de cada subtração.

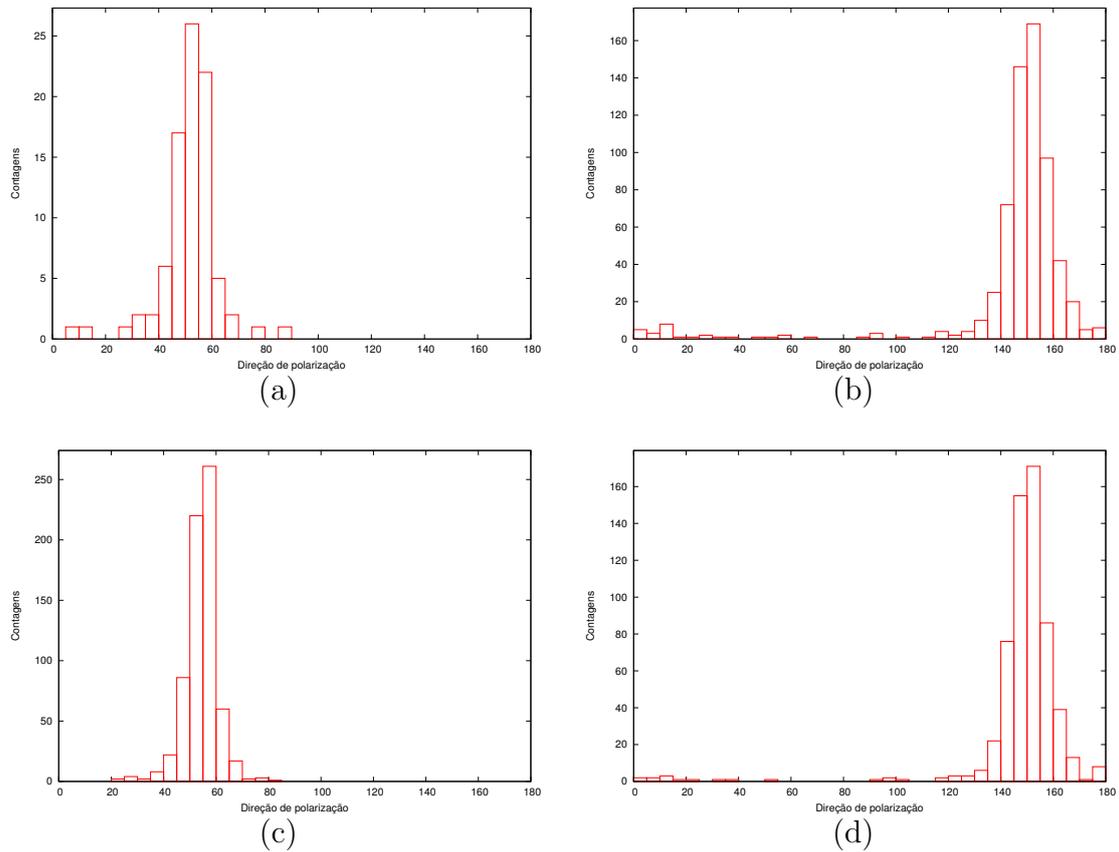


Figura 4.17 - Histogramas da direção de polarização para BHR 133 na banda I_c : (a) Histograma da direção de polarização para objetos com polarização $> 5,5\%$, Pode-se ver que a direção preferencial dos objetos com alta polarização está em $\sim 50^\circ$; (b) Histograma da direção de polarização para subtraído 1; (c) Histograma da direção de polarização para subtraído 2; (d) Histograma da direção de polarização para subtraído 3. Direção de polarização em graus.

Partindo da hipótese das duas componentes de polarização identificadas serem devido a duas nuvens na mesma linha de visada, subtraído 1 seria uma estimativa de uma destas populações de polarização. Subtraído 2 seria da outra e subtraído 3 uma estimativa um pouco melhor da mesma população de subtraído 1. O catálogo de emissão na transição $CO_{1\rightarrow 0}$ de Otrupcek et al. (2000) lista duas linhas com velocidades diferentes na direção de BHR 133. Esta medida corrobora a hipótese da

existência de duas nuvens moleculares na direção de BHR 133. Ao fim, não conseguimos identificar qual das componentes de polarização está associada ao glóbulo, pois não sabemos qual das duas está mais próxima. Portanto, esta região não foi incluída na análise estatística do capítulo a seguir.

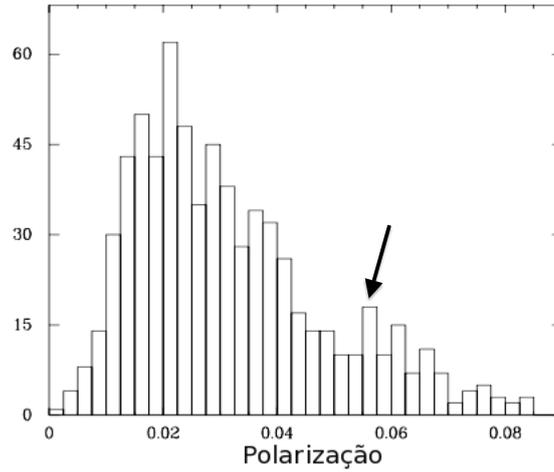


Figura 4.18 - Histograma do grau de polarização para BHR 133 na banda I_c . Em 5,5% de polarização ($P = 0,055$, indicado pela seta) o número de objetos sobe repentinamente.

5 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES POLARIMÉTRICAS DA AMOSTRA

Neste capítulo discorre-se sobre as características polarimétricas globais de nossa amostra, descreve-se a análise estatística utilizada e discute-se brevemente os resultados obtidos. A Seção 5.1 descreve algumas das características da amostra. Na Seção 5.2, são apresentados e discutidos resultados preliminares de testes estatísticos para investigar se as propriedades são as mesmas em regiões com e sem formação estelar.

5.1 Características da amostra

Para a análise subsequente, a amostra foi dividida em dois grupos: as regiões com formação estelar e as sem formação estelar. Essa divisão é baseada nos resultados do Capítulo 2. A Tabela 5.1 lista as propriedades polarimétricas das regiões incluídas na análise. Nosso intuito de comparar a dispersão da direção do campo magnético (σ_B), em ambos os tipos de regiões, foi prejudicado pela incapacidade de se atribuir uma dispersão a algumas regiões. Portanto, essas regiões, BHR 044, 059, 133, 145 e 148-151 não foram incluídas no estudo de σ_B .

Um gráfico bastante utilizado em estudos similares é o da média vetorial polarização, \overline{P} , versus a dispersão do campo magnético (Figura 5.1; e.g. FRANCO et al. 2010). Neste gráfico é possível ver que a média vetorial polarização tende a diminuir com σ_B . Isto é, de certa forma, esperado pois a média vetorial polarização é calculada a partir da média dos parâmetros de Stokes q e u sendo portanto uma média vetorial que diminui com o aumento da dispersão dos vetores das parcelas.

O valor da média do módulo da polarização, $|\overline{P}|$, é insensível a esses efeitos da soma vetorial. Por isso, fizemos também o gráfico de σ_B contra $|\overline{P}|$ (Figura 5.2). Neste gráfico vemos que a diminuição do grau de polarização não é apenas um efeito da média vetorial: as regiões com valores de $|\overline{P}|$ mais altos também tendem a ter dispersões menores. Na nossa amostra, todas as regiões com $|\overline{P}|$ menor que 1,5% possuem σ_B maior que 10° . Isso mostra que as características macroscópicas da organização do campo estão, de fato, relacionadas ao grau de polarização medido. Isso pode ser explicado por dois efeitos. Por um lado, o aumento de σ_B e diminuição de $|\overline{P}|$ pode ocorrer devido a uma baixa organização do campo magnético na região ao longo da direção perpendicular ao plano do céu. Uma explicação alternativa seria que a eficiência de polarização do meio interestelar diminui em regiões com campos magnéticos menos organizados por efeito, por exemplo, da turbulência.

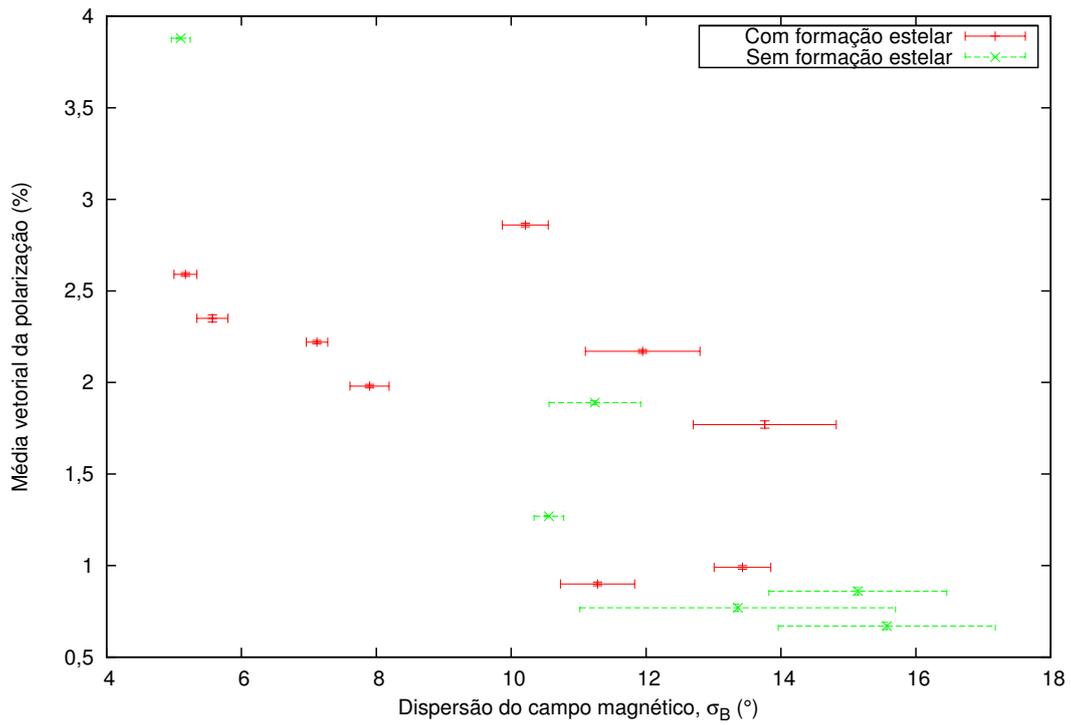


Figura 5.1 - σ_B versus média vetorial da polarização.

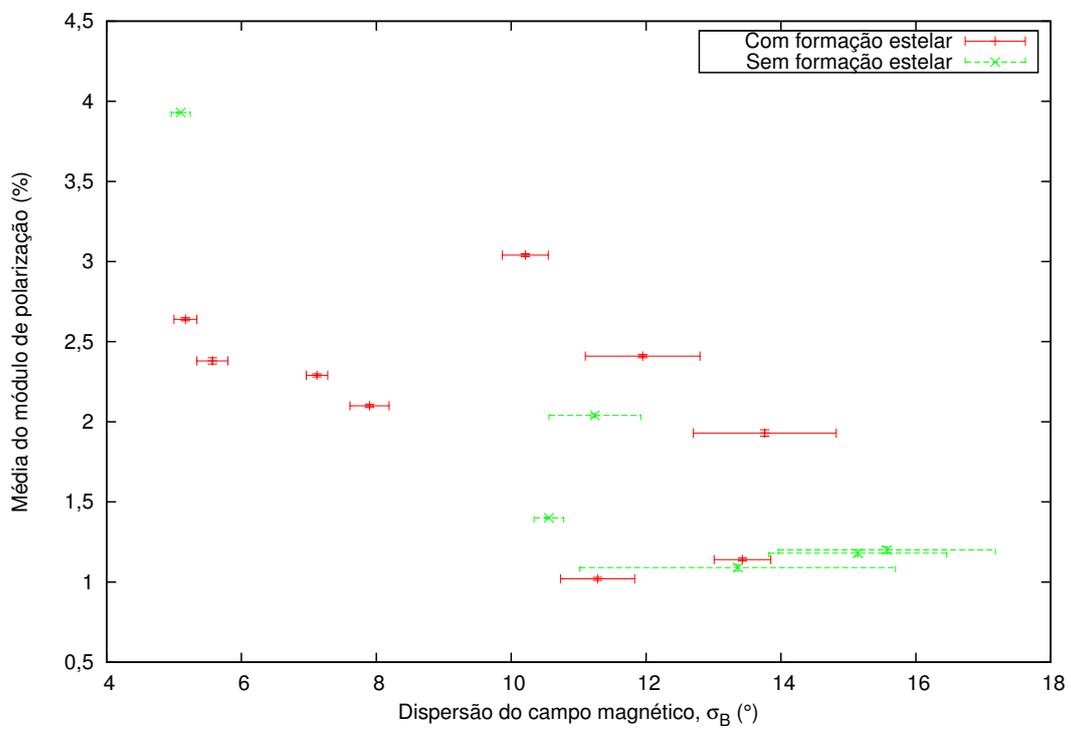


Figura 5.2 - σ_B versus média do módulo de polarização

Tabela 5.1 - Propriedades polarimétricas da amostra analisadas neste capítulo.

Região	l	σ_B ($^\circ$)	η	$\frac{\overline{ P }}{A_V}$ (%/mag)
Sem formação estelar [†]				
BHR 016	255,4	13,36	0,71	0,44
BHR 044	269,5	N/D	0,17	0,51
BHR 053	274,2	15,57	0,56	0,40
BHR 074	300	10,56	0,91	0,70
BHR 113	331	5,10	0,99	0,56
BHR 126	338,6	11,24	0,93	1,02
BHR 144	346,4	15,14	0,73	0,47
BHR 145	347,5	N/D	0,44	0,38
Com formação estelar [†]				
BHR 034	267,2	13,76	0,92	1,29
BHR 058	289,3	11,28	0,88	0,60
BHR 059	291,1	N/D	0,15	0,67
BHR 075	300,2	13,43	0,87	0,46
BHR 111	327,2	10,21	0,94	0,47
BHR 117	334,6	11,95	0,9	0,80
BHR 121	337,1	7,12	0,97	1,53
BHR 138	345	5,17	0,98	1,55
BHR 139	345,2	5,57	0,99	1,59
BHR 140	345,4	7,90	0,94	0,70
BHR 148-151	349,2	N/D	0,67	0,39

Legenda:

- l - Longitude Galáctica.
- $\frac{\overline{|P|}}{A_V}$ - Eficiência de polarização.
- [†] - Segundo este trabalho.

Uma quantificação alternativa a σ_B da organização do campo magnético em uma dada região é a razão,

$$\eta = \frac{\overline{P}}{|\overline{P}|}, \quad (5.1)$$

é uma medida do ordenamento dos vetores de polarização. De fato o gráfico de σ_B versus η , Figura 5.3, mostra que há uma correlação entre as duas medidas. A vantagem de η com relação σ_B é que, por ser uma medida não paramétrica, independente de ajuste, η pode ser utilizada até quando não é possível ajustar o histograma de direção de polarização a uma gaussiana. Desse modo, resolvemos buscar a diferença entre as regiões não apenas em σ_B , mas também em η . A única região para qual não calculamos η foi BHR 133, devido à incapacidade de determinarmos qual das

componentes de polarização está associada ao glóbulu.

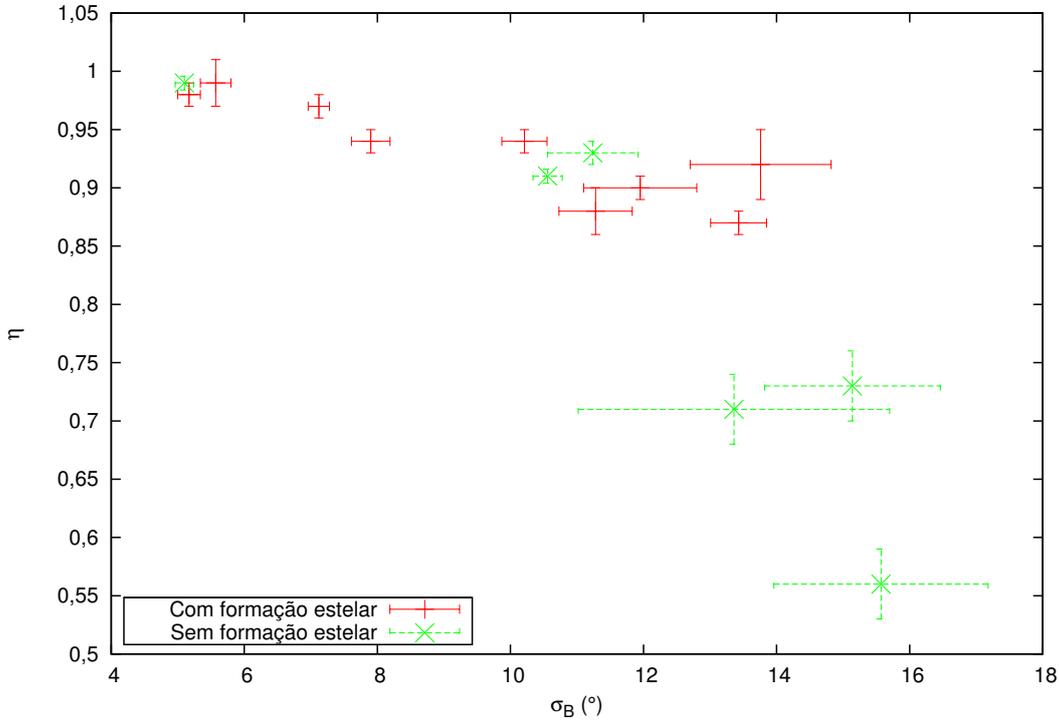


Figura 5.3 - σ_B versus η . η aparenta crescer com o inverso de σ_B .

A Figura 5.4 apresenta o gráfico de $\overline{|P|}$ contra η . Como esperado, este gráfico também mostra que regiões mais ordenadas são mais polarizadas. Apenas uma região foge a essa tendência, BHR 059 que possui $\overline{|P|} = 2,66\%$ e $\eta = 0,15$, sendo o único exemplo de alta polarização e baixo ordenamento.

O gráfico de $\frac{\overline{|P|}}{A_V}$ contra η mostra que a tendência se mantém (Figura 5.5). Utilizamos $\frac{\overline{|P|}}{A_V}$ por ser uma medida da eficiência de polarização. O A_V utilizado nesta razão é uma medida da extinção no entorno do glóbulu, ou seja, um A_V médio para a região. Assim, o aumento da polarização em regiões mais ordenadas parece ser decorrente do aumento da eficiência de polarização, algo em escala microscópica e não relacionada a um efeito integrado na linha de visada. É digno de nota o fato de que apenas duas regiões com formação estelar BHR 059 e 148-151 não se encontram nos ramos ascendentes, $\eta > 0,8$, dos gráficos contidos nas Figuras 5.4 e 5.5. Estas duas regiões apresentam uma estrutura espacial dos vetores de polarização.

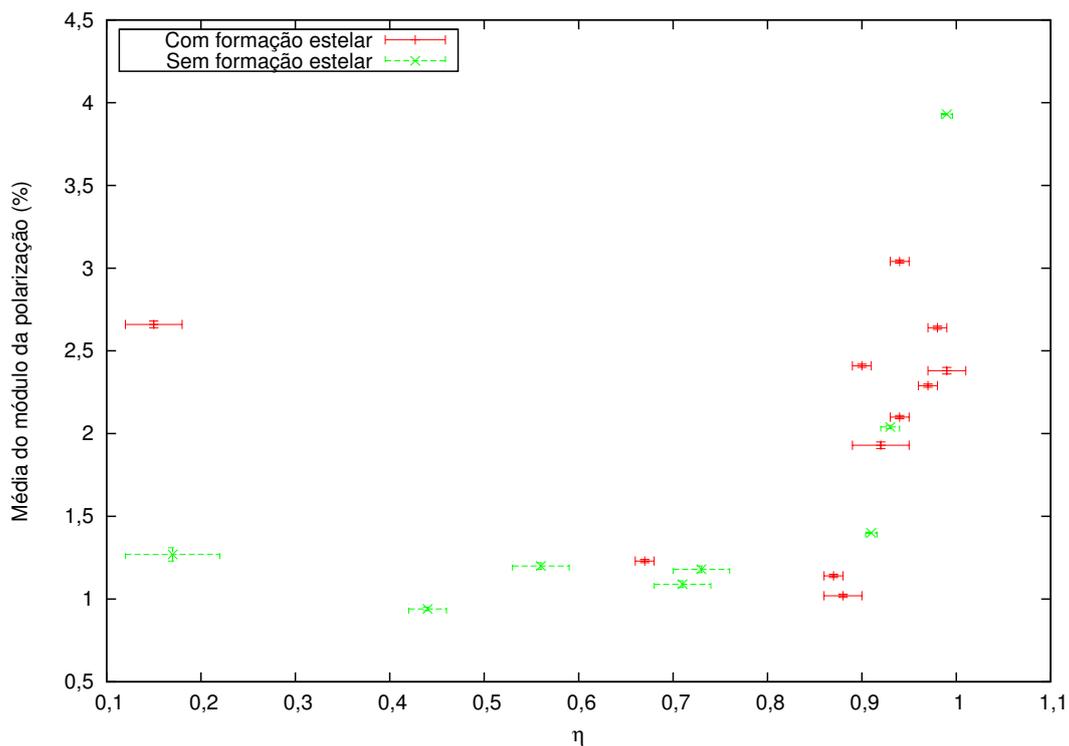


Figura 5.4 - η versus média do módulo de polarização.

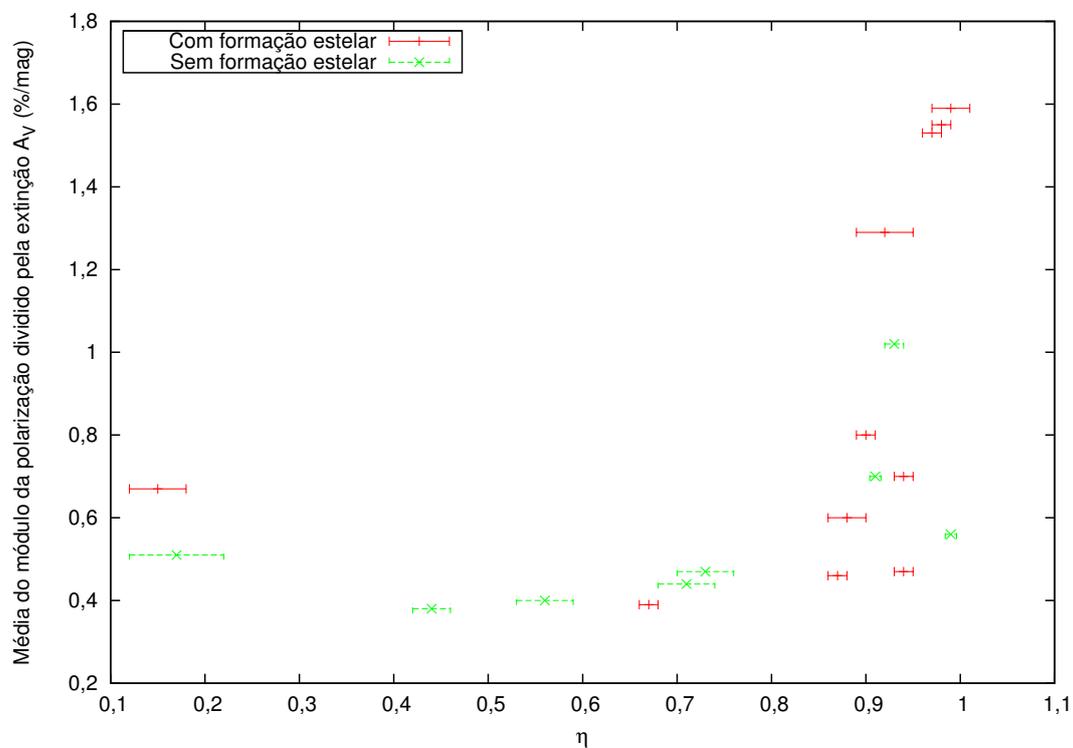


Figura 5.5 - η versus média do módulo de polarização dividida pela extinção. As barras de erro no eixo y são menores que os pontos.

5.1.1 Grau de polarização como função da longitude Galáctica

Um aspecto curioso da nossa amostra é uma variação não aleatória da média do módulo de polarização com a longitude Galáctica (Figura 5.6). Existe um pico na distribuição da média do módulo da polarização com a longitude Galáctica em $l \sim 330^\circ$. Quando fazemos o gráfico da longitude Galáctica contra a eficiência de polarização (Figura 5.7), $\frac{|P|}{A_V}$, vemos que ainda existe um pico, porém em $l \sim 340^\circ$.

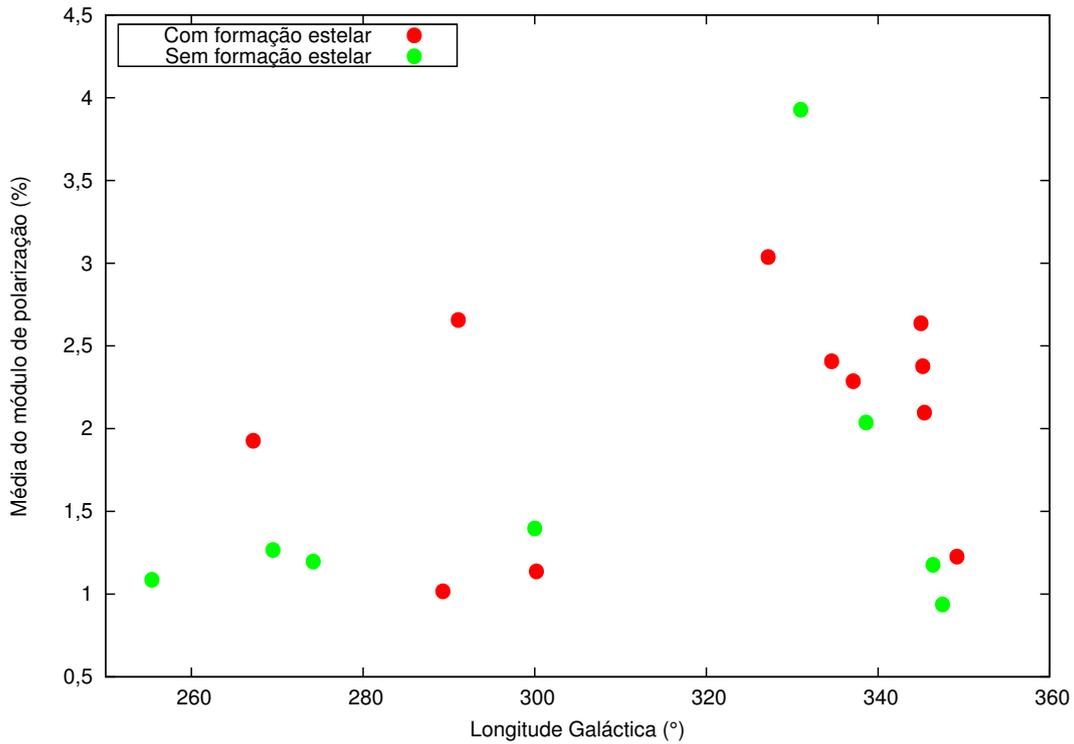


Figura 5.6 - Distribuição da média do módulo de polarização com longitude Galáctica. As barras de erro são menores que os pontos.

Um possível motivo para esta variação seriam os diferentes ângulos entre a linha de visada e o campo magnético interestelar do braço espiral local. O nosso valor mais alto para a média do módulo de polarização, $\sim 4\%$ em BHR 113, está em uma direção aproximadamente perpendicular ao braço local ($l \sim 240^\circ$, e.g. VÁZQUEZ et al., 2008). O que pode ser consistente com o dicróismo do meio interestelar crescer de 0 até um valor máximo como função da projeção do campo magnético no plano do céu. Porém, nossa amostra é muito pequena para podermos tirar alguma conclusão.

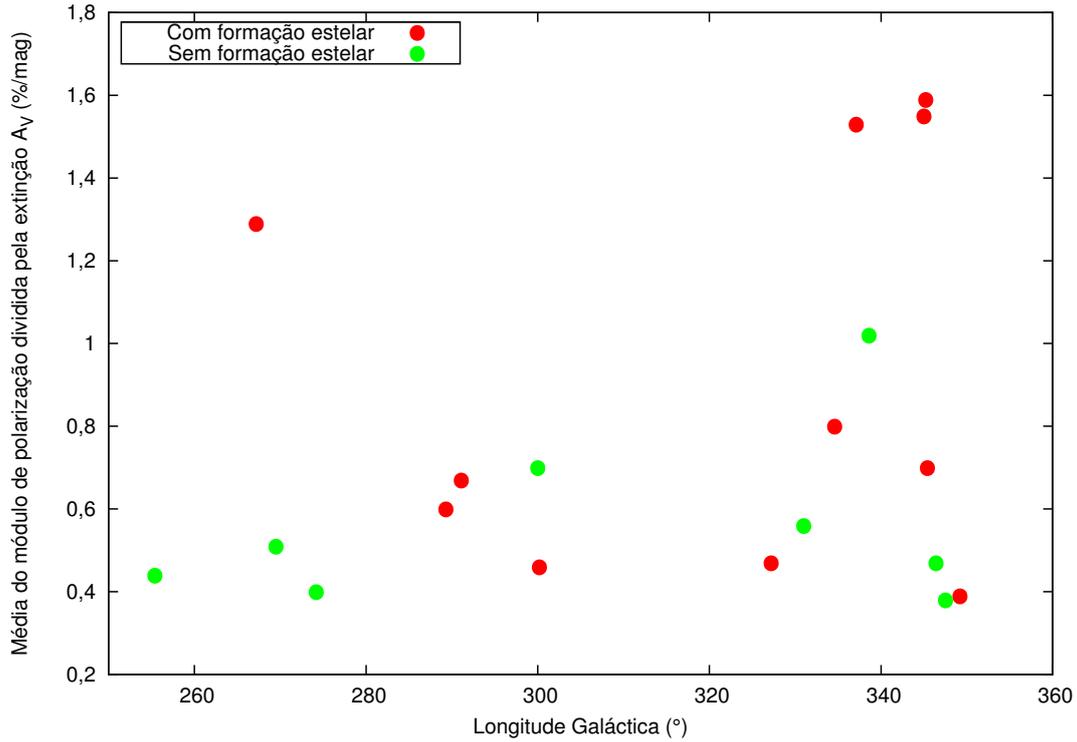


Figura 5.7 - Distribuição da eficiência de polarização com longitude Galáctica. As barras de erro são menores que os pontos.

5.2 Propriedades do campo magnético e formação estelar

Nosso objetivo inicial é verificar se as propriedades polarimétricas de cada região possuem alguma correlação com a presença de formação estelar nos glóbulos de Bok estudados. Em particular, gostaríamos de testar uma eventual correlação entre a dispersão da direção do campo magnético e a formação estelar, correlação esta sugerida pelos resultados de [Alves et al. \(2008\)](#) e [Franco et al. \(2010\)](#) na Nebulosa do Cachimbo. Estes autores encontraram que a região da Nebulosa do Cachimbo, que possui formação estelar, possui σ_B maior que as regiões sem formação estelar. [Targon et al. \(2011\)](#) encontraram que os valores de σ_B das regiões estudadas, regiões contendo objetos Herbig-Haro, eram consistentes com os valores de σ_B da região com formação estelar na Nebulosa do Cachimbo. Dadas estas evidências, gostaríamos de verificar o quão geral poderia ser esta correlação.

Para alcançar este objetivo, realizamos uma comparação entre as distribuições de σ_B e η das regiões com e sem formação estelar utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov (e.g. [PRESS et al., 1992](#)). Estas grandezas foram escolhidas por estarem relacionadas com a razão entre energia cinética e magnética da região. A equação 5.2 ilustra esta

relação (ZWEIBEL, 1990):

$$\frac{\rho_T}{\rho_B} \propto (\sigma_B)^2, \quad (5.2)$$

onde ρ_T é a densidade de energia cinética, ρ_B é a densidade de energia magnética e σ_B é expresso em radianos. Como η se correlaciona com σ_B existe uma correlação entre a razão de densidades de energia e η . Os testes nos mostram que as distribuições com e sem formação estelar são diferentes, com níveis de significância diferentes dependendo da grandeza comparada (Tabela 5.2). As médias de σ_B e η mostram que os campos com formação estelar são ligeiramente mais organizados, ainda que a diferença em ambos os casos seja menor que o desvio padrão (Tabela 5.3).

Tabela 5.2 - Resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov

Grandeza	D	$P(D_{hn} > D_{obs})$	α
η	0,4432	0,24	0,76
η^a	0,5000	0,23	0,77
σ_B	0,3889	0,53	0,47

Legenda:

- D - Distância máxima entre as funções cumulativas.
- $P(D_{hn} > D_{obs})$ - Probabilidade de D maior que o observado, na hipótese de
 - as duas distribuições serem iguais.
- α - Significância de rejeição da hipótese de as duas distribuições serem iguais.
- a - Apenas regiões que possuem σ_B determinado.

Tabela 5.3 - Médias e dispersões de σ_B e η com e sem formação estelar.

	Formação estelar	Média	Dispersão
η	com	0,84	0,24
	sem	0,68	0,28
$\sigma_B(^{\circ})$	com	9,6	3,27
	sem	11,83	3,86

Neste trabalho encontramos uma evidência marginal de que as regiões com formação estelar possuem campos magnéticos mais organizados. Este resultado é conflitante com a afirmação de Targon et al. (2011), de que a alta organização nas regiões sem formação estelar da Nebulosa do Cachimbo poderia ser uma característica de regiões sem formação estelar.

A maior dispersão do campo magnético nas regiões sem formação indica que a razão entre energia cinética e magnética é maior que nas regiões sem formação estelar. Este resultado indica que a turbulência parece gerar pressão interna o suficiente para dificultar o colapso nos glóbulos de Bok.

As regiões sem formação estelar da Nebulosa do Cachimbo possuem eficiências de polarização ($\langle P/A_V \rangle$) que chegam a $3\%/mag$ na banda R (FRANCO et al., 2010). Isto é muito diferente da nossa amostra, na qual a maior eficiência de polarização encontrada ($\overline{\frac{|P|}{A_V}}$) é de $1,59\%/mag$ (Tabela 5.1). Esta diferença pode ser em parte explicada pelo uso da banda I_c neste trabalho, porém não pode explicar as diferenças observadas. Neste quesito, as regiões da nossa amostra são mais parecidas com os campos na região com formação estelar de Alves et al. (2008) e Franco et al. (2010) na Nebulosa do Cachimbo.

6 CONCLUSÕES

Esta dissertação de mestrado insere-se em um projeto que busca a existência de correlação entre as propriedades de ordenamento do campo magnético em regiões com e sem formação estelar. O mapeamento do campo magnético é realizado pela medida da polarização óptica de estrelas polarizadas pelo meio interestelar. Nossa amostra é formada por vinte regiões contendo glóbulos de Bok com e sem formação estelar estudados por [Racca et al. \(2009\)](#). Este trabalho teve como principal objetivo a determinação das propriedades polarimétricas de cada campo. Para isso, foram desenvolvidas novas ferramentas de *software* a fim de simplificar o processo de redução de dados. Apresentamos também, uma discussão rápida sobre as regiões com estrutura de polarização complexa, isto é, que fogem de uma distribuição gaussiana de ângulos de polarização. Os primeiros resultados estatísticos, considerando regiões com e sem formação estelar, são também apresentados. Os nossos principais resultados são:

- regiões com e sem formação estelar possuem todos os níveis de ordenamento, indo de regiões com baixa dispersão ($\sigma_B \sim 5^\circ$), até regiões sem direção preferencial;
- na maior parte dos campos, a distribuição de vetores de polarização mostrou-se gaussiana. Em alguns campos a distribuição observada parece ser resultado de superposição de duas populações gaussianas ou não, provavelmente isso ocorre devido a presença de duas nuvens interestelares na linha de visada. Em outros campos ainda a distribuição mostrou-se complexa, com evidências de perturbação por algum agente local;
- em algumas regiões existem evidências de que os possíveis OEJs estejam perturbando os seus arredores, como em BHR 117, por exemplo;
- propomos a utilização da quantidade η , a razão entre o grau da polarização média e a média do módulo da polarização, como uma nova quantificação do campo magnético em uma dada região;
- os testes de Kolmogorov-Smirnov indicam que as distribuições de σ_B e η são diferentes nas regiões com e sem formação estelar;
- as médias de η e σ_B nos mostram que as regiões com formação estelar tendem a ter um campo magnético mais organizado que as regiões sem

formação estelar, ainda que as diferenças sejam menores que os respectivos desvios padrão.

Em continuidade a este trabalho pretendemos:

- obter diagramas cor-cor a partir da base de dados 2MASS (CUTRI *et al.*, 2003) das regiões onde há uma sobreposição de populações, para obter uma estimativa de distância dos objetos com polarização calculada, com a finalidade de separar melhor as populações;
- buscar informações na literatura sobre densidade e largura de linhas moleculares na direção dos glóbulos de Bok estudados. O catálogo de Otrupcek *et al.* (2000) será a fonte para as larguras de linhas de monóxido de carbono, por exemplo;
- com as larguras de linhas moleculares, calcular o módulo do campo magnético projetado no plano do céu;
- e, com estas informações, buscar uma correlação entre os resultados da polarimetria com a densidade e intensidade do campo magnético.

Uma outra perspectiva que temos é realizar um estudo mais detalhado do glóbulo de Bok BHR 117. Um passo tomado nesta direção foi a obtenção de imagens de campos ao redor de BHR 117 a fim de termos uma visão geral do campo magnético na região. BHR 117 possui diversas características que chamaram a nossa atenção durante a realização deste trabalho:

- a presença de um OEJ classe II além da região de alta extinção;
- a presença de uma estrela pós-AGB OH/IR próxima ao glóbulo;
- um mapa de polarização peculiar que indica que algo está perturbando o meio interestelar da região;
- candidato a OEJ com polarização medida que possui uma direção de polarização diferente da direção preferencial da região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. C.; LADA, C. J.; SHU, F. H. Spectral evolution of young stellar objects. **The Astrophysical Journal**, v. 312, p. 788–806, jan. 1987. 5
- ALVES, F. O.; FRANCO, G. A. P.; GIRART, J. M. Optical polarimetry toward the Pipe nebula: revealing the importance of the magnetic field. **Astronomy & Astrophysics**, v. 486, p. L13–L16, ago. 2008. 12, 13, 81, 83
- ANDRE, P.; WARD-THOMPSON, D.; BARSONY, M. Submillimeter continuum observations of Rho Ophiuchi A - The candidate protostar VLA 1623 and prestellar clumps. **The Astrophysical Journal**, v. 406, p. 122–141, mar. 1993. 6
- ASTRONOMY Picture of the Day. May 1999. Disponível em: <<http://apod.nasa.gov/apod/ap990511.html>>. 11
- BARNARD, E. E. On the dark markings of the sky, with a catalogue of 182 such objects. **The Astrophysical Journal**, v. 49, p. 1–24, jan. 1919. 9
- Beichman, C. A.; Neugebauer, G.; Habing, H. J.; Clegg, P. E.; Chester, T. J. (Ed.). **Infrared astronomical satellite (IRAS) catalogs and atlases. Volume 1: Explanatory supplement**, v. 1. [S.l.: s.n.], 1988. 9
- BENSON, P. J.; MYERS, P. C. A survey for dense cores in dark clouds. **The Astrophysical Journal, Supplement**, v. 71, p. 89–108, set. 1989. 13
- BONNOR, W. B. Boyle's Law and gravitational instability. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 116, p. 351–+, 1956. 1
- BOOGERT, A. C. A.; HUARD, T. L.; COOK, A. M.; CHIAR, J. E.; KNEZ, C.; DECIN, L.; BLAKE, G. A.; TIELENS, A. G. G. M.; DISHOECK, E. F. van. Ice and Dust in the Quiescent Medium of Isolated Dense Cores. **The Astrophysical Journal**, v. 729, p. 92, mar. 2011. 23
- BORN in beauty: proplyds in the Orion Nebula | Press Releases | ESA/Hubble. ESA, janeiro 2012. Disponível em: <<http://www.spacetelescope.org/news/heic0917/>>. 5
- BOURKE, T. L.; HYLAND, A. R.; ROBINSON, G. Studies of star formation in isolated small dark clouds - I. A catalogue of southern BOK globules: optical and IRAS properties. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 276, p. 1052–1066, out. 1995. 10, 17, 18, 20, 22, 25, 27, 30

CÂMERA Infravermelha (CamIV). 2011. Disponível em:

<<http://www.lna.br/opd/instrum/Camiv/index.html>>. 43

CHANDRASEKHAR, S.; FERMI, E. Magnetic Fields in Spiral Arms. **The Astrophysical Journal**, v. 118, p. 113, jul. 1953. 12

CLARK, J. S.; NEGUERUELA, I.; CROWTHER, P. A.; GOODWIN, S. P. On the massive stellar population of the super star cluster <ASTROBJ>Westerlund 1</ASTROBJ>. **Astronomy & Astrophysics**, v. 434, p. 949–969, maio 2005. 31

CLEMENS, D. P.; BARVAINIS, R. A catalog of small, optically selected molecular clouds - Optical, infrared, and millimeter properties. **The Astrophysical Journal, Supplement**, v. 68, p. 257–286, out. 1988. 1, 9, 10

CLEMENS, D. P.; DICKMAN, R. L.; CIARDI, D. R. The nearby 2-solar mass BOK globule LBN 11 - Sub-sonic molecular clumps in a magnetic environment. **The Astronomical Journal**, v. 104, p. 2165–2188, dez. 1992. 13

CLEMENS, D. P.; YUN, J. L.; HEYER, M. H. BOK globules and small molecular clouds - Deep IRAS photometry and (C-12)O spectroscopy. **The Astrophysical Journal, Supplement**, v. 75, p. 877–904, mar. 1991. 9

COHEN, M.; WHEATON, W. A.; MEGEATH, S. T. Spectral irradiance calibration in the infrared. xiv. the absolute calibration of 2mass. **The Astronomical Journal**, v. 126, p. 1090–1096, ago. 2003. xv, 7

CUTRI, R. M.; SKRUTSKIE, M. F.; DYK, S. van; BEICHMAN, C. A.; CARPENTER, J. M.; CHESTER, T.; CAMBRESY, L.; EVANS, T.; FOWLER, J.; GIZIS, J.; HOWARD, E.; HUCHRA, J.; JARRETT, T.; KOPAN, E. L.; KIRKPATRICK, J. D.; LIGHT, R. M.; MARSH, K. A.; MCCALLON, H.; SCHNEIDER, S.; STIENING, R.; SYKES, M.; WEINBERG, M.; WHEATON, W. A.; WHEELLOCK, S.; ZACARIAS, N. 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources (Cutri+ 2003). **VizieR Online Data Catalog**, v. 2246, p. 0, mar. 2003. 23, 86

DAVIS JR., L.; GREENSTEIN, J. L. The Polarization of Starlight by Aligned Dust Grains. **The Astrophysical Journal**, v. 114, p. 206–+, set. 1951. 12

DOBASHI, K.; UEHARA, H.; KANDORI, R.; SAKURAI, T.; KAIDEN, M.; UMEMOTO, T.; SATO, F. Atlas and Catalog of Dark Clouds Based on Digitized Sky Survey I. **Publications of the Astronomical Society of Japan**, v. 57, p. 1, fev. 2005. 18

- DYSON, J. E.; WILLIAMS, D. A. **The physics of the interstellar medium.** [S.l.: s.n.], 1997. 10
- EBERT, R. Über die Verdichtung von H I-Gebieten. Mit 5 Textabbildungen. v. 37, p. 217–+, 1955. 1
- FRANCO, G. A. P.; ALVES, F. O.; GIRART, J. M. Detailed Interstellar Polarimetric Properties of the Pipe Nebula at Core Scales. **The Astrophysical Journal**, v. 723, p. 146–165, nov. 2010. 12, 13, 75, 81, 83
- FRERKING, M. A.; LANGER, W. D.; WILSON, R. W. The structure and dynamics of BOK globule B335. **The Astrophysical Journal**, v. 313, p. 320–346, fev. 1987. 10, 11
- GEORGELIN, Y. M.; RUSSEIL, D.; AMRAM, P.; GEORGELIN, Y. P.; MARCELIN, M.; PARKER, Q. A.; VIALE, A. Deep H α survey of the Milky Way. V. The $l=289^\circ$ to 295° area. **Astronomy & Astrophysics**, v. 357, p. 308–324, maio 2000. 26
- GIRART, J. M.; RAO, R.; MARRONE, D. P. Magnetic Fields in the Formation of Sun-Like Stars. **Science**, v. 313, p. 812–814, ago. 2006. 13, 14
- HARTLEY, M.; TRITTON, S. B.; MANCHESTER, R. N.; SMITH, R. M.; GOSS, W. M. A catalogue of southern dark clouds. **Astronomy & Astrophysics, Supplement**, v. 63, p. 27–48, jan. 1986. 10, 18
- HENNING, T.; LAUNHARDT, R. Millimetre study of star formation in southern globules. **Astronomy & Astrophysics**, v. 338, p. 223–242, out. 1998. 24, 26, 29
- HENNING, T.; WOLF, S.; LAUNHARDT, R.; WATERS, R. Measurements of the Magnetic Field Geometry and Strength in Bok Globules. **The Astrophysical Journal**, v. 561, p. 871–879, nov. 2001. 13
- HODAPP, K.-W. The magnetic field in star-forming large globules. **The Astrophysical Journal**, v. 319, p. 842–849, ago. 1987. 13
- IAGPOL - Gaveta Polarimétrica do IAG. USP, 2010. Disponível em: <<http://www.astro.iag.usp.br/~polarimetria/gaveta/default.htm>>. 38
- IRSA - Wide Field Infrared Explorer. NASA/IPAC, 12 2011. Disponível em: <<http://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/wise.html>>. x, 17

JARRETT, T. H.; COHEN, M.; MASCI, F.; WRIGHT, E.; STERN, D.; BENFORD, D.; BLAIN, A.; CAREY, S.; CUTRI, R. M.; EISENHARDT, P.; LONSDALE, C.; MAINZER, A.; MARSH, K.; PADGETT, D.; PETTY, S.; RESSLER, M.; SKRUTSKIE, M.; STANFORD, S.; SURACE, J.; TSAI, C. W.; WHEELLOCK, S.; YAN, D. L. The spitzer-wise survey of the ecliptic poles. **The Astrophysical Journal**, v. 735, p. 112, jul. 2011. xv, 7

JONES, T. J.; HYLAND, A. R.; BAILEY, J. The inner core of a BOK globule. **The Astrophysical Journal**, v. 282, p. 675–682, jul. 1984. 13

JOSHI, U. C.; KULKARNI, P. V.; BHATT, H. C.; KULSHRESTHA, A. K.; DESHPANDE, M. R. Polarization measurements of stars in the region of BOK globule B5. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 215, p. 275–280, jul. 1985. 13

KANE, B. D.; CLEMENS, D. P.; LEACH, R. W.; BARVAINIS, R. Magnetic fields around BOK globules: CCD polarimetry of CB 4. **The Astrophysical Journal**, v. 445, p. 269–279, maio 1995. 13

KRUMHOLZ, M. **Notas de aula do curso Star Formation and the Interstellar Medium**. 2010. 2, 10

LADA, C. J. Star formation - From OB associations to protostars. In: M. Peimbert & J. Jugaku (Ed.). **Star Forming Regions**. [S.l.: s.n.], 1987. (IAU Symposium, v. 115), p. 1–17. xxv, 4, 6

LEE, C. W.; MYERS, P. C. A Catalog of Optically Selected Cores. **The Astrophysical Journal, Supplement**, v. 123, p. 233–250, jul. 1999. 17, 18, 24, 29

LEEUWEN, F. van. Validation of the new Hipparcos reduction. **Astronomy & Astrophysics**, v. 474, p. 653–664, nov. 2007. 29

LNA - Detetores CCD do OPD. 2010. Disponível em:

<<http://www.lna.br/opd/instrum/ccd/detccd.html>>. 41

MAGALHÃES, A. M.; RODRIGUES, C. V.; MARGONINER, V. E.; PEREYRA, A.; HEATHCOTE, S. High Precision CCD Imaging Polarimetry. In: W. G. Roberge & D. C. B. Whittet (Ed.). **Polarimetry of the Interstellar Medium**. [S.l.: s.n.], 1996. (Astronomical Society of the Pacific Conference Series, v. 97), p. 118–+. 37

OTRUPCEK, R. E.; HARTLEY, M.; WANG, J.-S. CO emission towards Southern dark clouds (Otrupcek+ 2000). **VizieR On-line Data Catalog: J/other/PASA/17.92**. Originally published in: **2000PASA...17...92O**, v. 190, p. 1701, out. 2000. [73](#), [86](#)

PEREYRA, A. **Dust and Magnetic Field in Dense Regions of the Interstellar Medium**. Tese (Doutorado) — Depto. de Astronomia, Instituto Astronômico e Geofísico, USP, Rua do Matão 1226 - Cidade Universitária 05508-900 São Paulo SP - BRAZIL
<EMAIL>antonio@astro.iag.usp.br</EMAIL>, 2000. [49](#)

PEREYRA, A.; MAGALHÃES, A. M. Polarimetry toward the Musca Dark Cloud. I. The Catalog. **The Astrophysical Journal**, v. 603, p. 584–594, mar. 2004. [12](#)

PERRYMAN, M. A. C.; LINDEGREN, L.; KOVALEVSKY, J.; HOEG, E.; BASTIAN, U.; BERNACCA, P. L.; CRÉZÉ, M.; DONATI, F.; GRENON, M.; GREWING, M.; LEEUWEN, F. van; MAREL, H. van der; MIGNARD, F.; MURRAY, C. A.; POOLE, R. S. L.; SCHRIJVER, H.; TURON, C.; ARENOU, F.; FROESCHLÉ, M.; PETERSEN, C. S. The HIPPARCOS Catalogue. **Astronomy & Astrophysics Letters**, v. 323, p. L49–L52, jul. 1997. [25](#)

PERSI, P.; TAPIA, M.; ROTH, M.; GÓMEZ, M.; MARENZI, A. R. An infrared study of southern dark clouds . **Memorie della Società Astronomica Italiana**, v. 78, p. 673, 2007. [26](#)

PILLAI, T.; WYROWSKI, F.; CAREY, S. J.; MENTEN, K. M. Ammonia in infrared dark clouds. **Astronomy & Astrophysics**, v. 450, p. 569–583, maio 2006. [13](#)

PRESS, W. H.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P. **Numerical recipes in FORTRAN. The art of scientific computing**. [S.l.: s.n.], 1992. [20](#), [81](#)

RACCA, G. A.; VILAS-BOAS, J. W. S.; REZA, R. de la. A Two Micron All Sky Survey Analysis of the Stability of Southern Bok Globules. **The Astrophysical Journal**, v. 703, p. 1444–1463, out. 2009. [9](#), [14](#), [17](#), [18](#), [23](#), [25](#), [28](#), [29](#), [31](#), [35](#), [85](#)

REIPURTH, B. Star Formation in Bok Globules and Small Clouds. In: _____. **Handbook of Star Forming Regions, Volume II**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 847. [9](#)

SANTOS, N. C.; YUN, J. L.; SANTOS, C. A.; MARREIROS, R. G. Star Formation in BOK Globules: Near-Infrared Survey of a Southern Sky Sample. **The Astronomical Journal**, v. 116, p. 1376–1387, set. 1998. 18, 30

SEN, A. K.; GUPTA, R.; RAMAPRAKASH, A. N.; TANDON, S. N. Imaging polarimetry of some selected dark clouds. **Astronomy & Astrophysics, Supplement**, v. 141, p. 175–183, jan. 2000. 13

SIMBAD - Astronomical Database. CDS, 01 2012. Disponível em:
<<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>>. x, 20

STAHLER, S. W.; PALLA, F. **The Formation of Stars**. [S.l.]: Willey-vch, 2004. 3, 4, 6, 10, 12

TARGON, C. G.; RODRIGUES, C. V.; CERQUEIRA, A. H.; HICKEL, G. R. Correlating the Interstellar Magnetic Field with Protostellar Jets and Its Sources. **The Astrophysical Journal**, v. 743, p. 54, dez. 2011. 12, 13, 57, 81, 82

TURN SHEK, D. A.; BOHLIN, R. C.; WILLIAMSON II, R. L.; LUPIE, O. L.; KOORNNEEF, J.; MORGAN, D. H. An atlas of Hubble Space Telescope photometric, spectrophotometric, and polarimetric calibration objects. **The Astronomical Journal**, v. 99, p. 1243–1261, abr. 1990. 42

VALLÉE, J. P.; BASTIEN, P. Magnetic Orientations and Energetics in Interstellar Clumps within Small Clouds. **The Astrophysical Journal**, v. 530, p. 806–816, fev. 2000. 13

VÁZQUEZ, R. A.; MAY, J.; CARRARO, G.; BRONFMAN, L.; MOITINHO, A.; BAUME, G. Spiral Structure in the Outer Galactic Disk. I. The Third Galactic Quadrant. **The Astrophysical Journal**, v. 672, p. 930–939, jan. 2008. 80

VIZIER - Catalogue. CDS, 01 2012. Disponível em:
<<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>>. x, xxv, 19

WARD-THOMPSON, D.; SEN, A. K.; KIRK, J. M.; NUTTER, D. Optical and submillimetre observations of Bok globules - tracing the magnetic field from low to high density. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 398, p. 394–400, set. 2009. 13

WILLIAMS, I. P.; VEDI, K.; GRIFFITHS, W. K.; BHATT, H. C.; KULKARNI, P. V.; ASHOK, N. M.; WALLIS, R. E. Polarization measurements of the BOK globule B361. **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, v. 212, p. 181–187, jan. 1985. 13

WRIGHT, E. L.; EISENHARDT, P. R. M.; MAINZER, A. K.; RESSLER, M. E.; CUTRI, R. M.; JARRETT, T.; KIRKPATRICK, J. D.; PADGETT, D.; MCMILLAN, R. S.; SKRUTSKIE, M.; STANFORD, S. A.; COHEN, M.; WALKER, R. G.; MATHER, J. C.; LEISAWITZ, D.; GAUTIER III, T. N.; MCLEAN, I.; BENFORD, D.; LONSDALE, C. J.; BLAIN, A.; MENDEZ, B.; IRACE, W. R.; DUVAL, V.; LIU, F.; ROYER, D.; HEINRICHSEN, I.; HOWARD, J.; SHANNON, M.; KENDALL, M.; WALSH, A. L.; LARSEN, M.; CARDON, J. G.; SCHICK, S.; SCHWALM, M.; ABID, M.; FABINSKY, B.; NAES, L.; TSAI, C.-W. The Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE): Mission Description and Initial On-orbit Performance. **The Astronomical Journal**, v. 140, p. 1868–1881, dez. 2010. 6

WU, J.; DUNHAM, M. M.; EVANS II, N. J.; BOURKE, T. L.; YOUNG, C. H. SHARC-II Mapping of Spitzer c2d Small Clouds and Cores. **The Astronomical Journal**, v. 133, p. 1560–1584, abr. 2007. 23

ZWEIBEL, E. G. Magnetic field-line tangling and polarization measurements in clumpy molecular gas. **The Astrophysical Journal**, v. 362, p. 545–550, out. 1990. 82

APÊNDICE A - CATÁLOGOS DE POLARIZAÇÃO DAS REGIÕES ESTUDADAS

A.1 Exemplo de catálogo de polarização

A Tabela A.1 é um exemplo de catálogo gerado neste trabalho. Os mapas de polarização mostrados neste capítulo foram construídos no *ALADIN*. No programa são carregados a imagem de fundo e a seguir o catálogo. Para que sejam mostrados corretamente os vetores de polarização é necessário a aplicação de um filtro no catálogo. O filtro utilizado neste trabalho segue abaixo.

```
#AJS
filter Ellipses {
# Ellipses
# This example shows how to draw
# an ellipse associated with a source
# The first action draws the source itself,
# the second action draws the ellipse ;
# parameters are semi - major axis, semi - minor axis, and position angle
{
draw black ellipse(4 * ${POLARIZATION}, 0, ${THETA})
}
}
```

Tabela A.1 - Catálogo ASCII de polarização de BHR 034 na banda I_c

MAIN_ID	RA	DEC	POLARIZATION	SIGMA	THETA	MEASURES
1	8 27 11.91	-50 44 34.95	2.081	0.389	179.84	1
2	8 27 11.20	-50 36 31.58	2.882	0.359	149.13	1
3	8 27 8.18	-50 43 16.19	1.606	0.357	176.43	1
4	8 27 8.17	-50 42 56.39	1.360	0.129	132.29	1
5	8 27 7.99	-50 40 9.67	2.174	0.355	158.64	1
6	8 27 7.77	-50 34 57.24	2.935	0.177	146.99	1
7	8 27 6.97	-50 44 21.96	0.969	0.122	174.32	1
8	8 27 6.73	-50 41 42.16	2.013	0.254	139.81	1
9	8 27 6.41	-50 43 6.97	1.339	0.114	171.52	1
10	8 27 6.20	-50 39 14.08	3.702	0.484	143.46	1
11	8 27 6.07	-50 41 57.05	2.809	0.516	141.53	1
12	8 27 3.73	-50 40 57.44	1.630	0.375	151.86	1
13	8 27 3.17	-50 43 35.76	1.646	0.518	171.76	1
14	8 27 2.66	-50 39 23.11	1.839	0.113	167.49	1
15	8 27 1.06	-50 43 25.51	1.518	0.320	151.61	1
16	8 26 59.86	-50 36 32.00	2.773	0.539	143.32	1
17	8 26 58.19	-50 36 37.70	2.490	0.602	149.39	1
18	8 26 57.63	-50 35 10.13	2.659	0.359	162.27	1
19	8 26 56.93	-50 39 36.81	1.682	0.351	170.42	1
20	8 26 55.89	-50 43 7.98	2.205	0.323	170.06	1
21	8 26 54.34	-50 37 39.79	1.326	0.126	151.14	1
22	8 26 54.27	-50 42 3.72	2.323	0.434	146.56	1
23	8 26 53.84	-50 34 57.57	1.669	0.214	163.85	1
24	8 26 53.47	-50 45 2.75	1.785	0.219	177.53	1
25	8 26 53.20	-50 43 59.38	2.222	0.404	151.92	1
26	8 26 53.13	-50 41 41.58	2.229	0.355	162.43	1
27	8 26 51.57	-50 38 2.67	2.031	0.192	141.28	1
28	8 26 51.50	-50 39 12.66	2.886	0.235	148.84	1
29	8 26 51.48	-50 40 45.47	1.738	0.165	171.20	1
30	8 26 49.44	-50 36 9.39	4.546	0.919	130.81	1
31	8 26 48.31	-50 43 23.65	1.621	0.427	167.54	1
32	8 26 46.89	-50 36 10.31	1.299	0.073	159.79	1
33	8 26 46.62	-50 44 19.68	2.260	0.560	173.06	1
34	8 26 45.11	-50 37 50.83	2.645	0.405	139.82	1
35	8 26 44.49	-50 35 10.34	2.642	0.277	138.94	1
36	8 26 43.40	-50 44 32.30	1.985	0.187	141.92	1
37	8 26 43.16	-50 39 17.90	1.111	0.209	161.76	1
38	8 26 42.97	-50 38 31.44	1.499	0.137	151.93	1
39	8 26 40.59	-50 37 54.84	1.900	0.553	5.10	1
40	8 26 40.62	-50 37 7.46	2.545	0.149	139.67	1
41	8 26 39.16	-50 37 46.09	2.074	0.382	165.00	1
42	8 26 39.26	-50 44 33.89	2.794	0.349	137.21	1
43	8 26 37.82	-50 44 42.45	1.261	0.166	168.96	1
44	8 26 36.84	-50 36 33.75	1.798	0.356	157.57	1
45	8 26 35.23	-50 43 12.28	1.239	0.126	156.59	1
46	8 26 34.43	-50 41 43.70	3.144	0.294	137.56	1
47	8 26 31.10	-50 43 29.60	2.944	0.863	167.82	1
48	8 26 30.23	-50 42 38.70	2.064	0.178	143.23	1
49	8 26 30.21	-50 44 42.45	2.368	0.586	163.18	1
50	8 26 28.71	-50 36 12.68	2.773	0.243	143.42	1
51	8 26 28.00	-50 34 57.63	3.016	0.514	163.56	1
52	8 26 25.50	-50 36 18.17	1.298	0.161	157.44	1
53	8 26 25.33	-50 41 17.23	1.278	0.073	153.55	1
54	8 26 24.31	-50 43 8.20	3.383	0.394	139.84	1
55	8 26 23.67	-50 44 12.18	2.346	0.295	129.80	1
56	8 26 21.93	-50 43 39.53	1.587	0.295	163.39	1
57	8 26 21.70	-50 39 21.49	2.138	0.353	160.17	1
58	8 26 21.48	-50 38 18.56	2.106	0.421	171.01	1
59	8 26 21.45	-50 42 1.22	3.107	0.572	154.76	1
60	8 26 20.28	-50 38 48.47	3.287	0.458	146.42	1
61	8 26 18.54	-50 37 13.51	2.326	0.373	140.91	1
62	8 26 16.20	-50 37 15.07	2.338	0.251	141.81	1
63	8 26 15.18	-50 38 11.31	3.078	0.105	142.87	1
64	8 26 14.15	-50 37 59.14	2.215	0.594	150.81	1
65	8 26 13.98	-50 40 27.78	1.353	0.432	156.65	1
66	8 26 13.89	-50 38 31.54	1.741	0.531	150.96	1
67	8 26 13.19	-50 39 8.68	3.123	0.568	144.56	1
68	8 26 12.79	-50 43 31.41	3.750	0.140	138.44	1
69	8 26 11.85	-50 42 16.74	1.454	0.241	151.89	1
70	8 26 11.97	-50 44 46.82	2.630	0.762	154.95	1
71	8 26 11.54	-50 37 4.44	2.615	0.632	148.69	1
72	8 26 10.84	-50 35 10.10	2.247	0.206	154.03	1
73	8 26 10.70	-50 41 0.20	3.658	0.465	157.80	1
74	8 26 9.96	-50 42 55.65	3.472	0.981	132.86	1
75	8 26 8.79	-50 41 11.83	3.294	0.095	141.44	1
76	8 26 8.19	-50 39 9.73	3.087	0.764	145.97	1
77	8 26 6.85	-50 40 22.43	2.457	0.205	158.69	1

A.2 Mapas de polarização no óptico

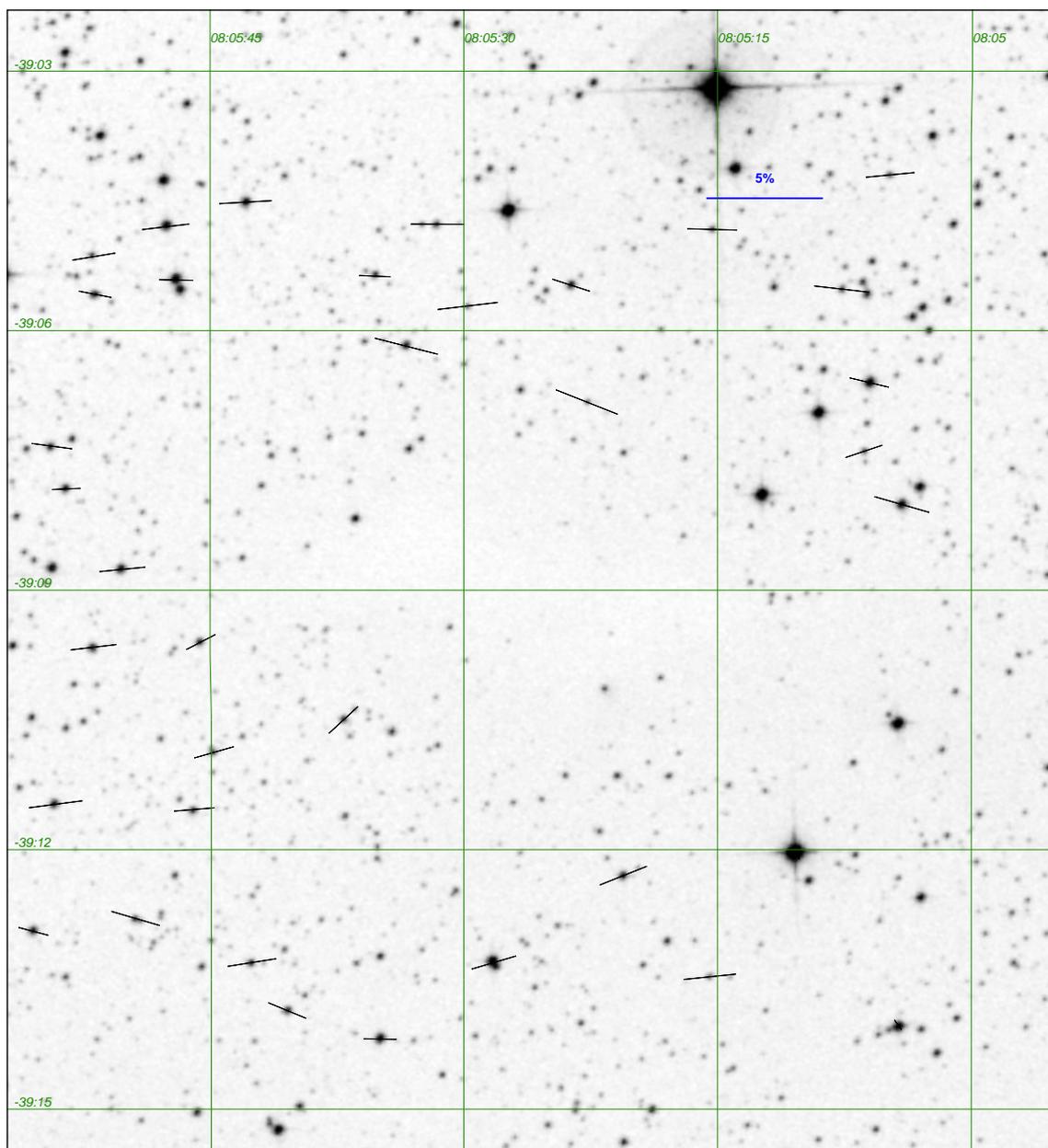


Figura A.1 - Mapa de polarização de BHR 016 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

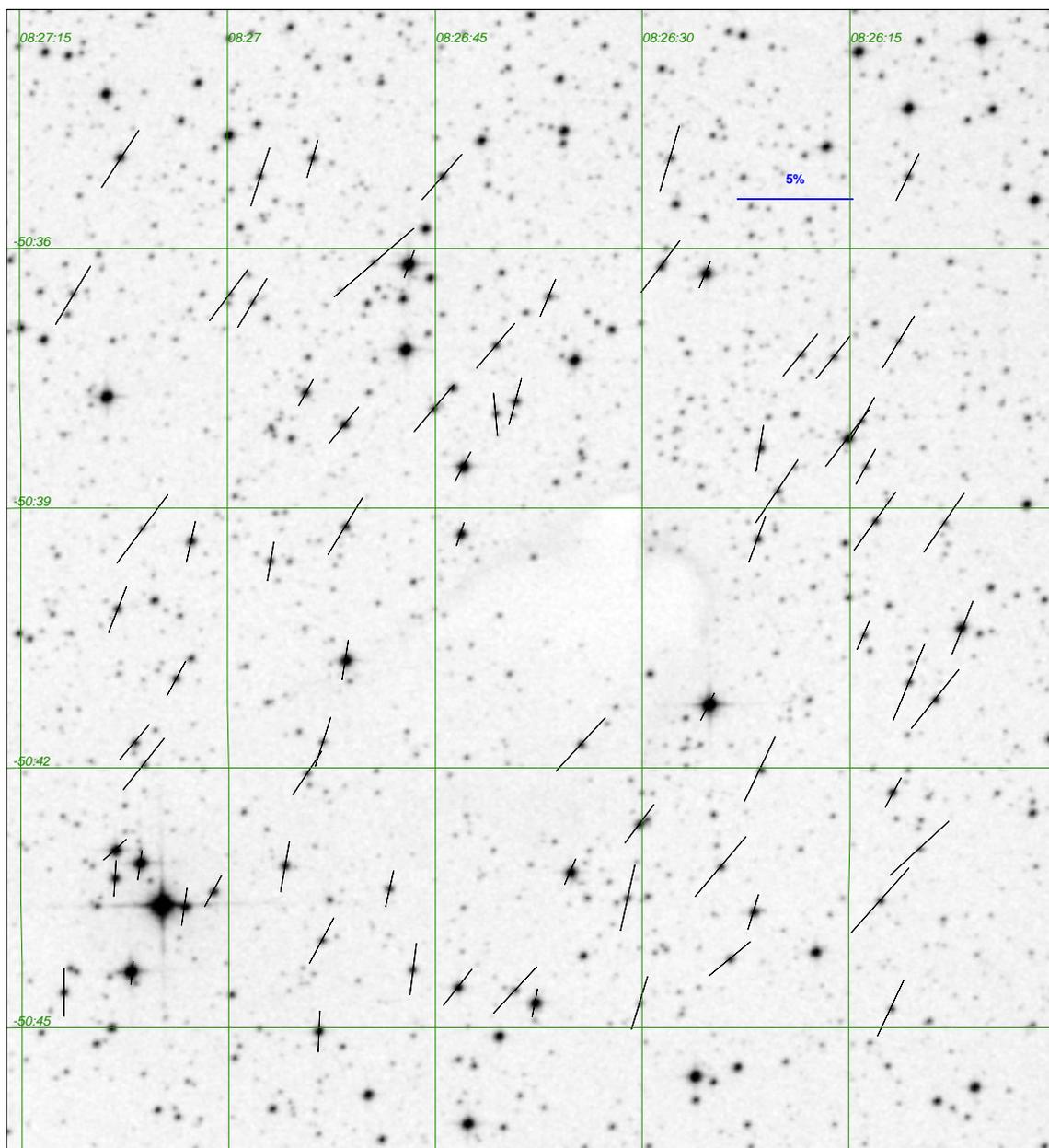


Figura A.2 - Mapa de polarização de BHR 034 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

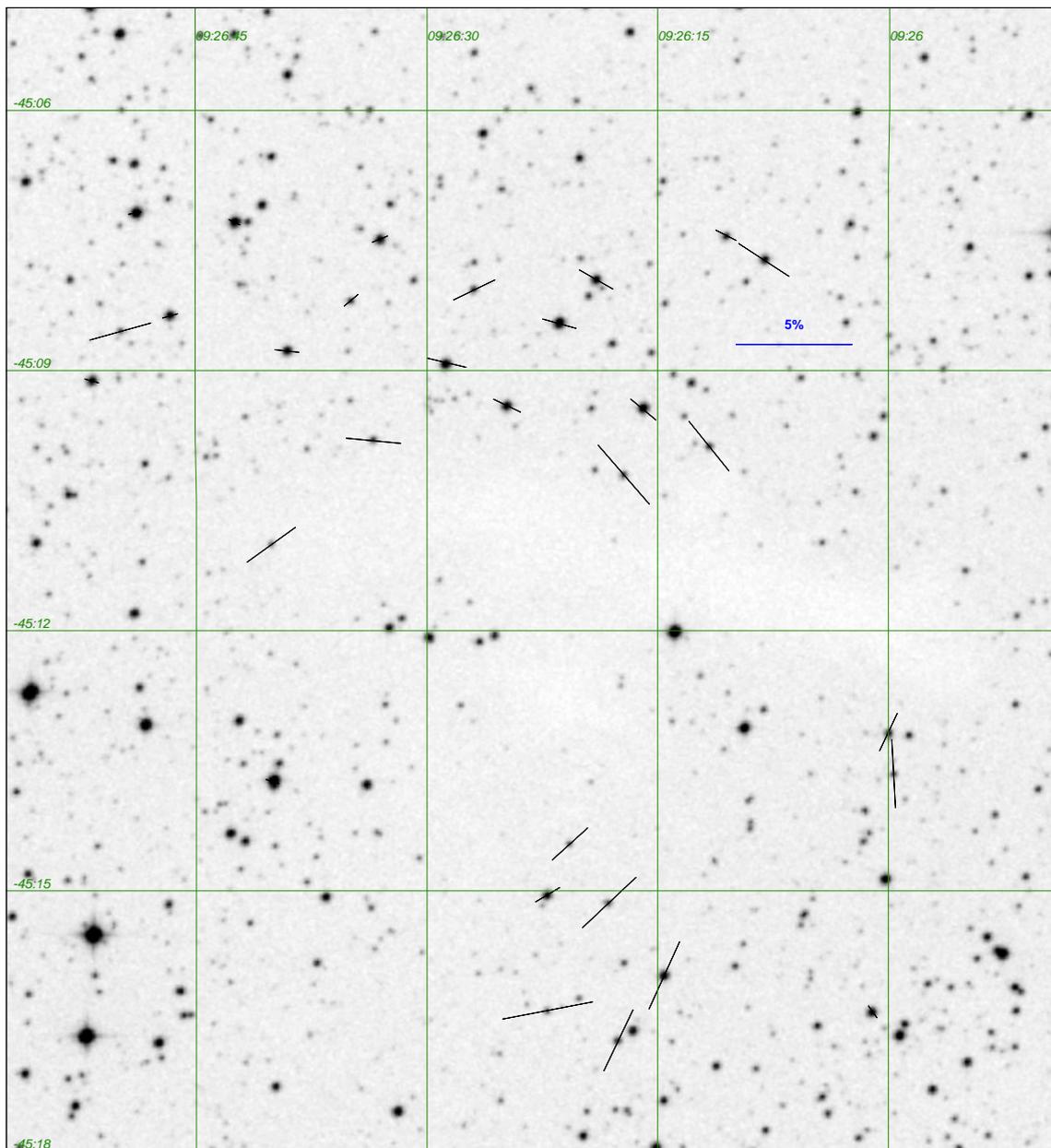


Figura A.3 - Mapa de polarização de BHR 044 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

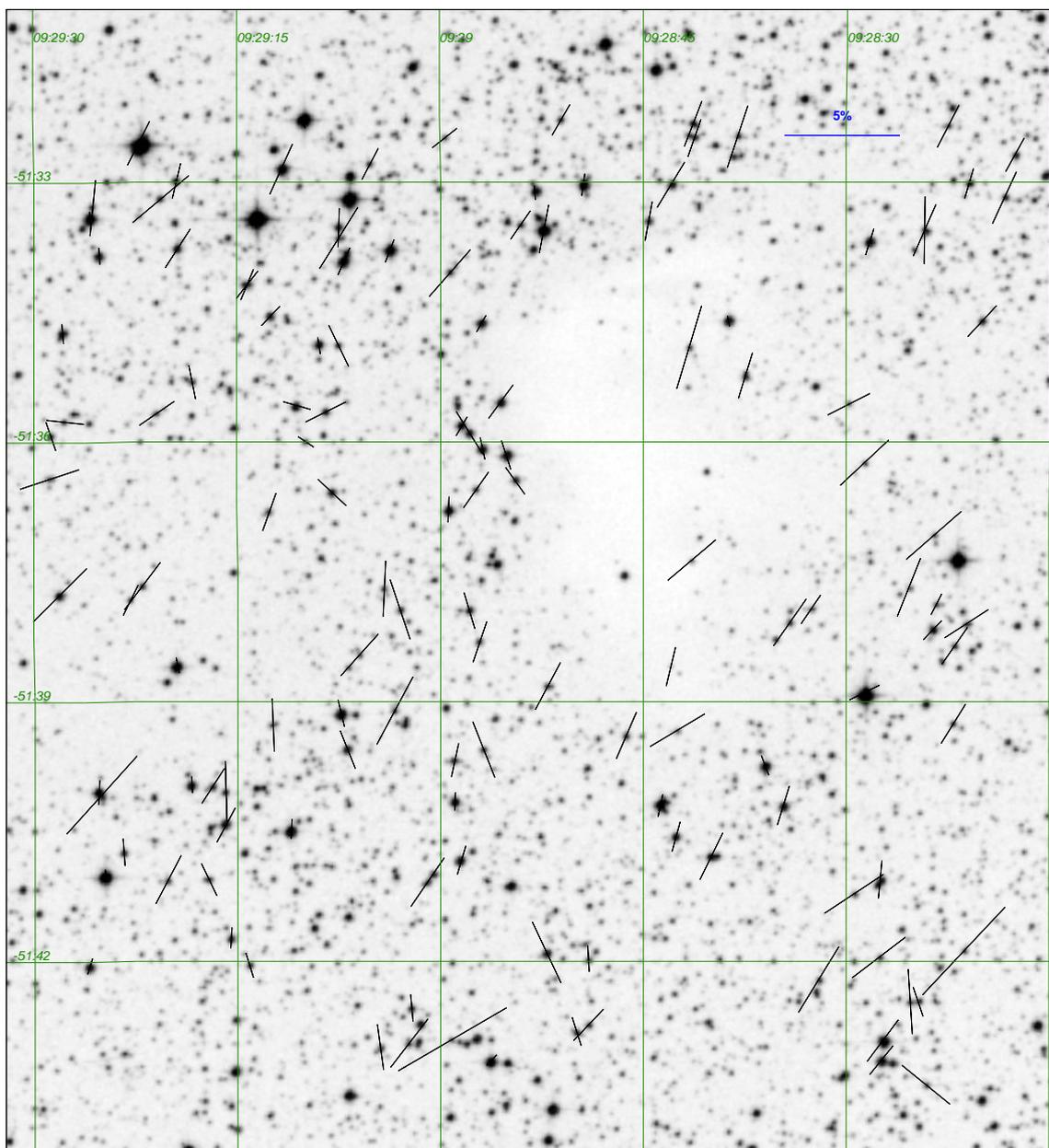


Figura A.4 - Mapa de polarização de BHR 053 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

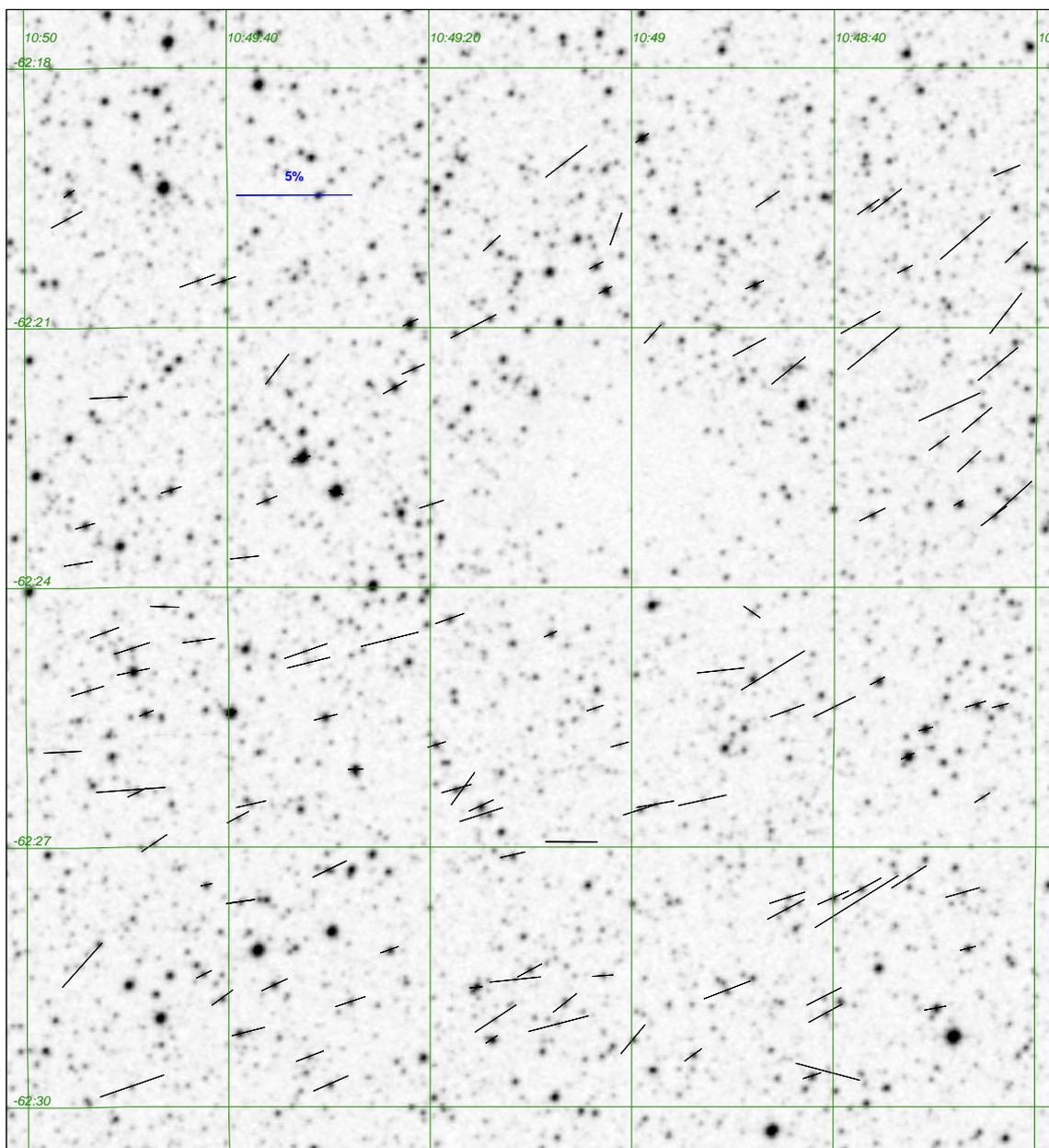


Figura A.5 - Mapa de polarização de BHR 058 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

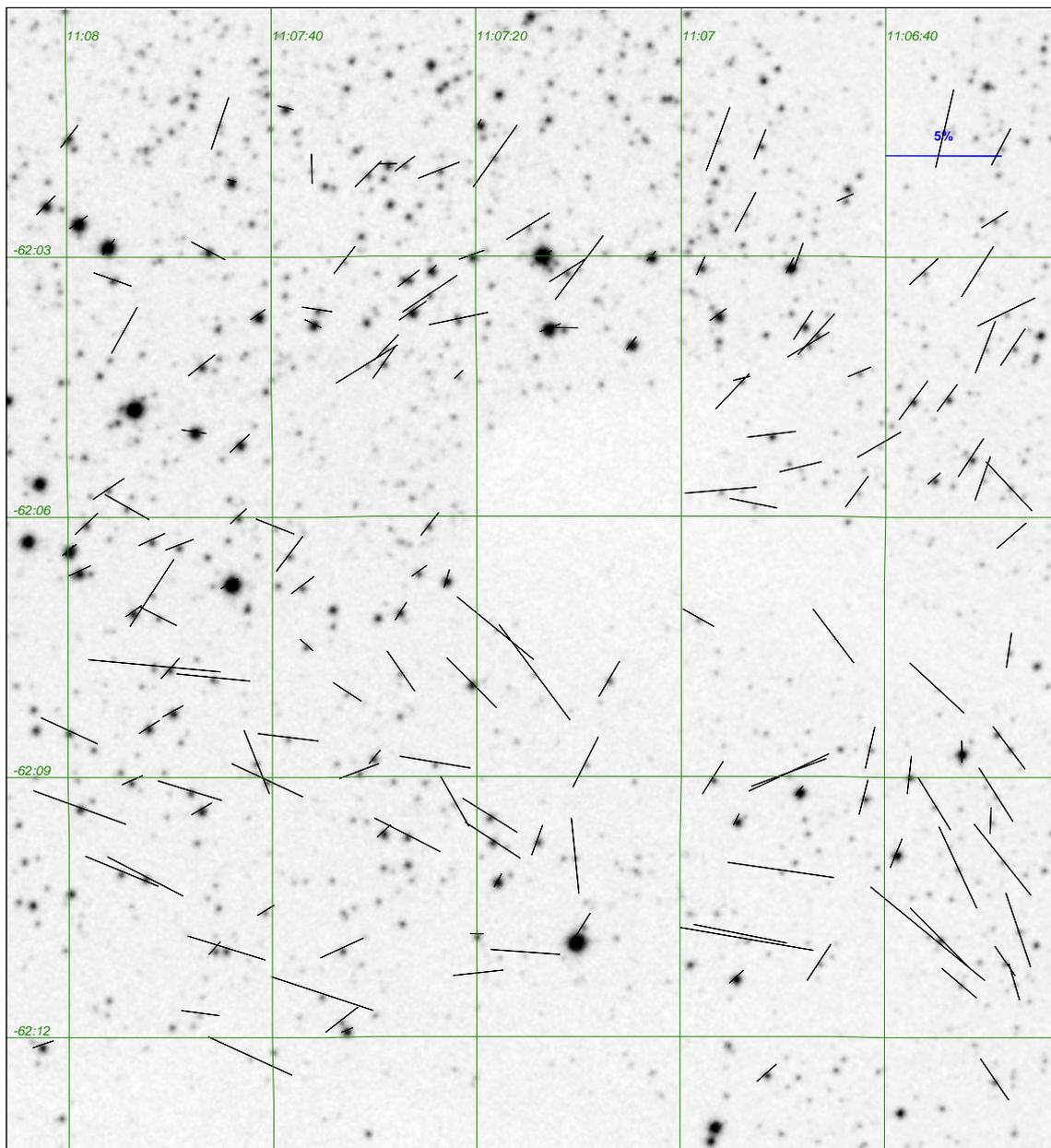


Figura A.6 - Mapa de polarização de BHR 059 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

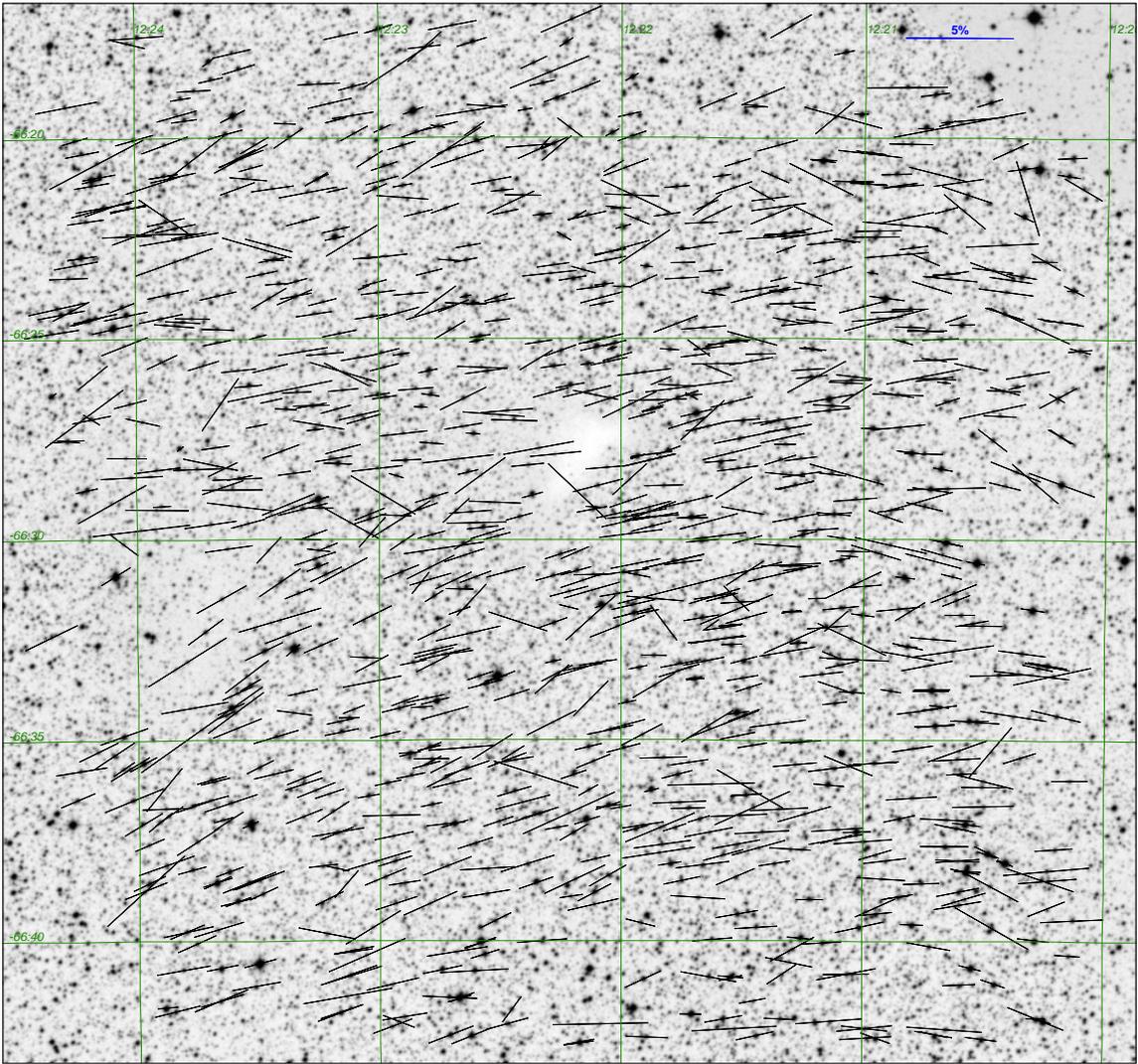


Figura A.7 - Mapa de polarização de BHR 074 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

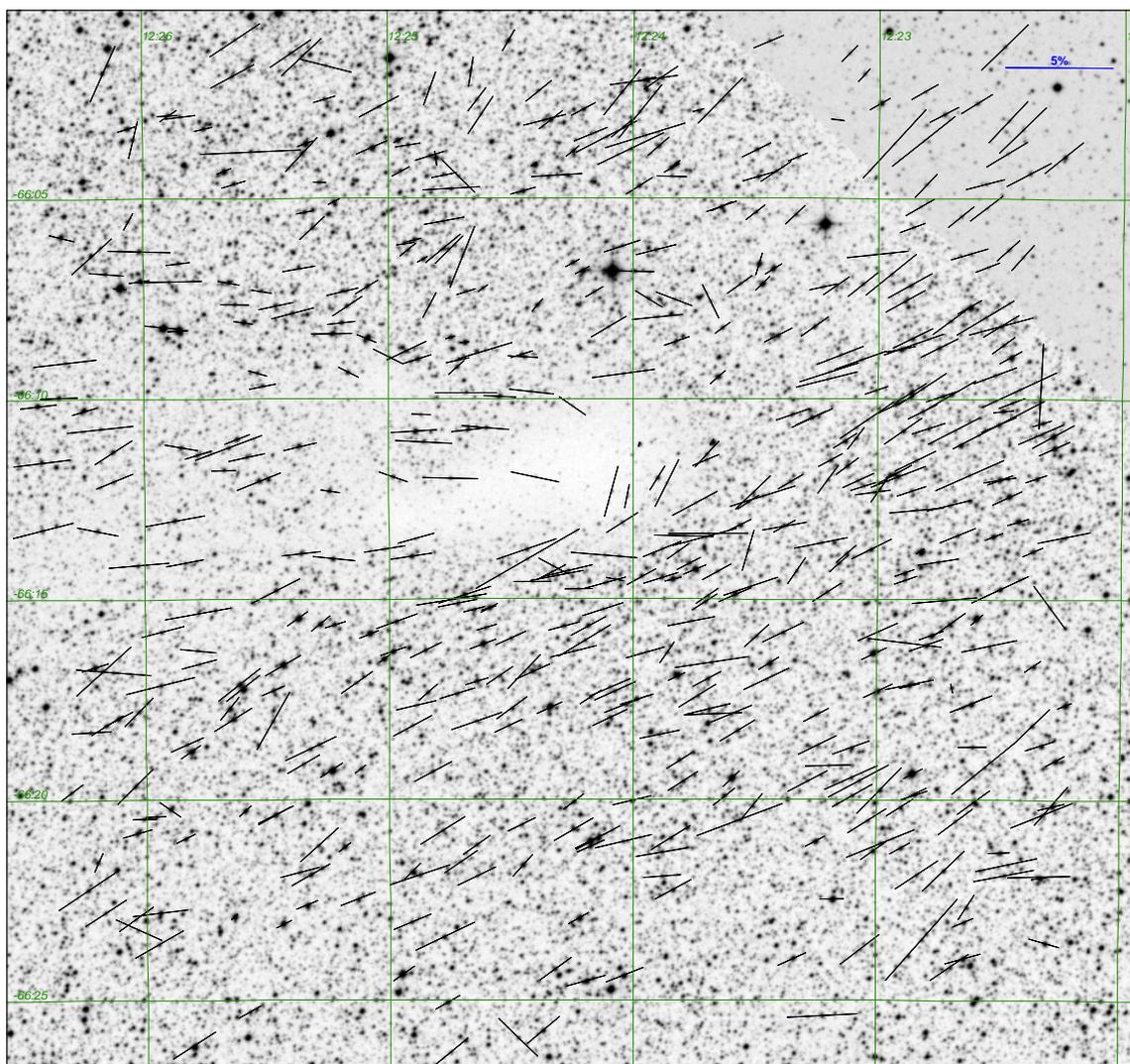


Figura A.8 - Mapa de polarização de BHR 075 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

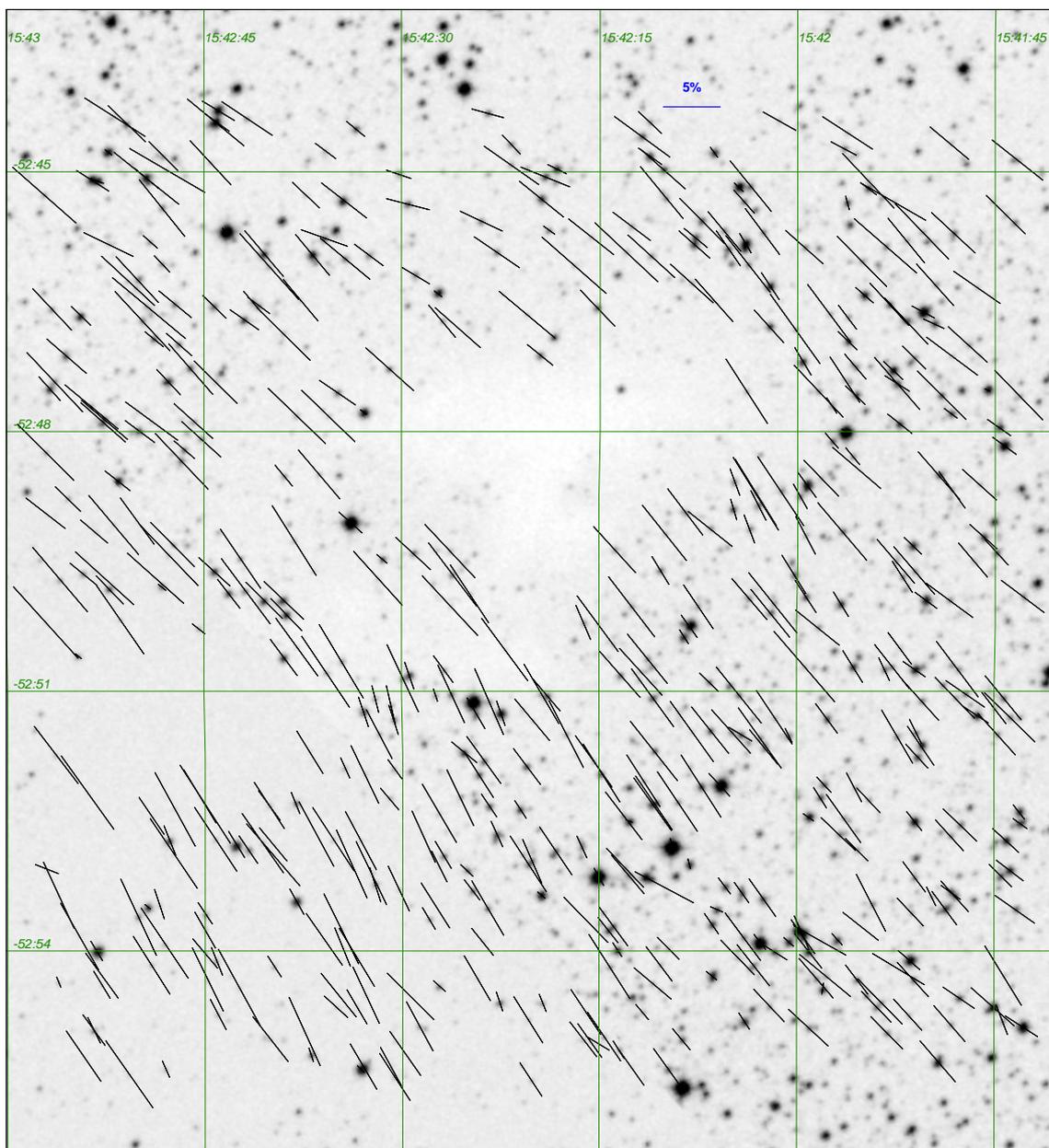


Figura A.9 - Mapa de polarização de BHR 111 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

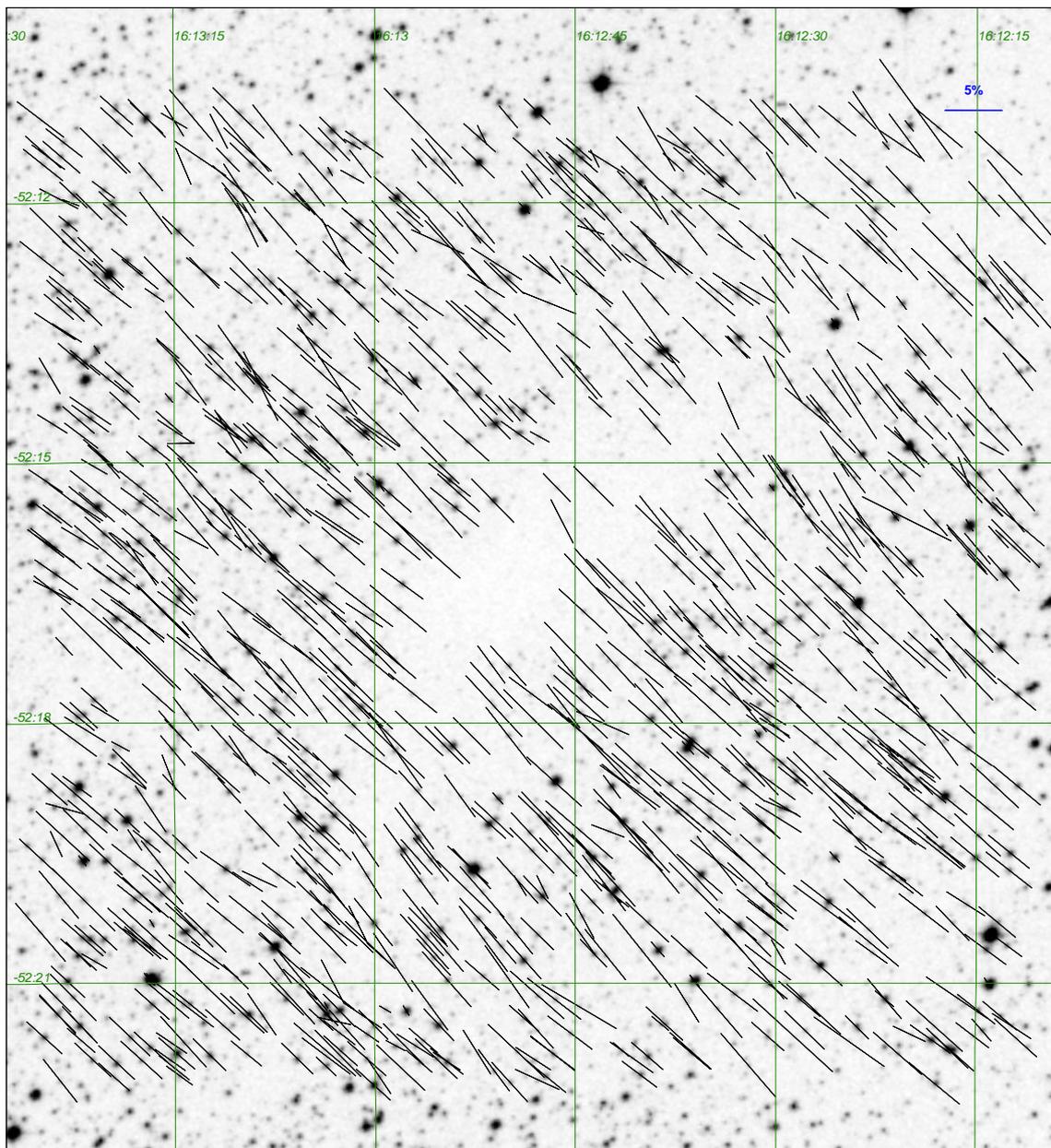


Figura A.10 - Mapa de polarização de BHR 113 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

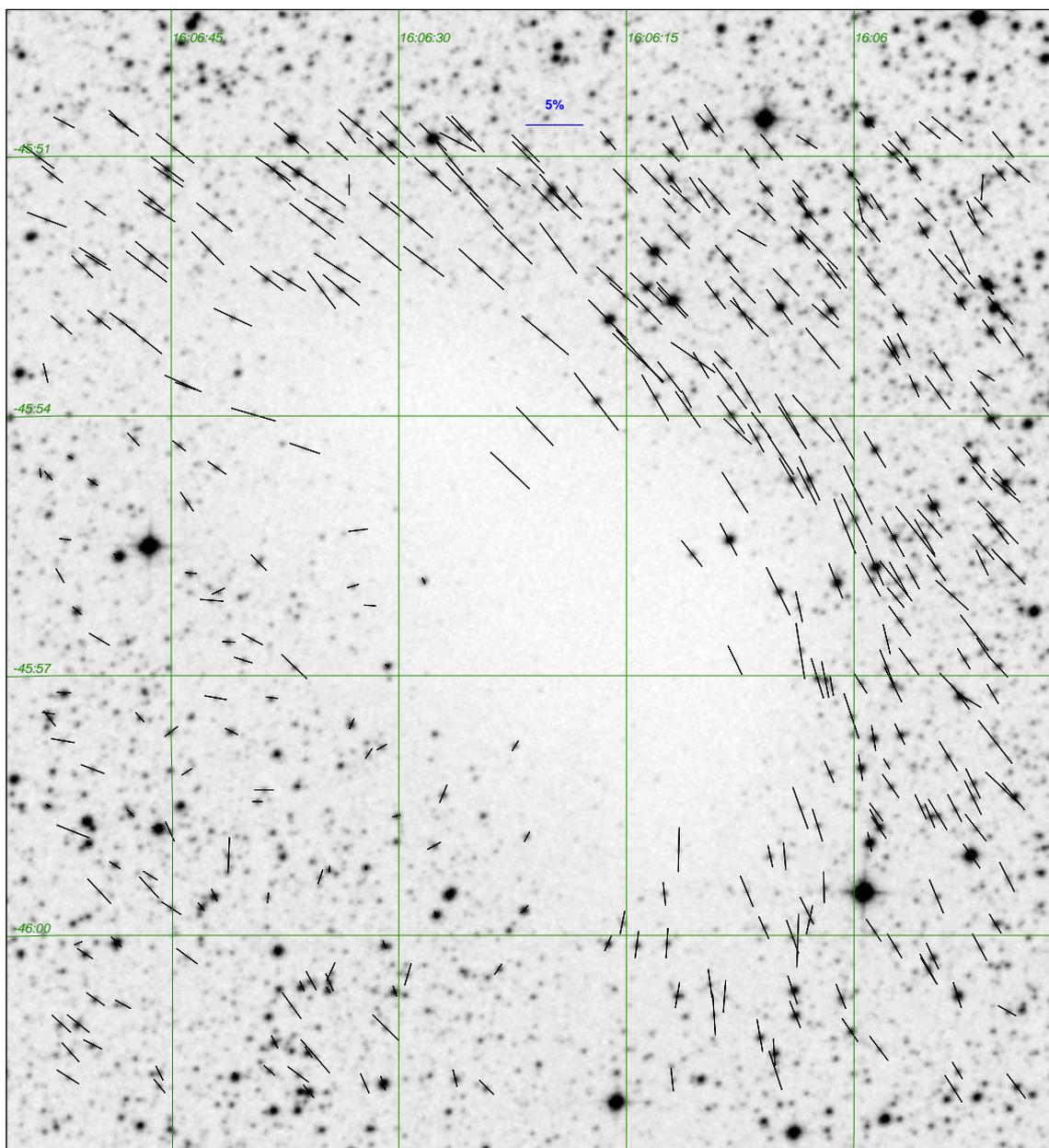


Figura A.11 - Mapa de polarização de BHR 117 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

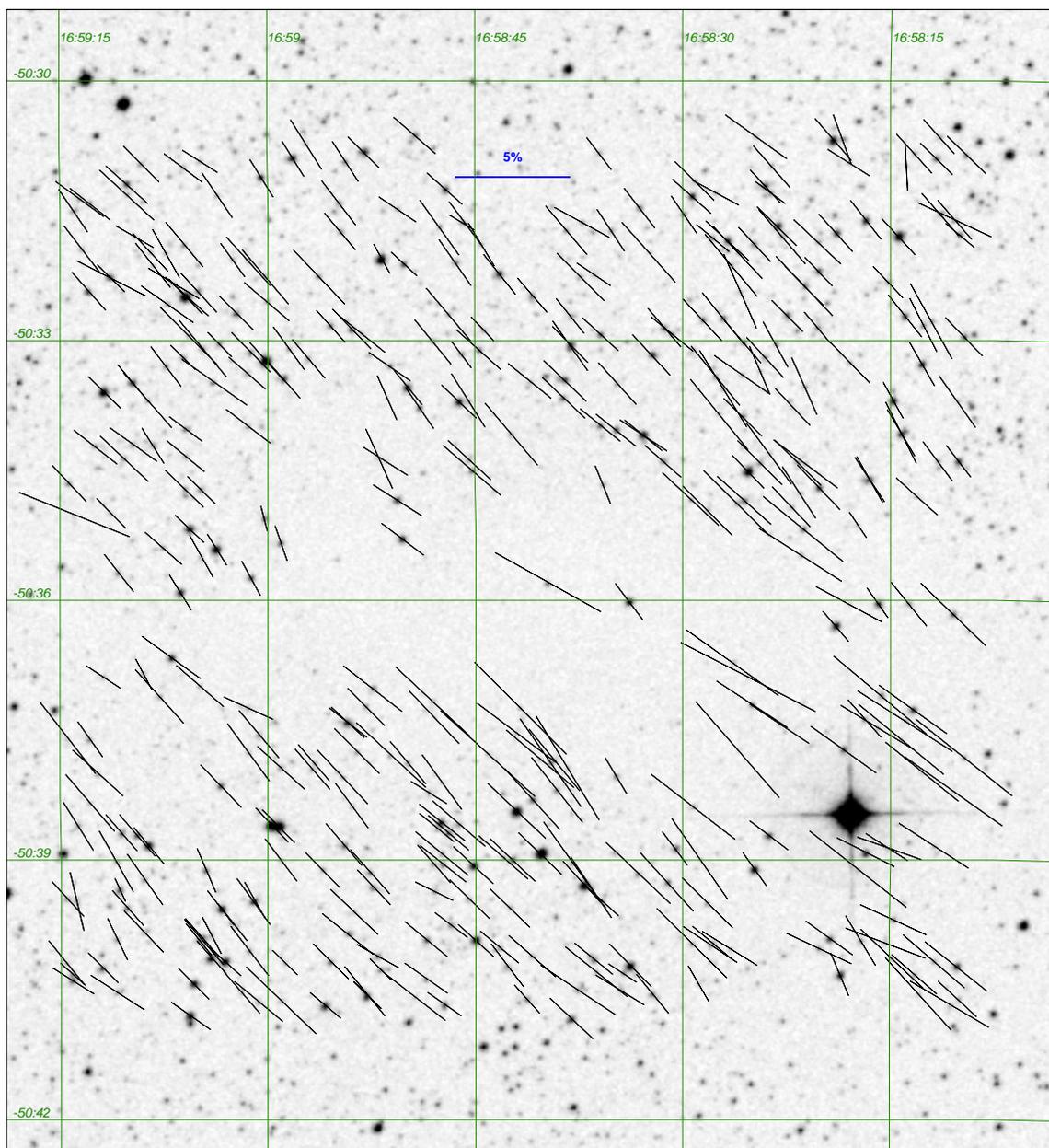


Figura A.12 - Mapa de polarização de BHR 121 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

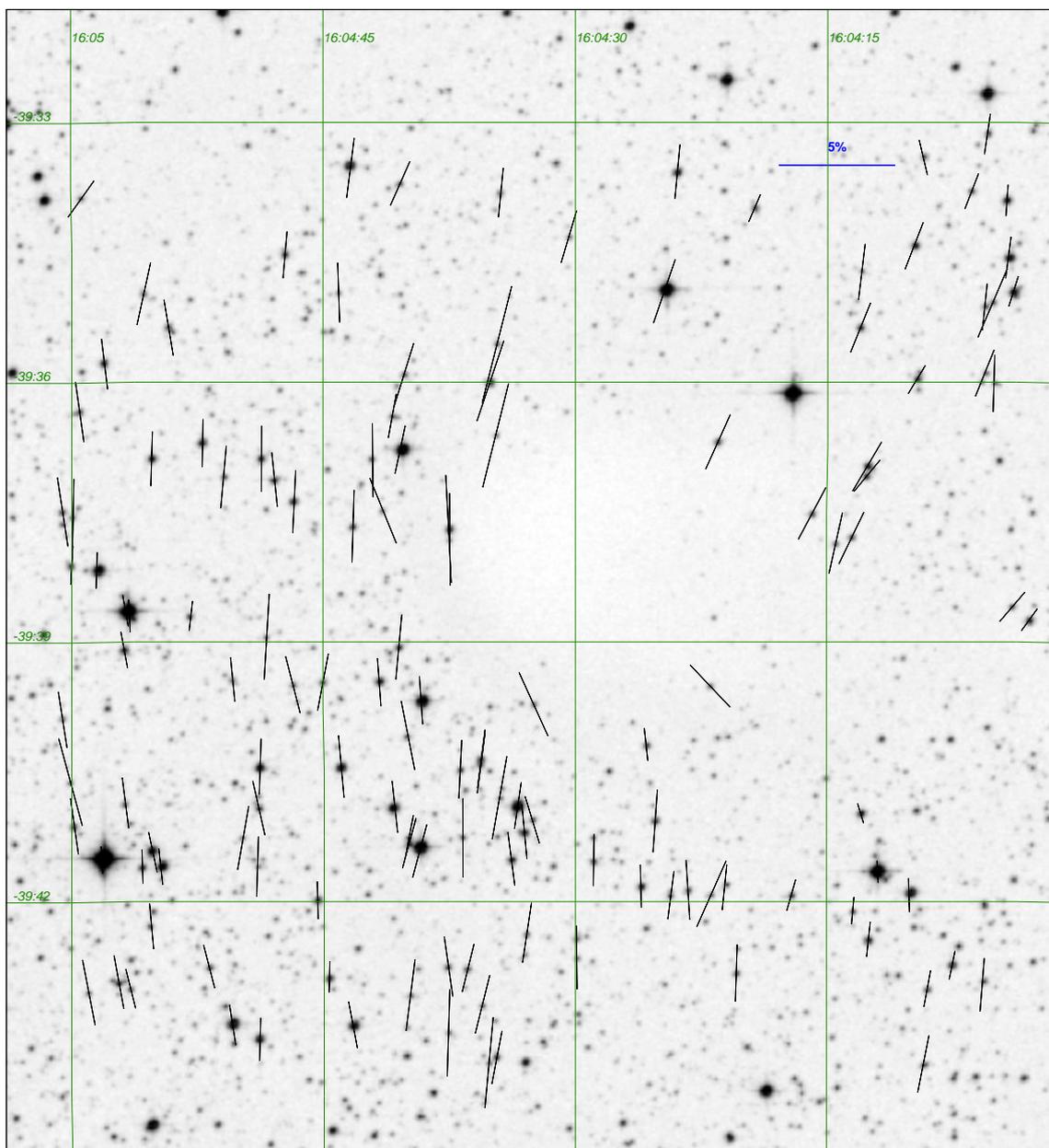


Figura A.13 - Mapa de polarização de BHR 126 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

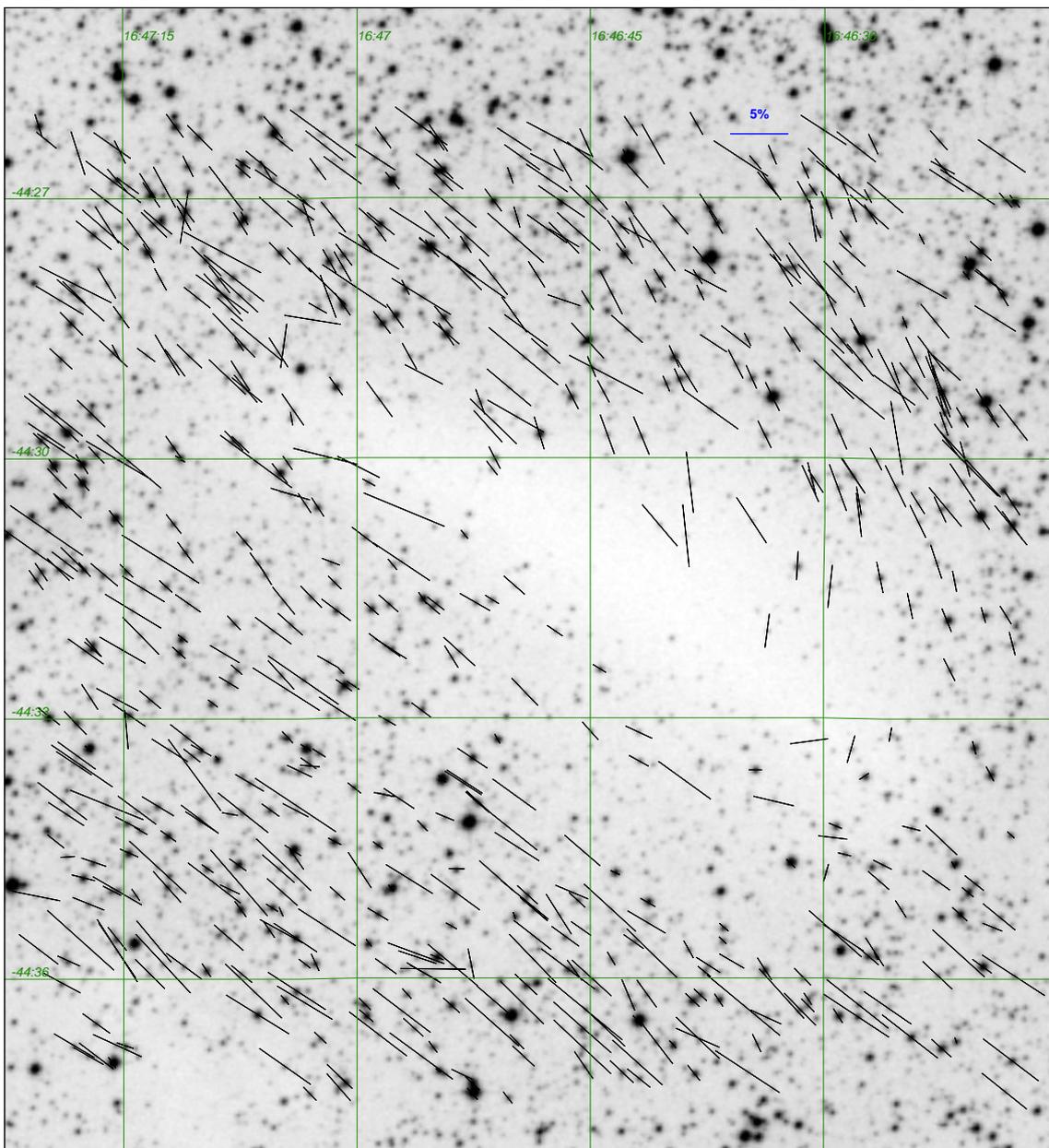


Figura A.14 - Mapa de polarização de BHR 133 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

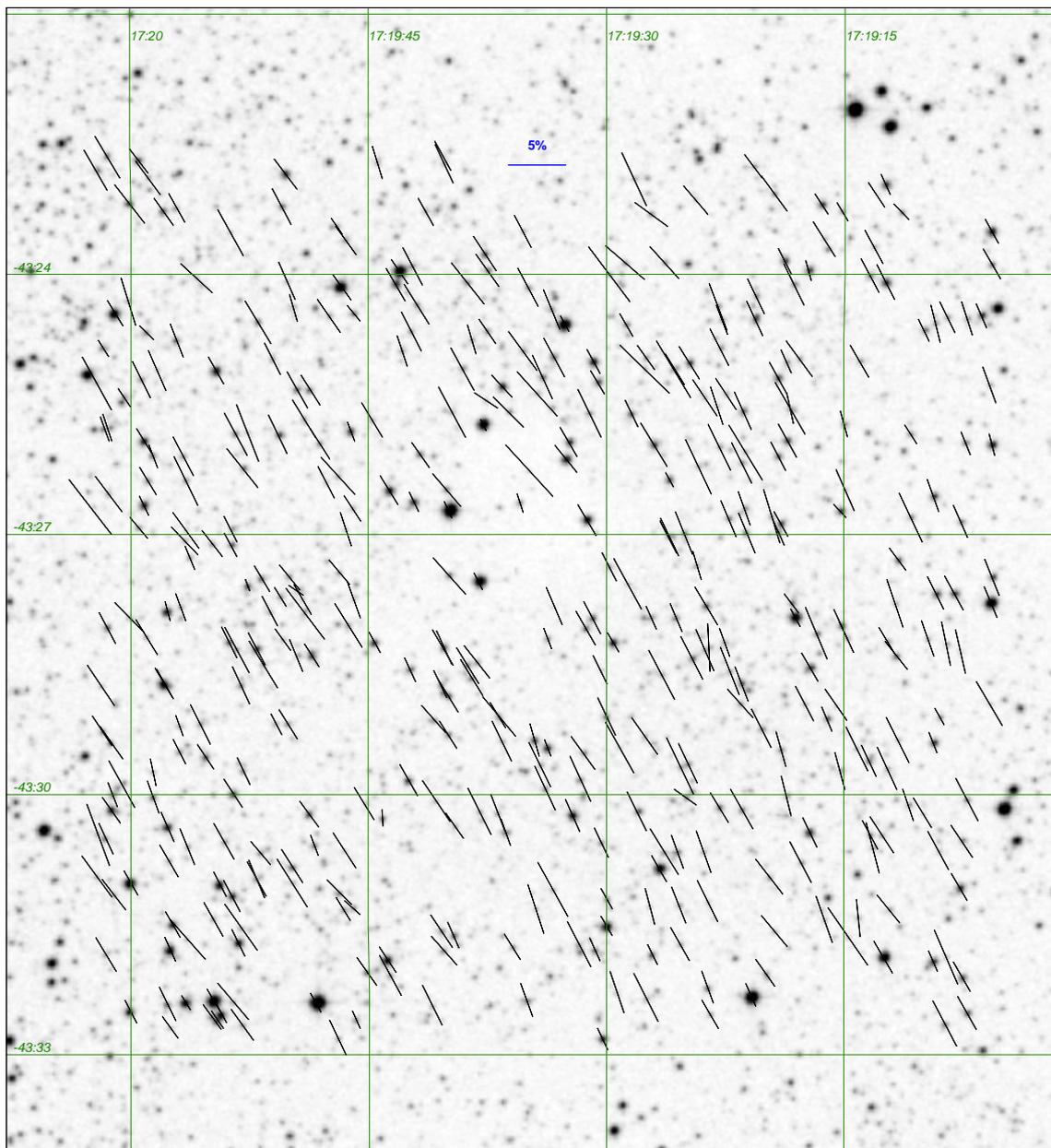


Figura A.15 - Mapa de polarização de BHR 138 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

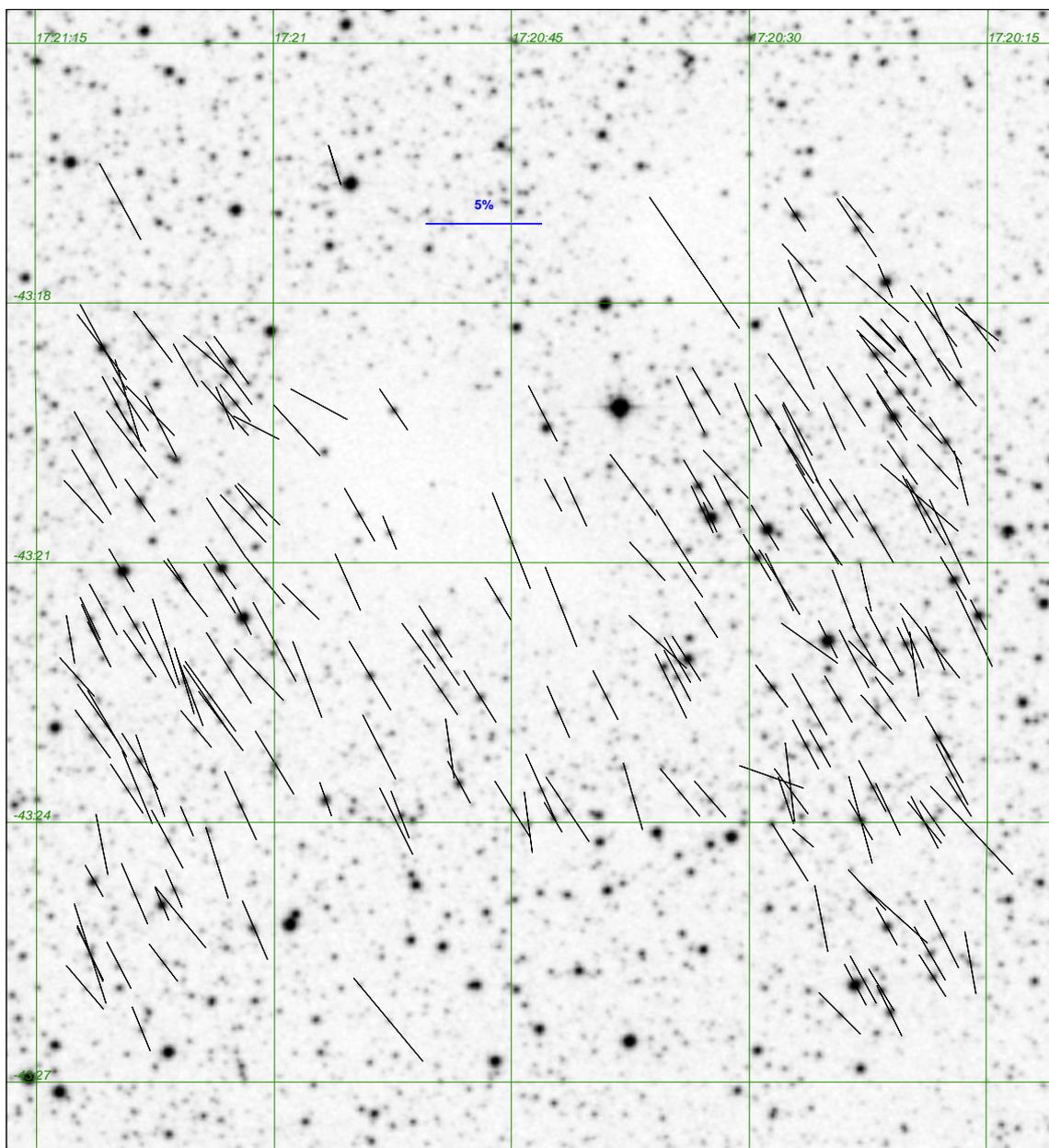


Figura A.16 - Mapa de polarização de BHR 139 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

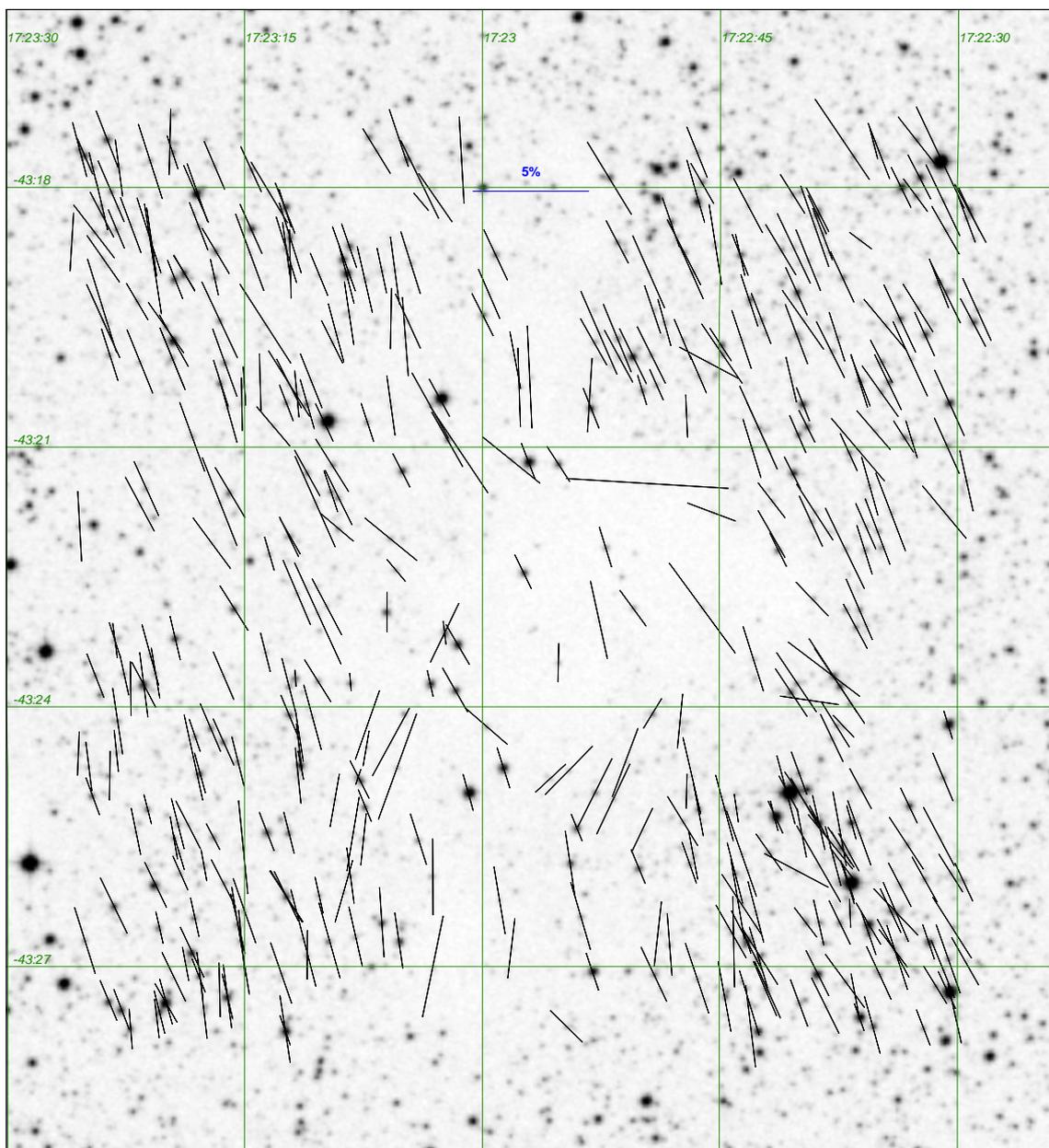


Figura A.17 - Mapa de polarização de BHR 140 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

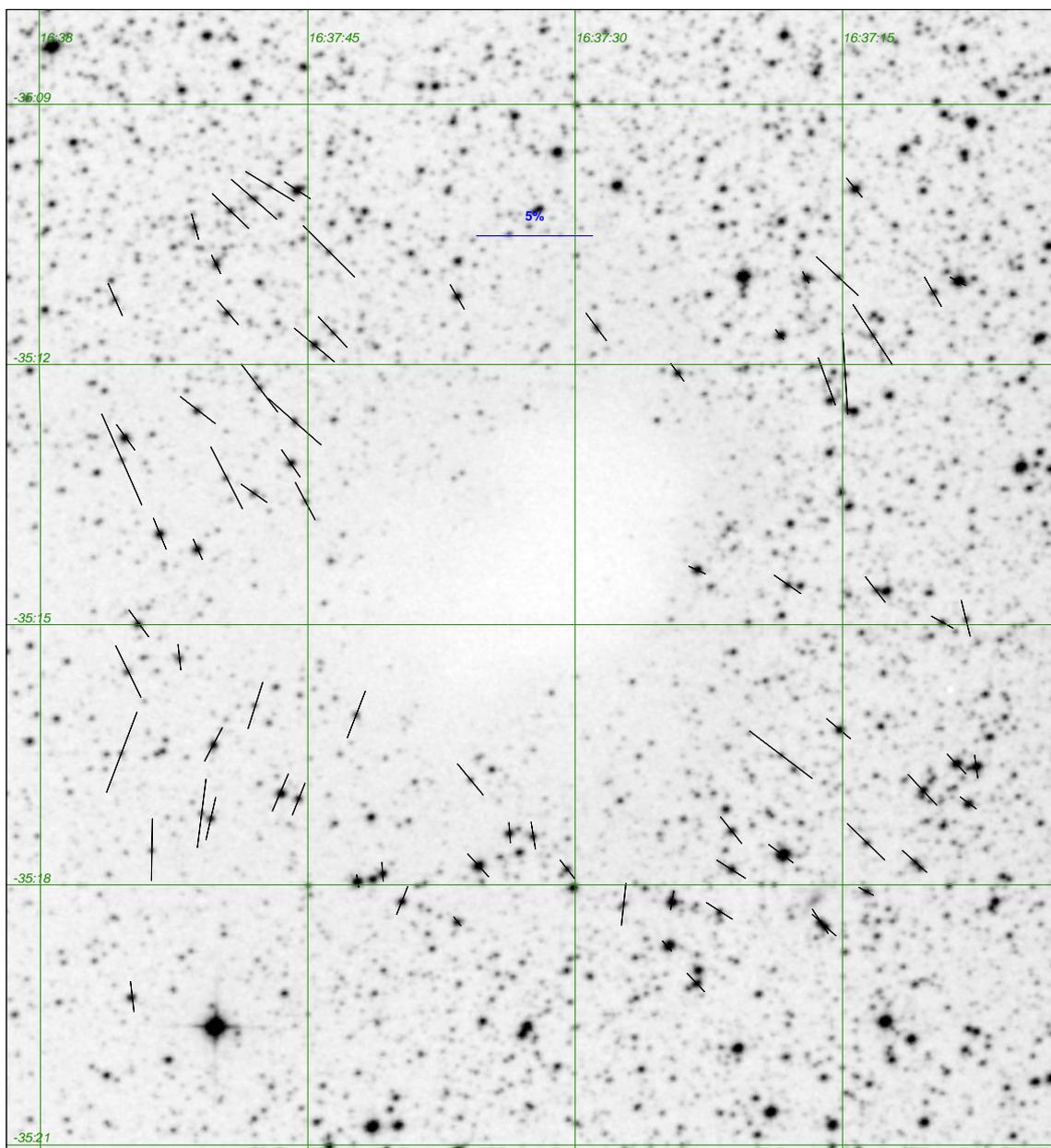


Figura A.18 - Mapa de polarização de BHR 144 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

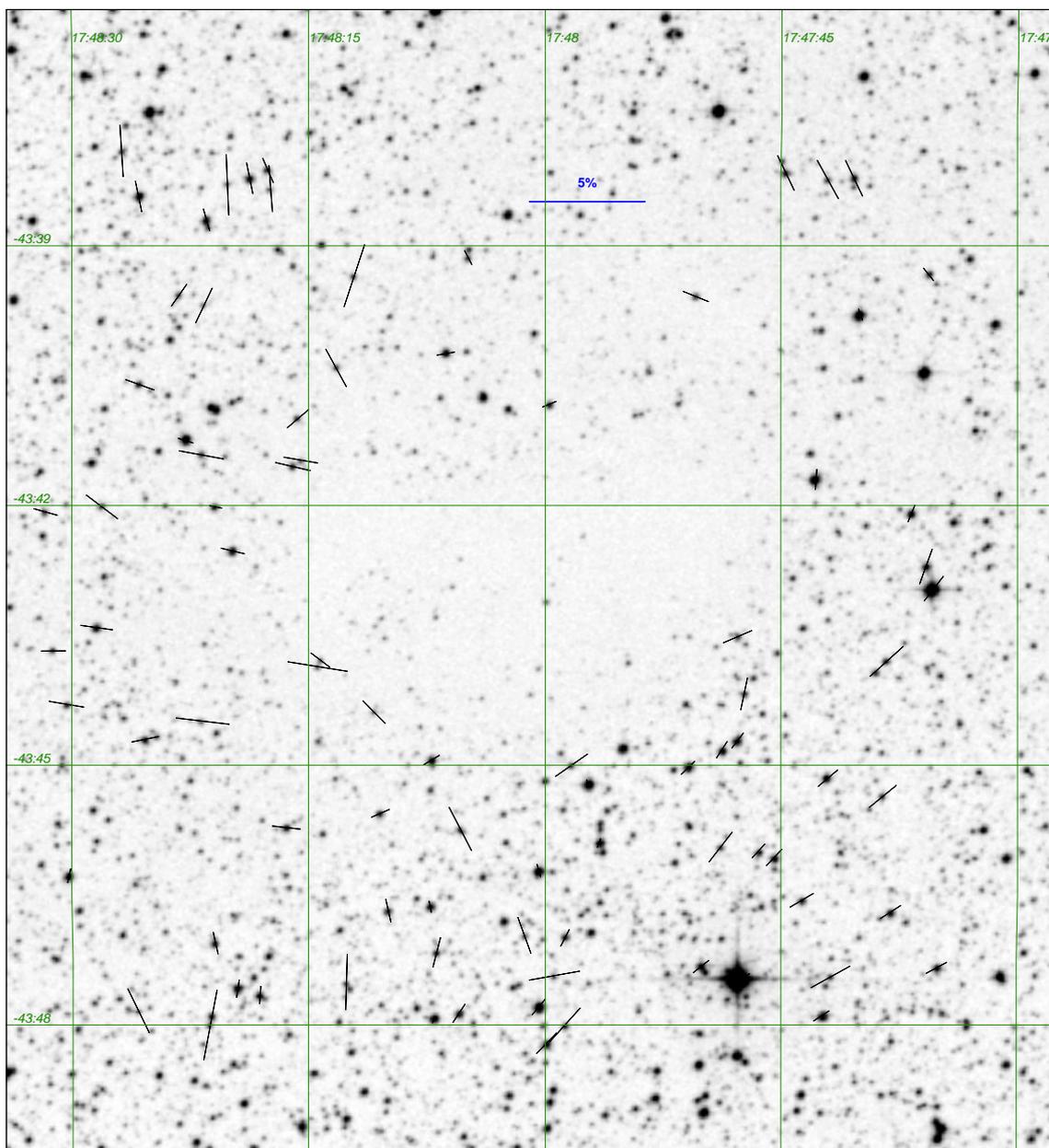


Figura A.19 - Mapa de polarização de BHR 145 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

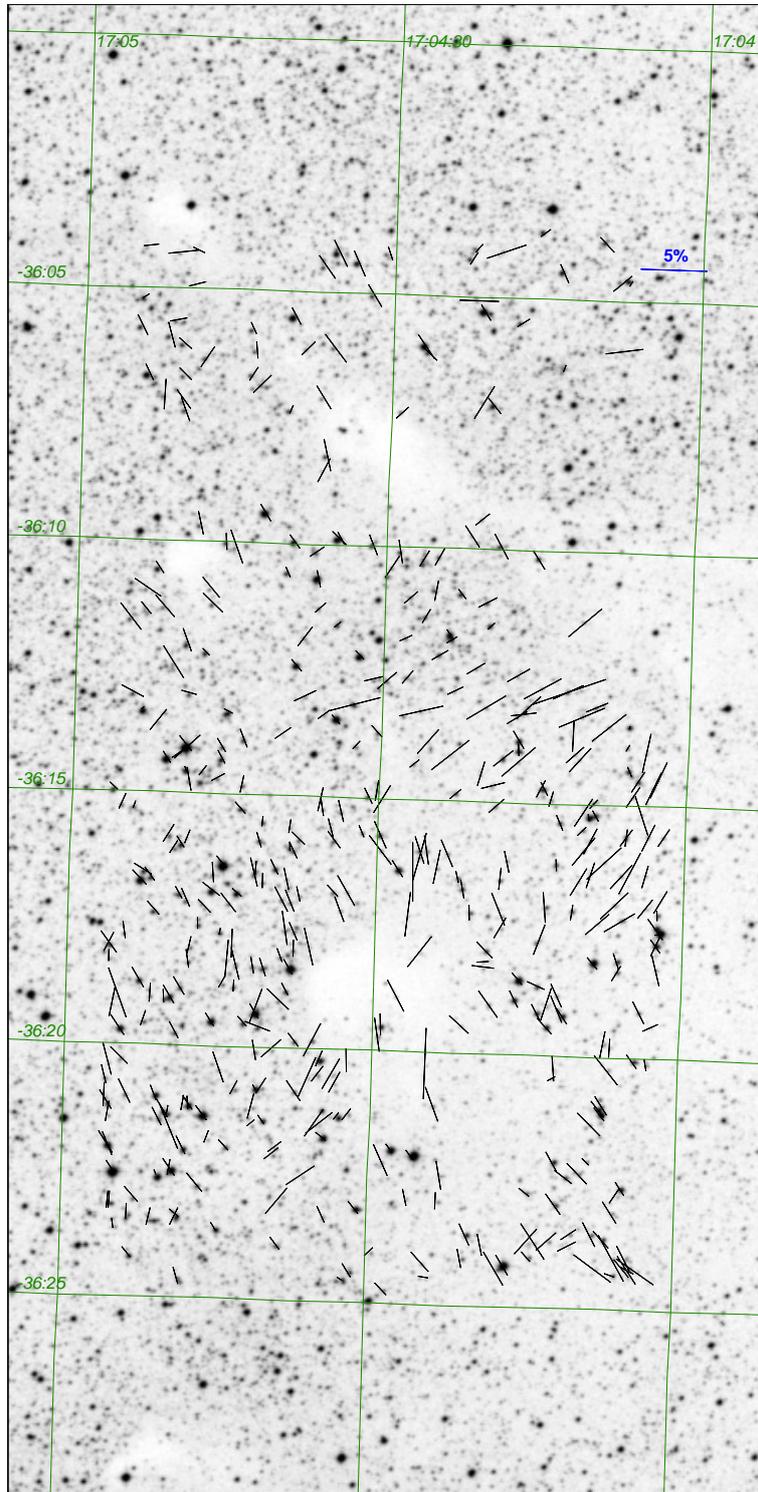


Figura A.20 - Mapa de polarização de BHR 148-151 na banda I_c sobreposto à imagem DSS2-Red da região.

A.3 Mapas de polarização no infravermelho

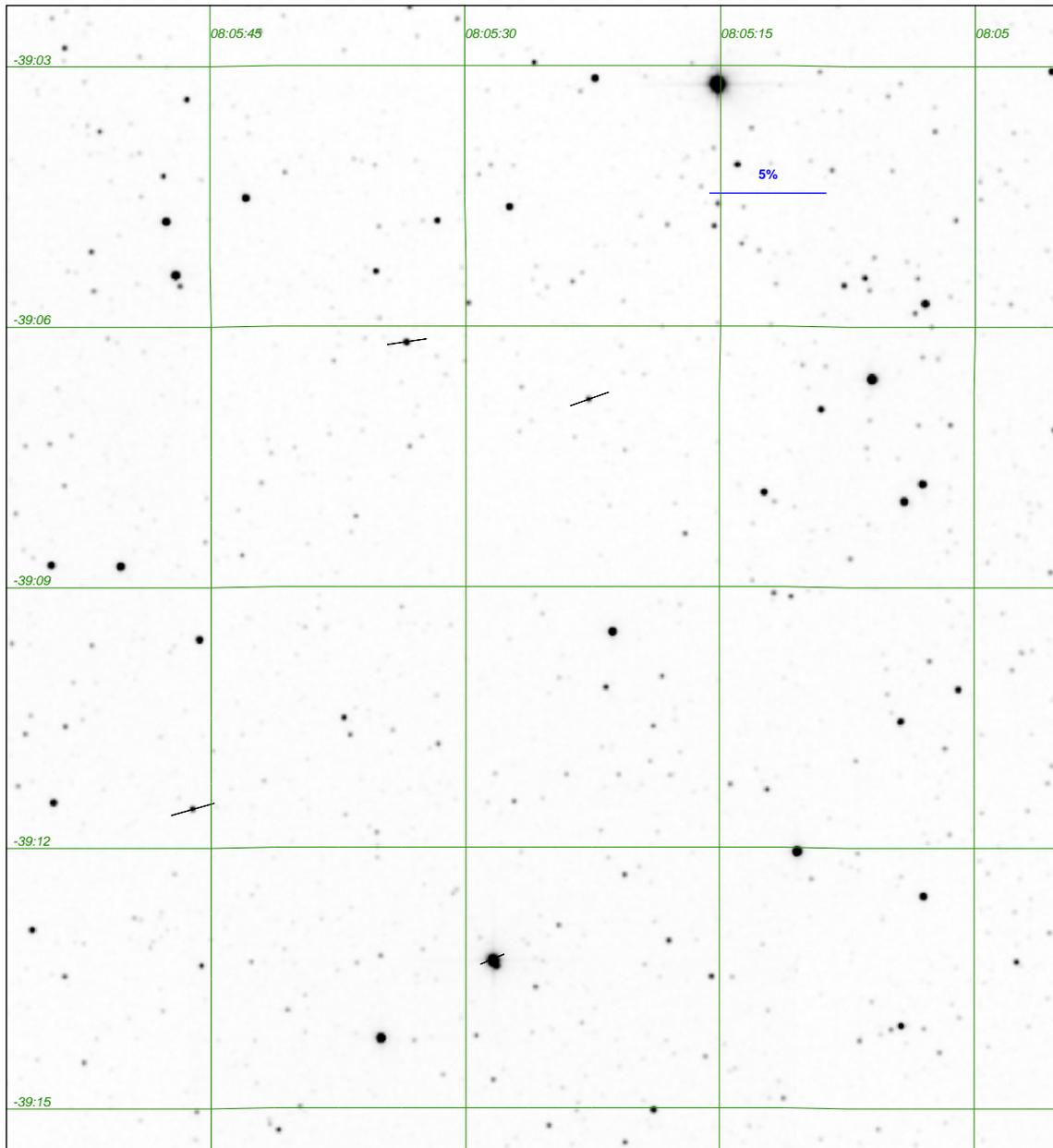


Figura A.21 - Mapa de polarização de BHR 016 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

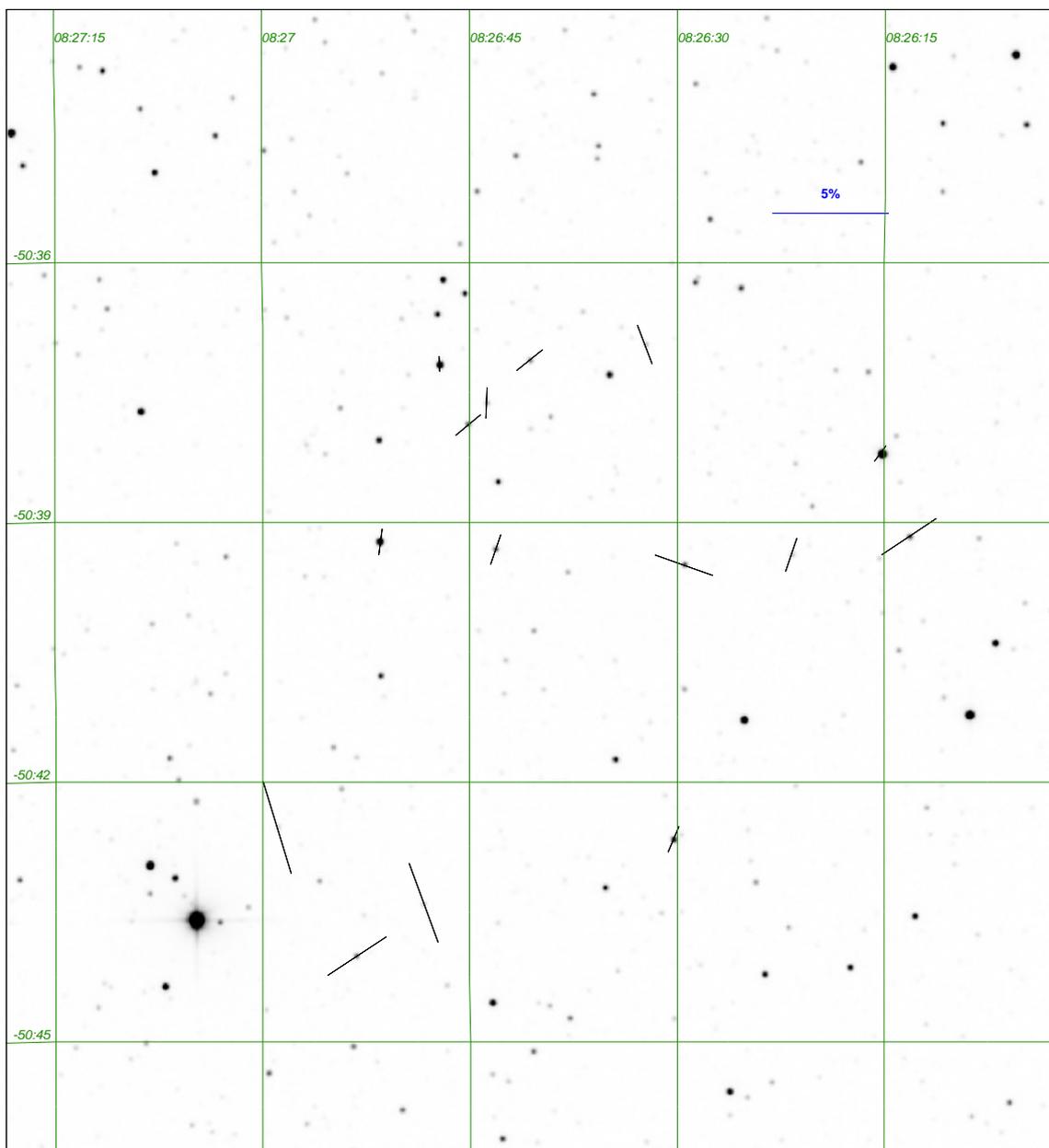


Figura A.22 - Mapa de polarização de BHR 034 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

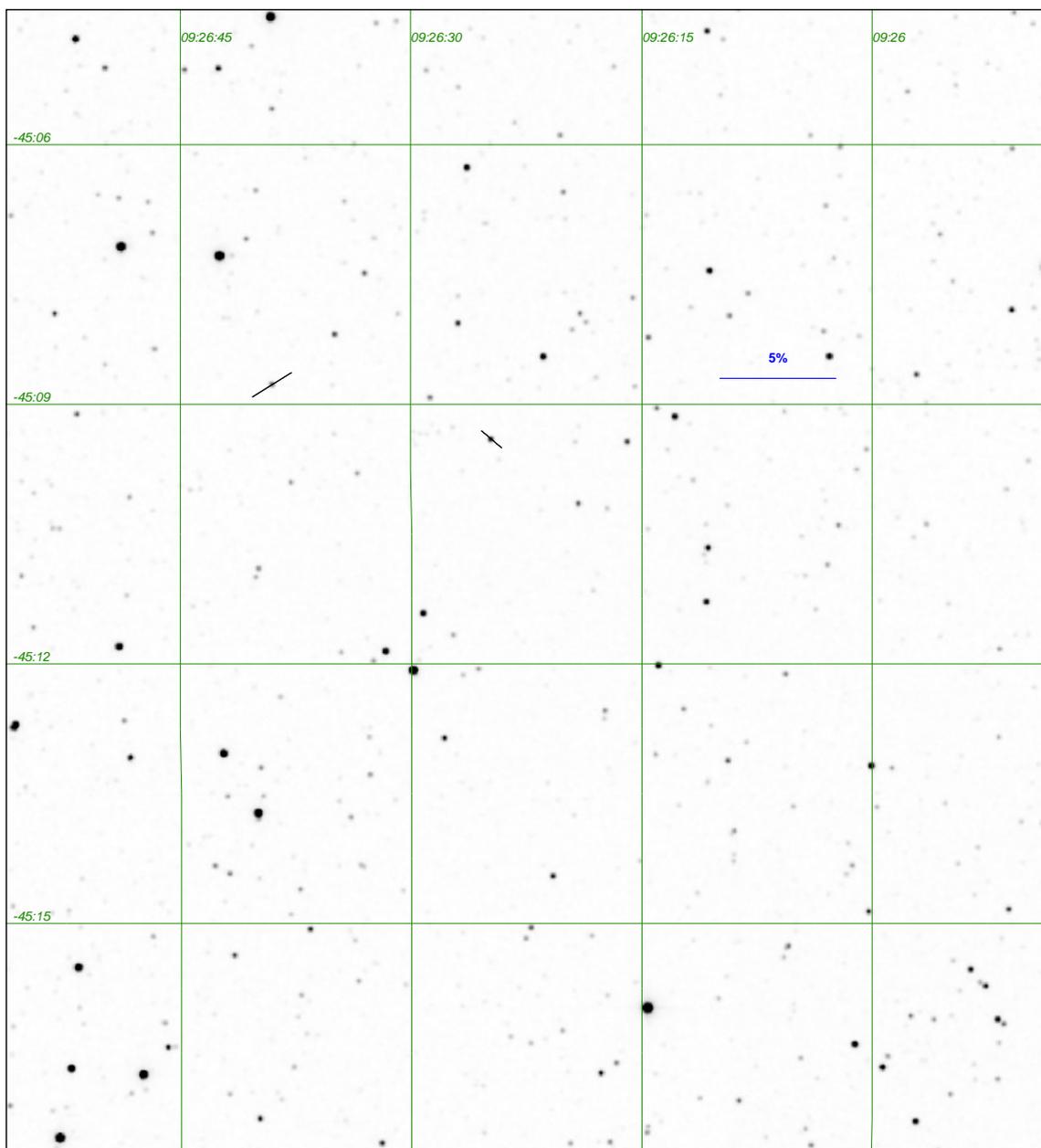


Figura A.23 - Mapa de polarização de BHR 044 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

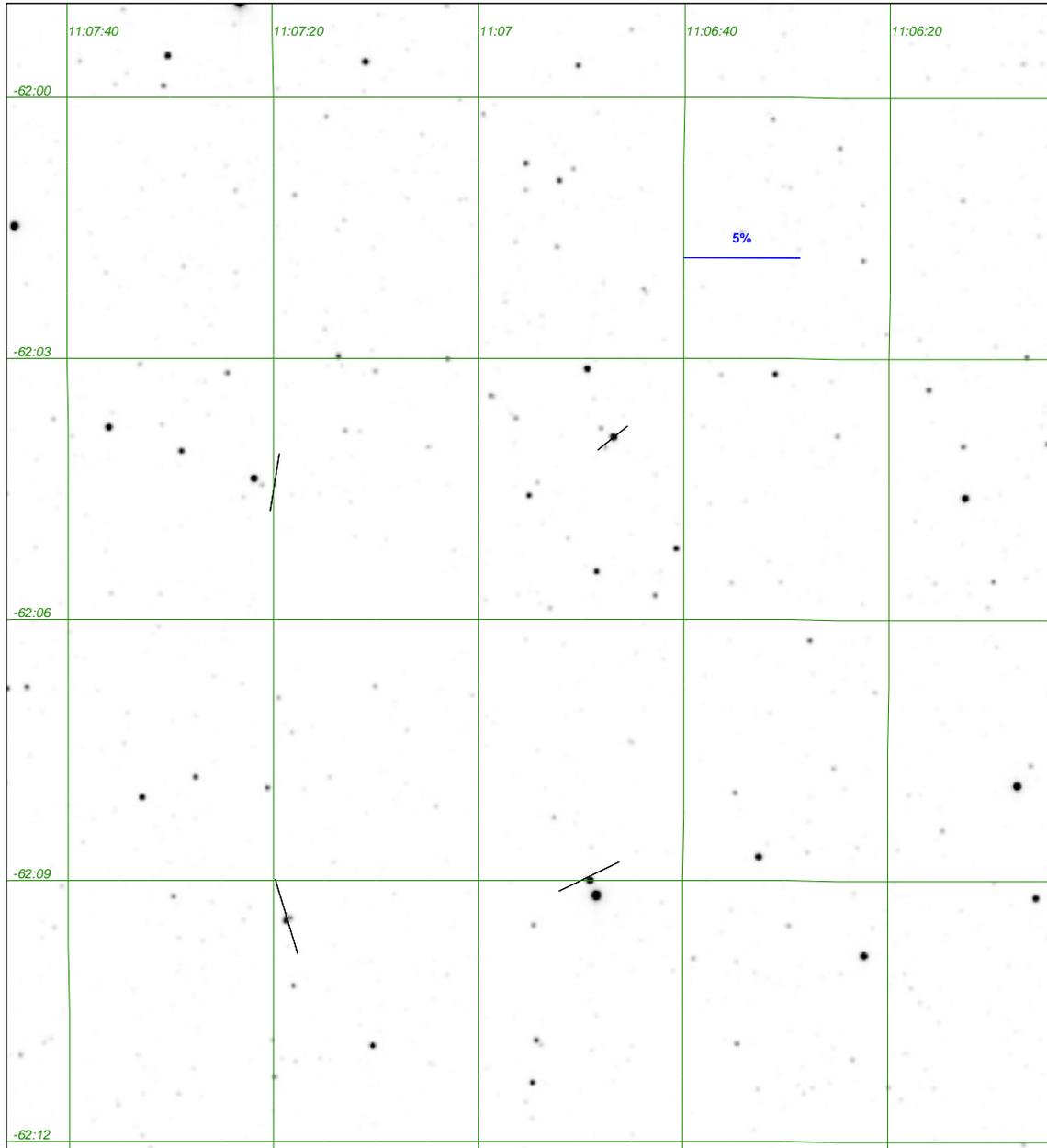


Figura A.24 - Mapa de polarização de BHR 059 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

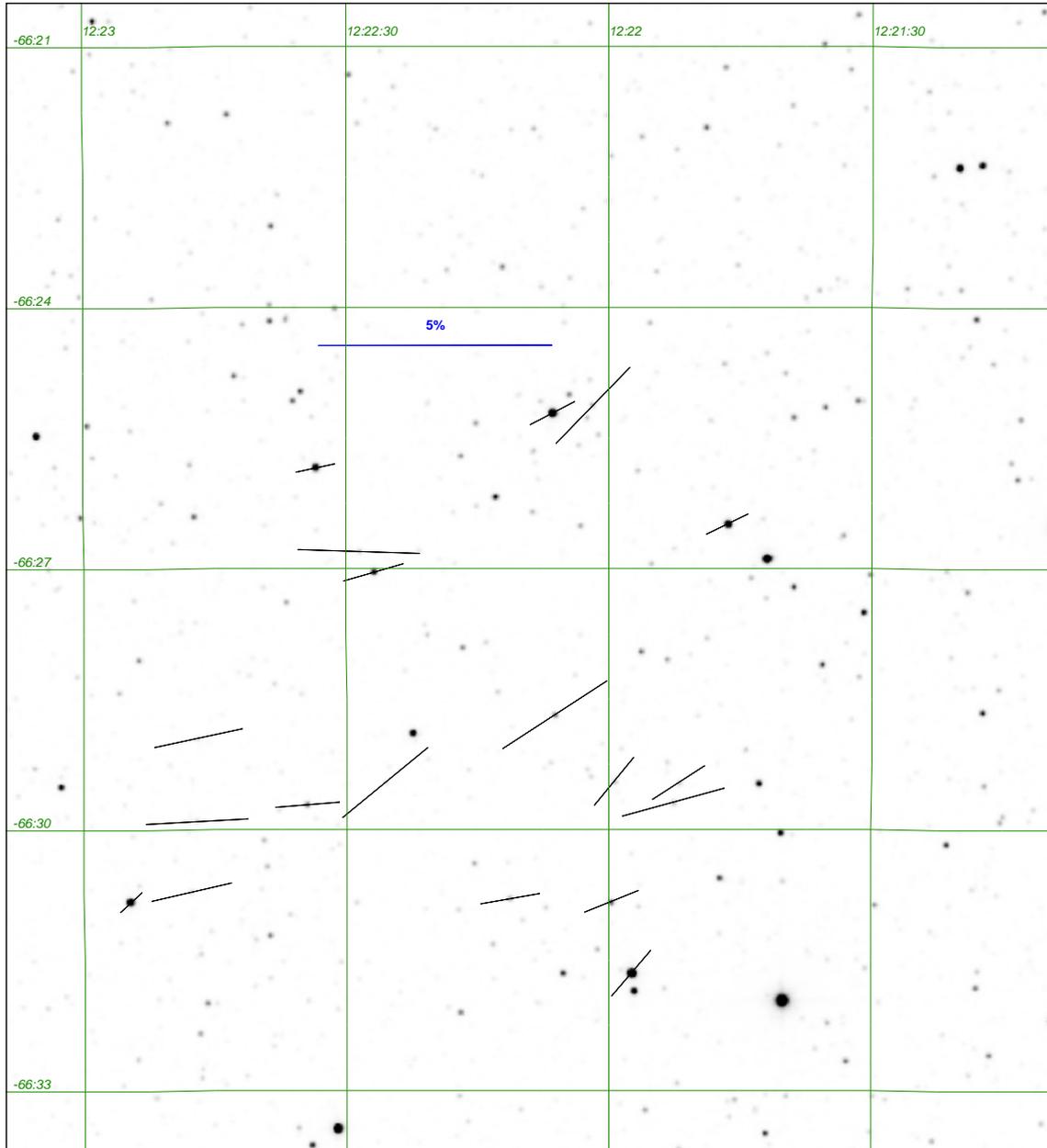


Figura A.25 - Mapa de polarização de BHR 074 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

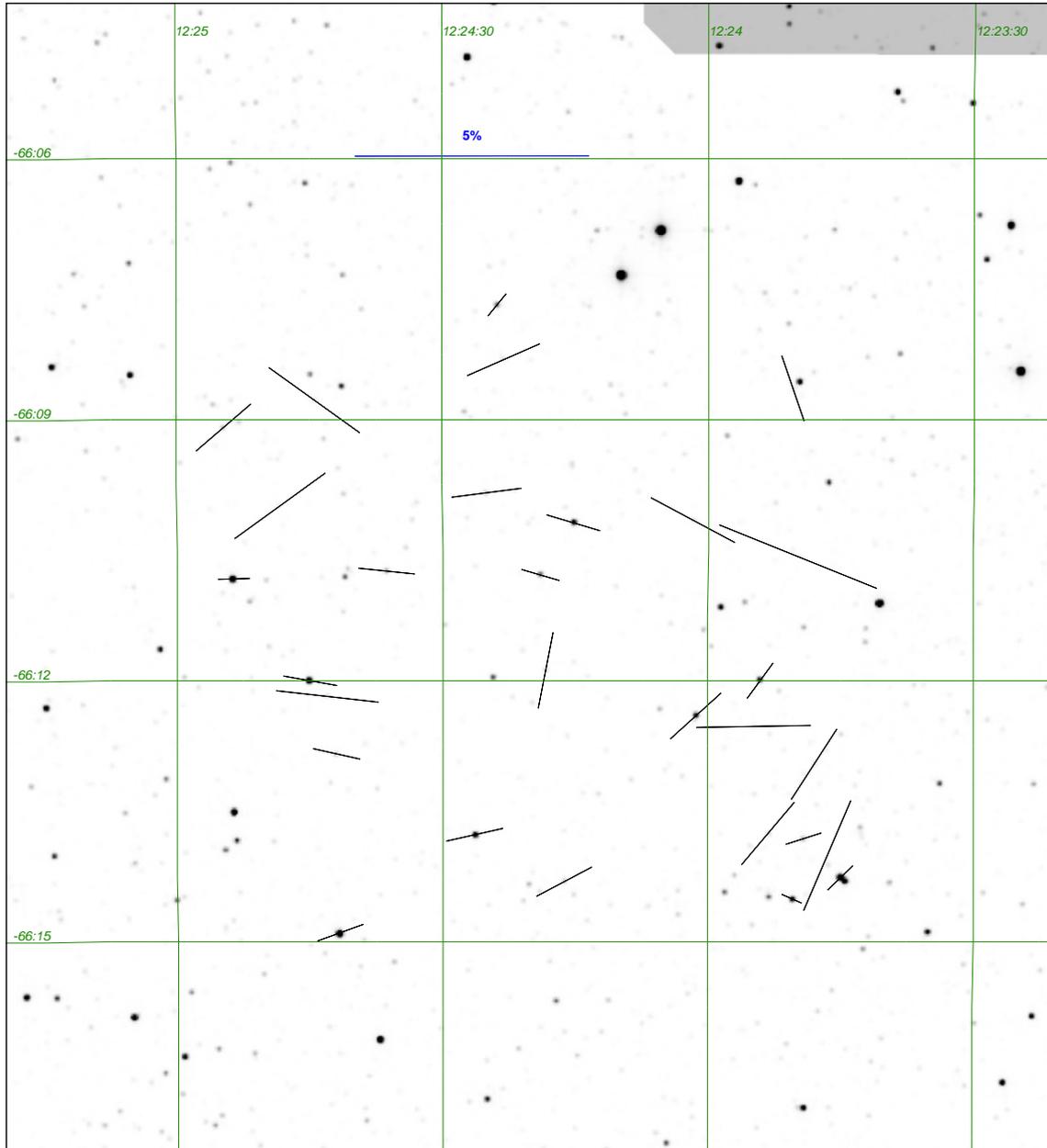


Figura A.26 - Mapa de polarização de BHR 075 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

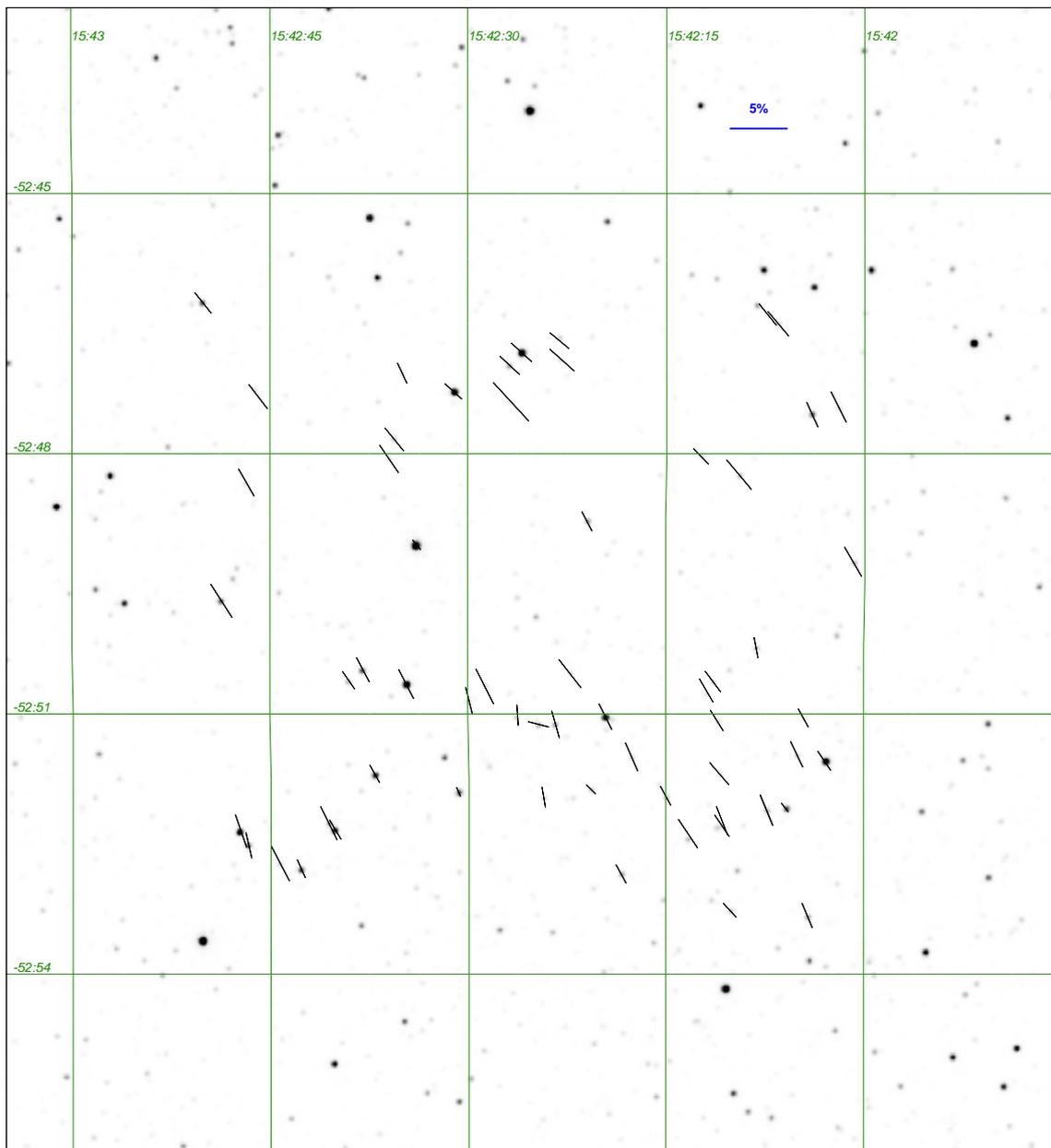


Figura A.27 - Mapa de polarização de BHR 111 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

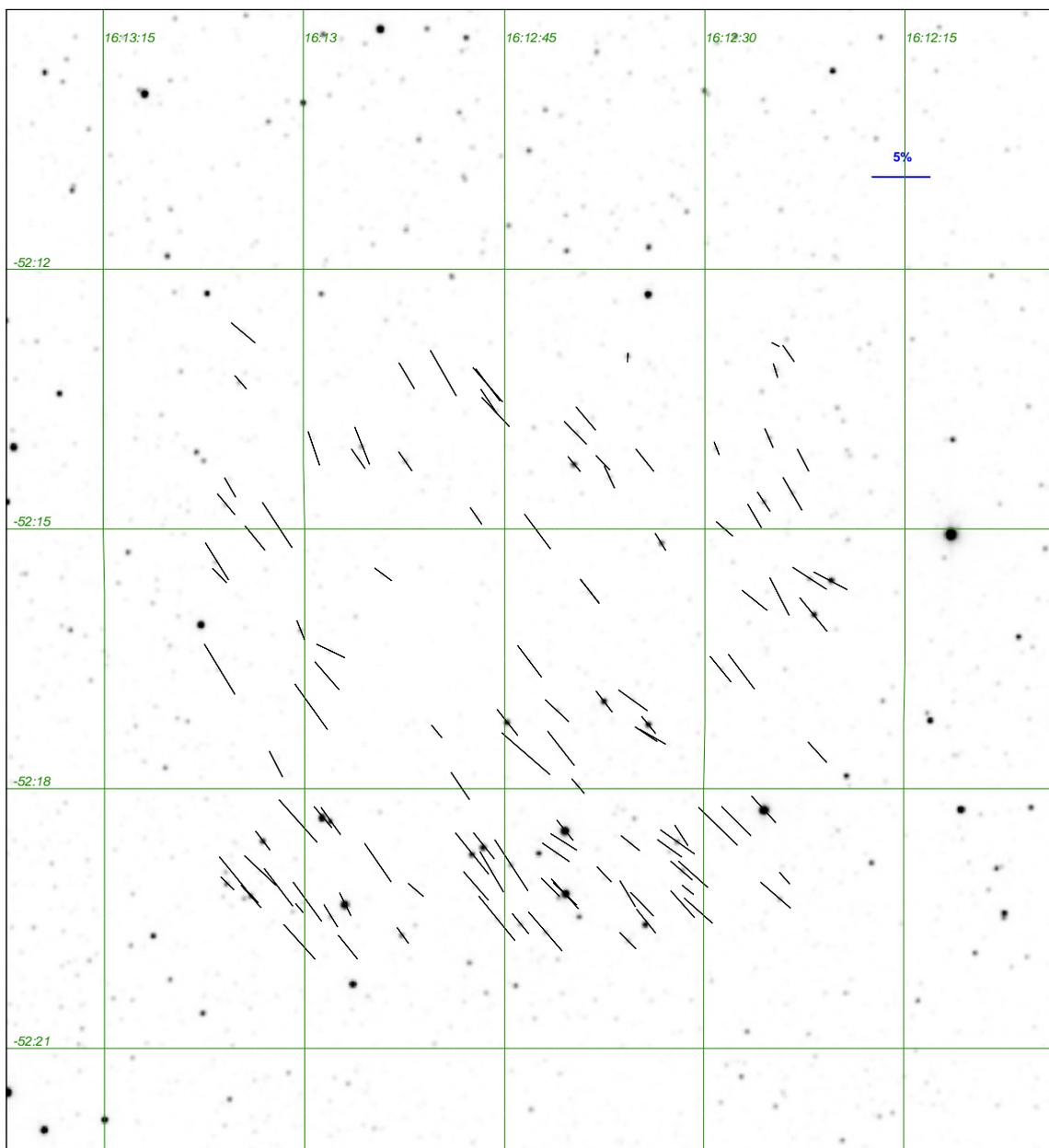


Figura A.28 - Mapa de polarização de BHR 113 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

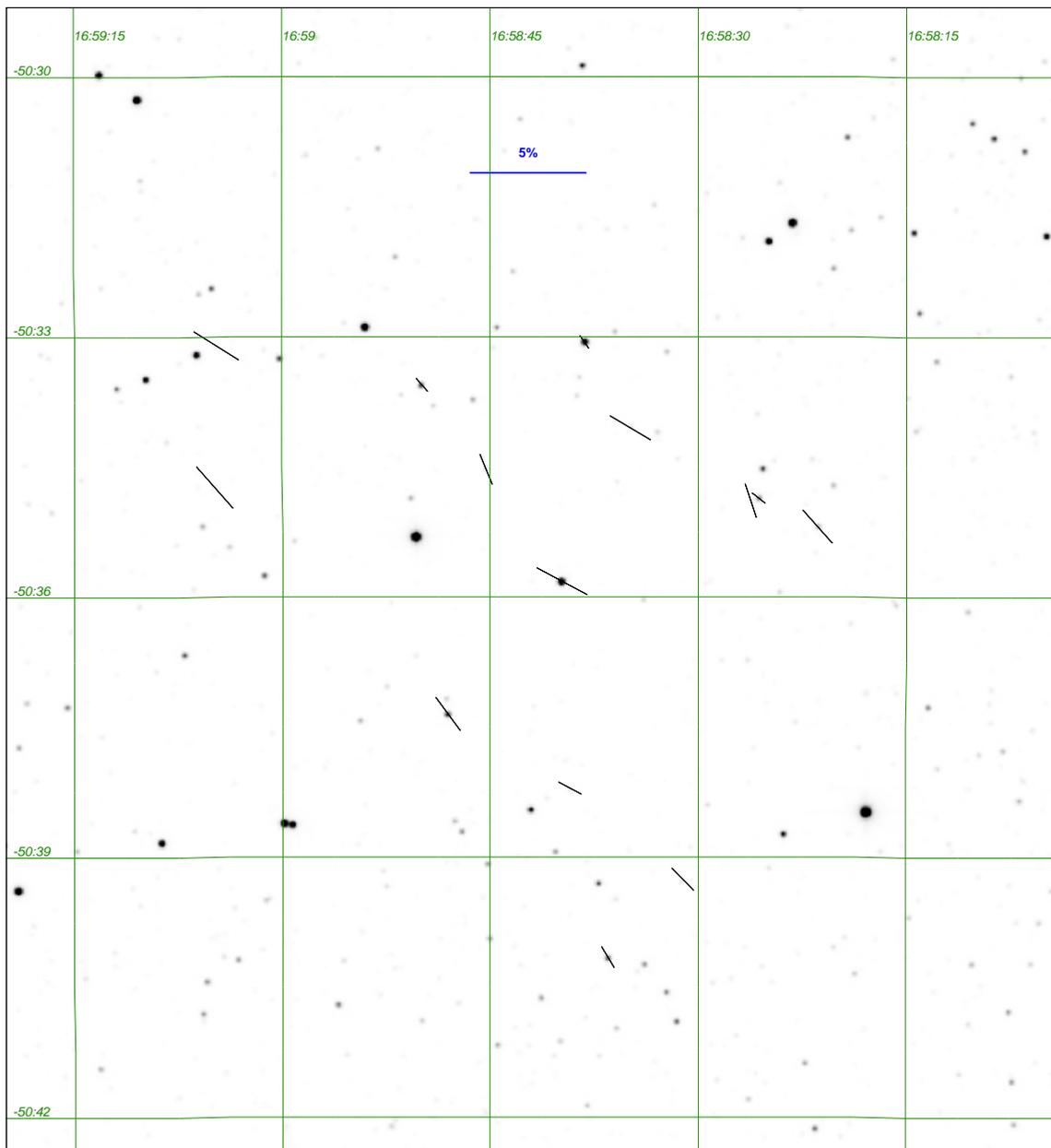


Figura A.29 - Mapa de polarização de BHR 121 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

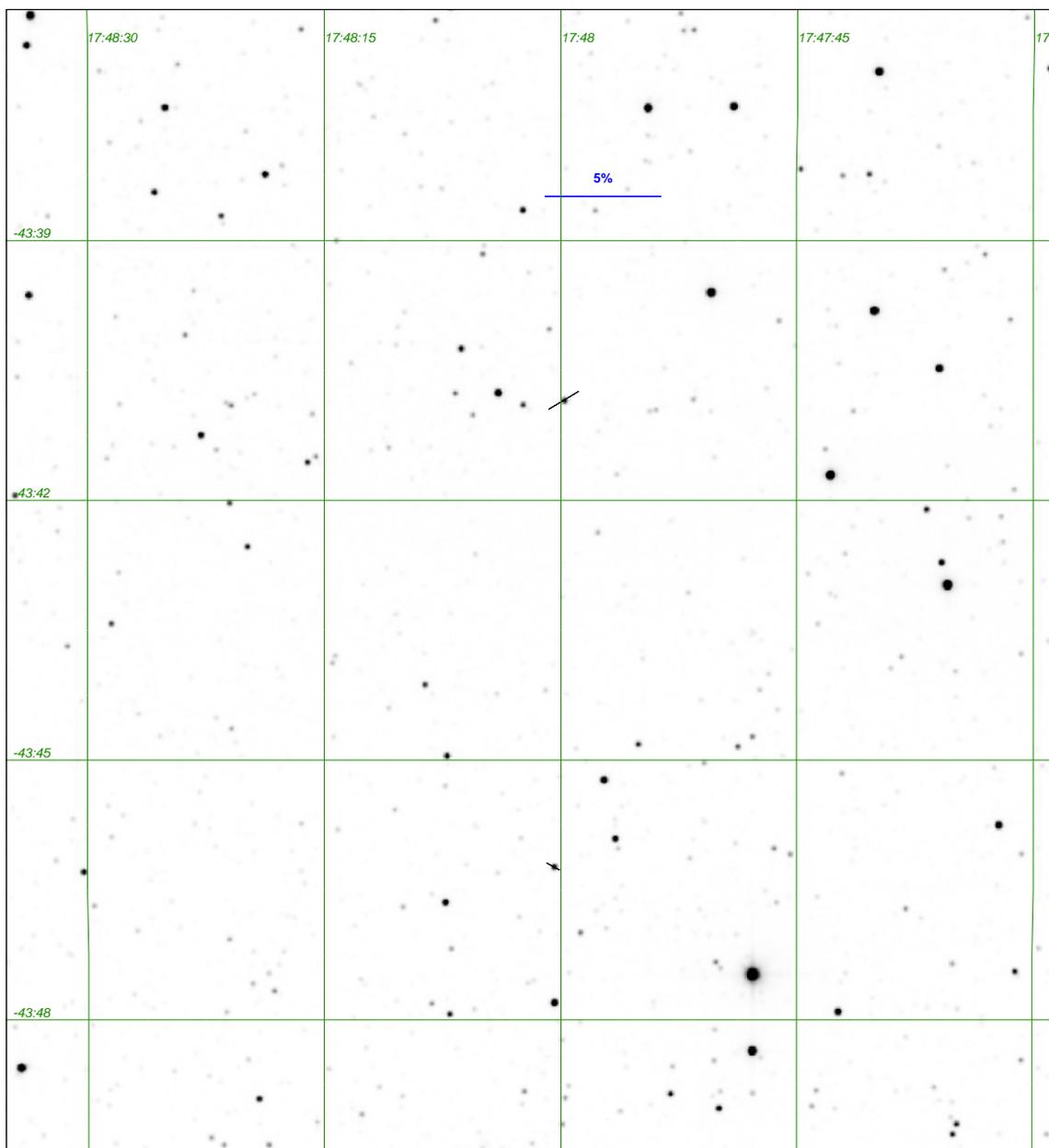


Figura A.30 - Mapa de polarização de BHR 145 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

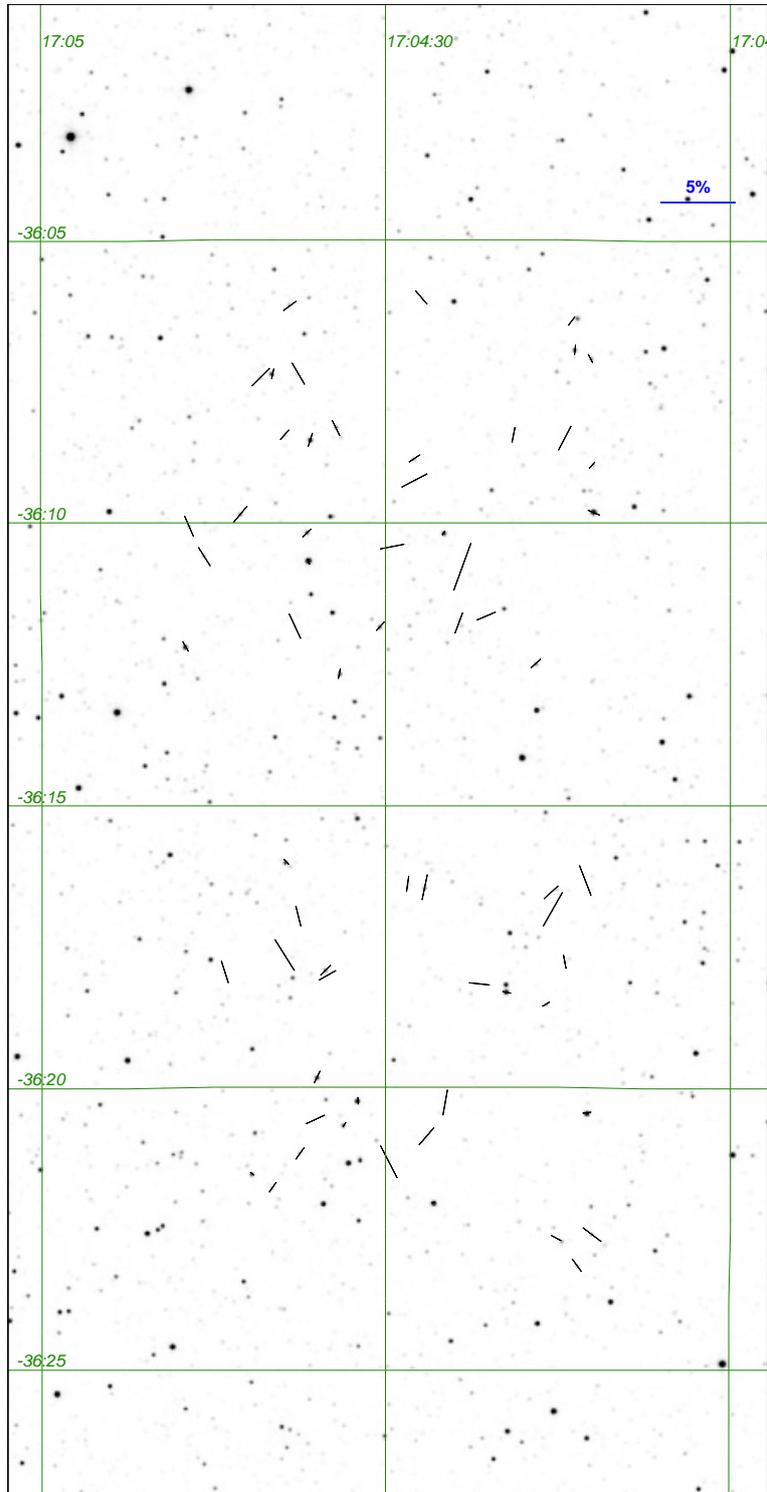


Figura A.31 - Mapa de polarização de BHR 148-151 na banda H sobreposto à imagem 2MASS- H da região.

APÊNDICE B - HISTOGRAMAS DE POLARIZAÇÃO DAS REGIÕES ESTUDADAS

B.1 Histogramas de polarização no óptico

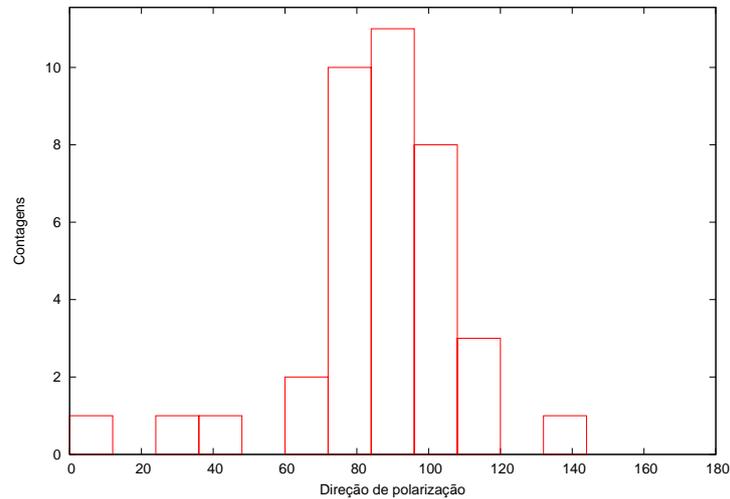


Figura B.1 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 016 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

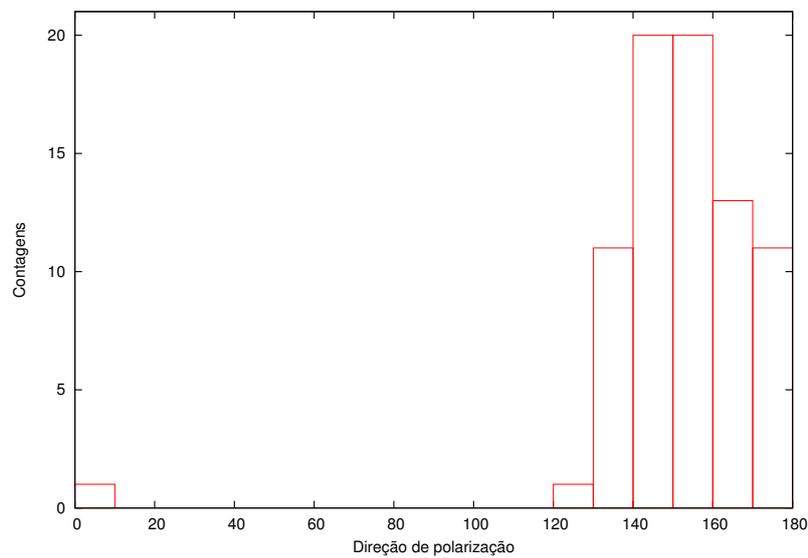


Figura B.2 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 034 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

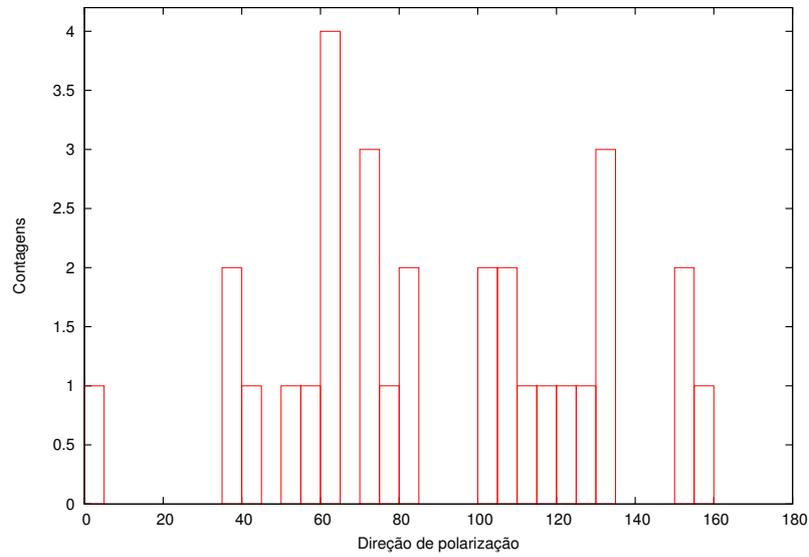


Figura B.3 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 044 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

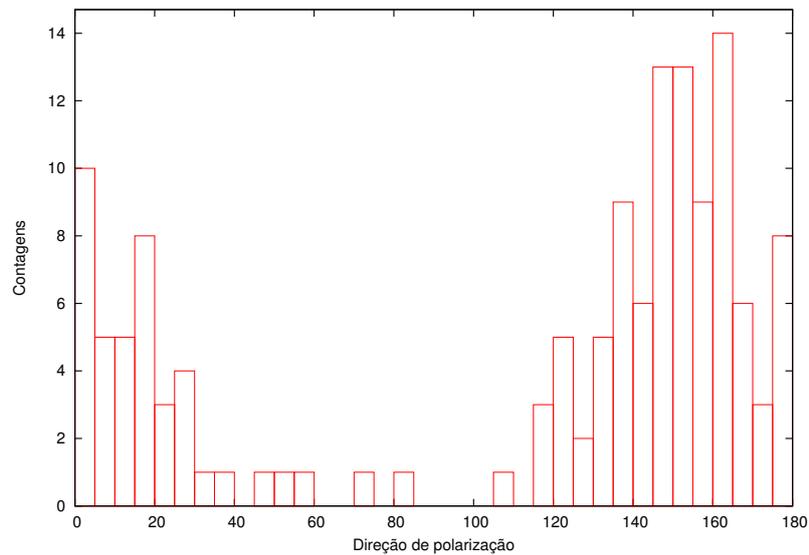


Figura B.4 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 053 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

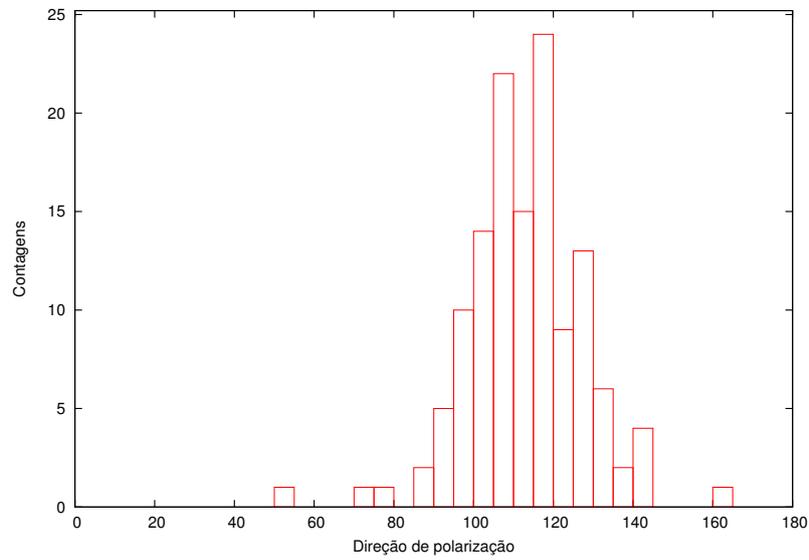


Figura B.5 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 058 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

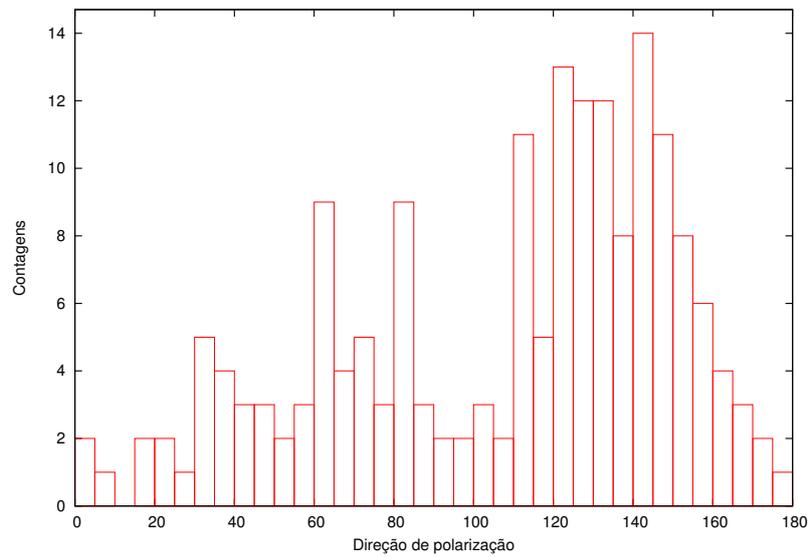


Figura B.6 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 059 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

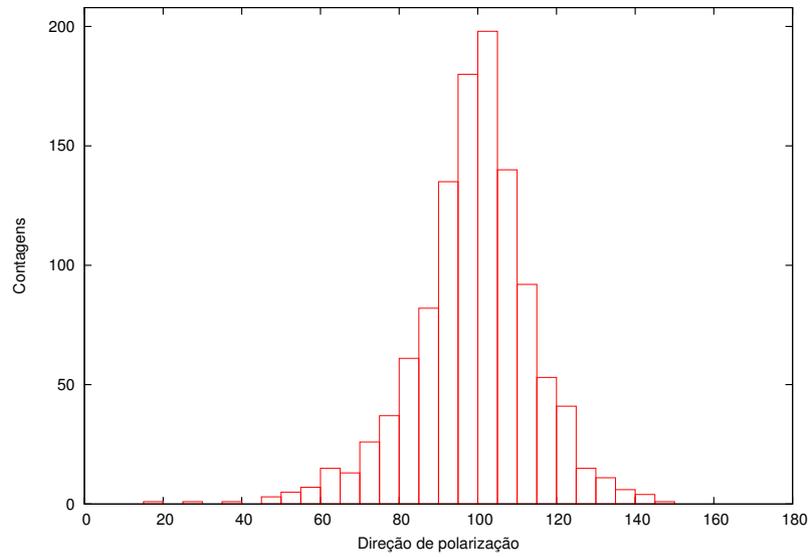


Figura B.7 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 074 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

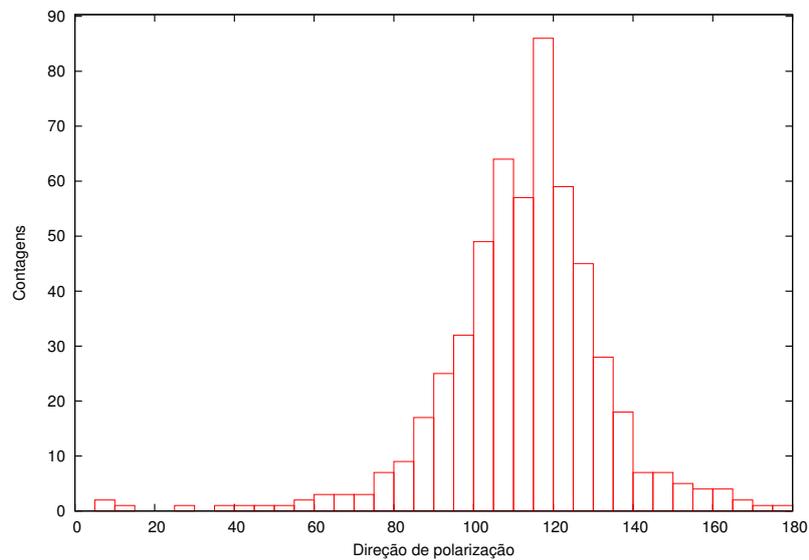


Figura B.8 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 075 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

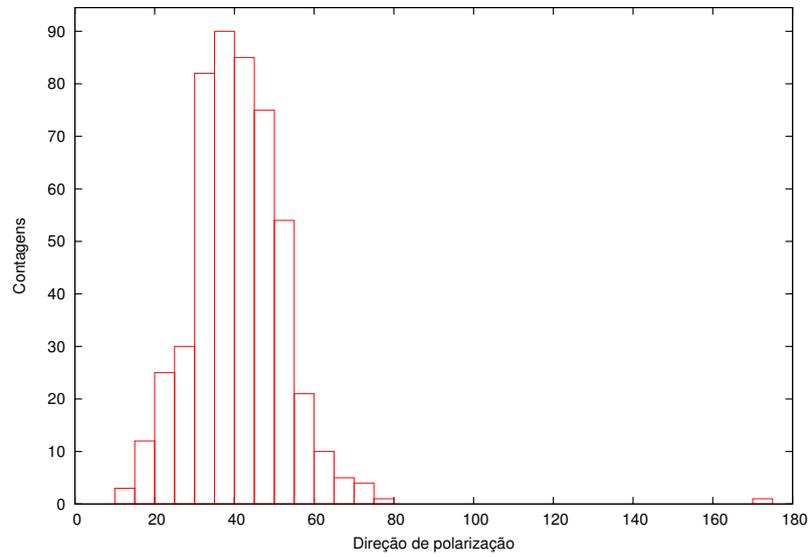


Figura B.9 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 111 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

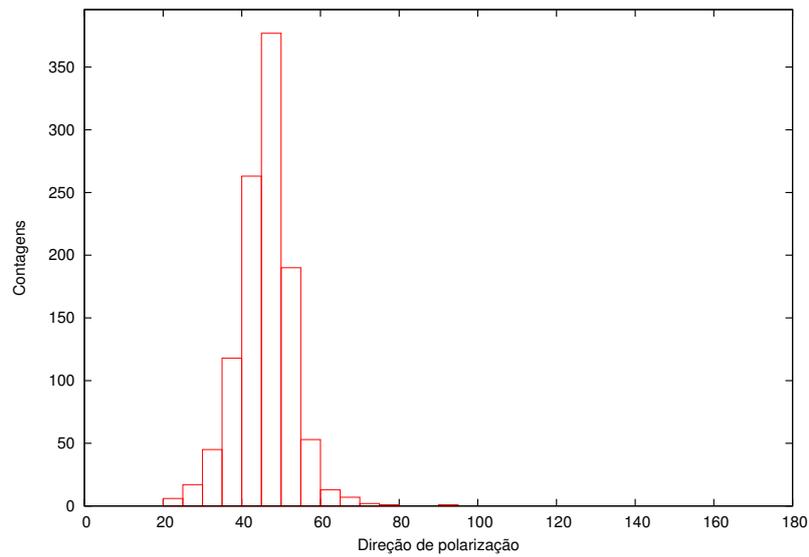


Figura B.10 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 113 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

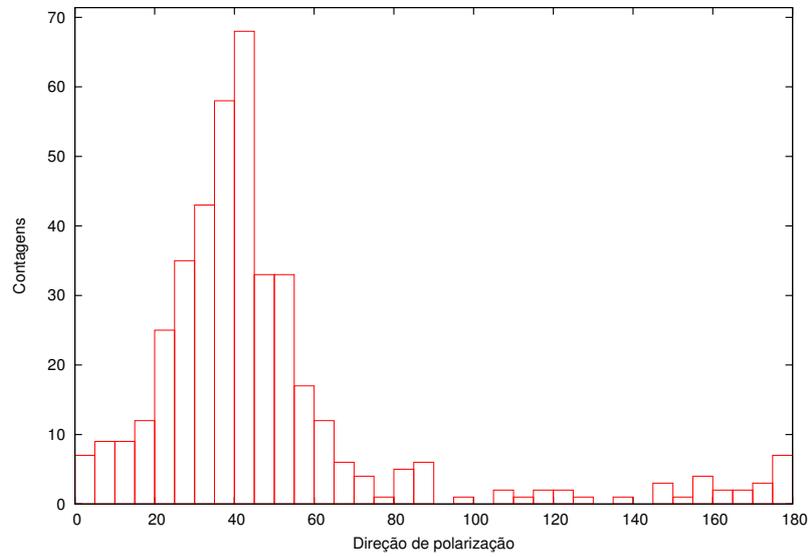


Figura B.11 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 117 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

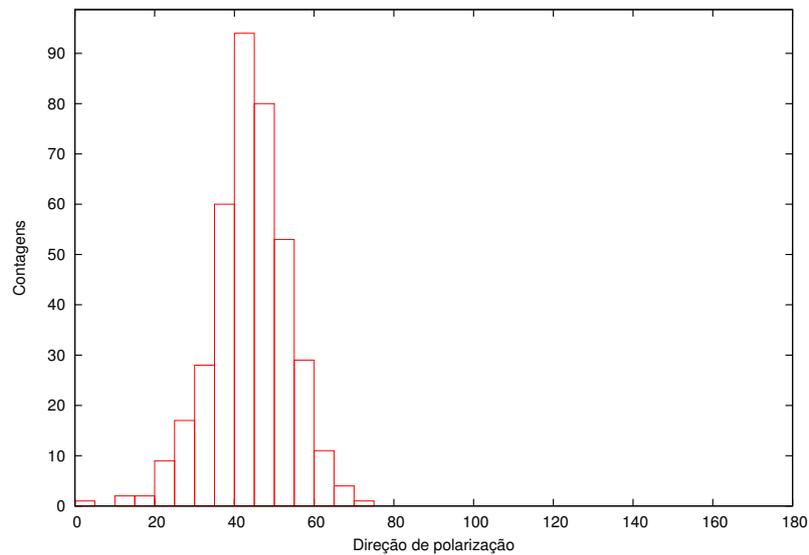


Figura B.12 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 121 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

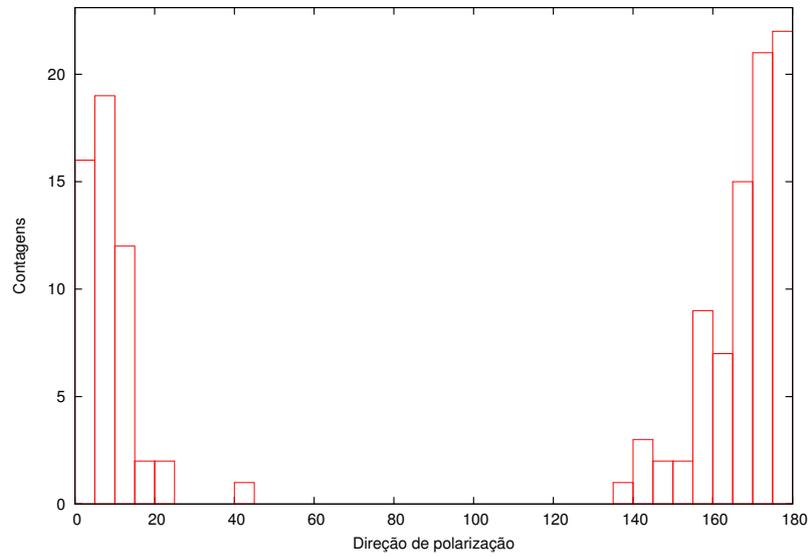


Figura B.13 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 126 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

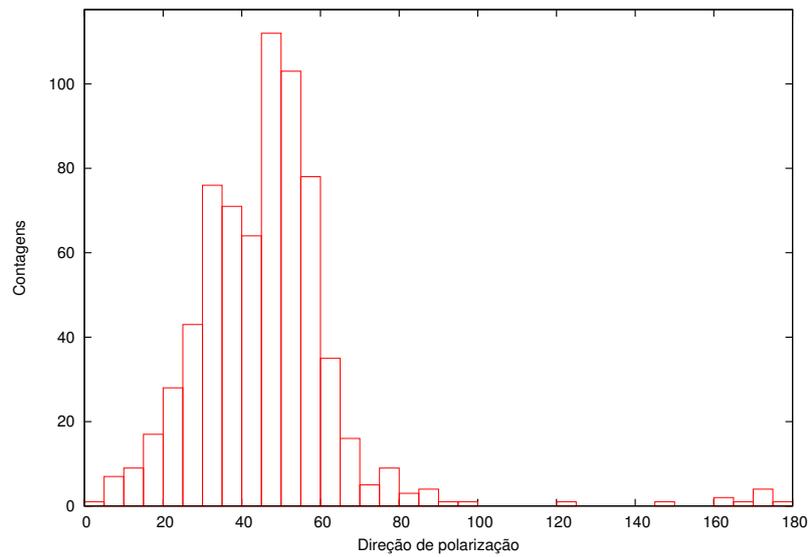


Figura B.14 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 133 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

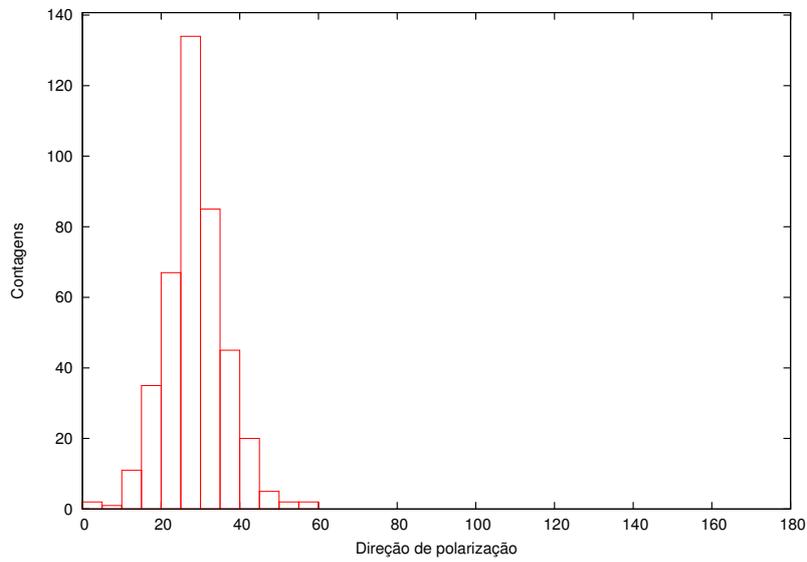


Figura B.15 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 138 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

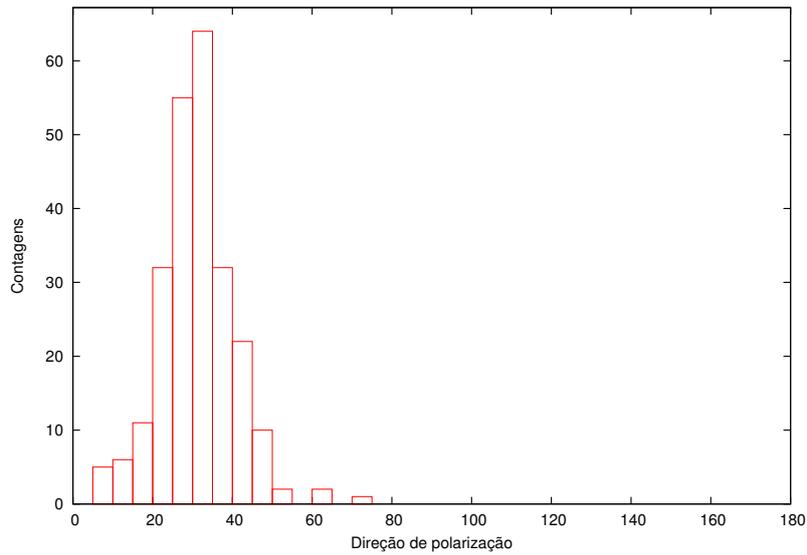


Figura B.16 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 139 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

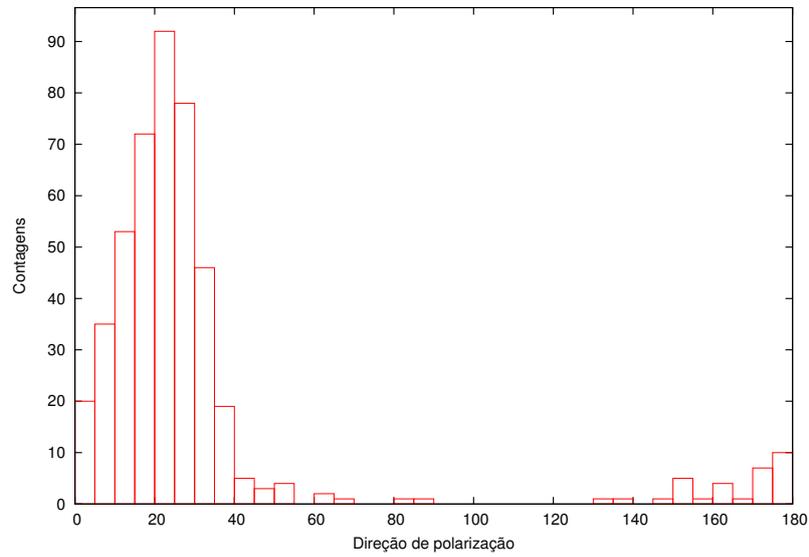


Figura B.17 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 140 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

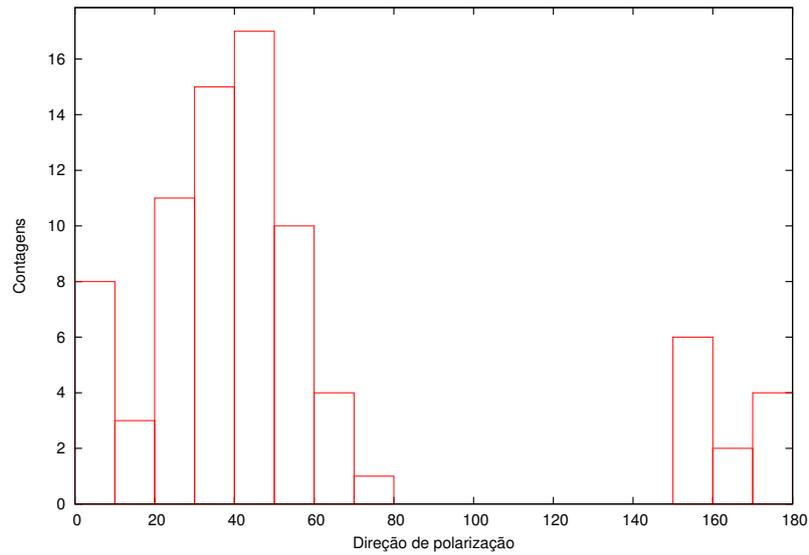


Figura B.18 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 144 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

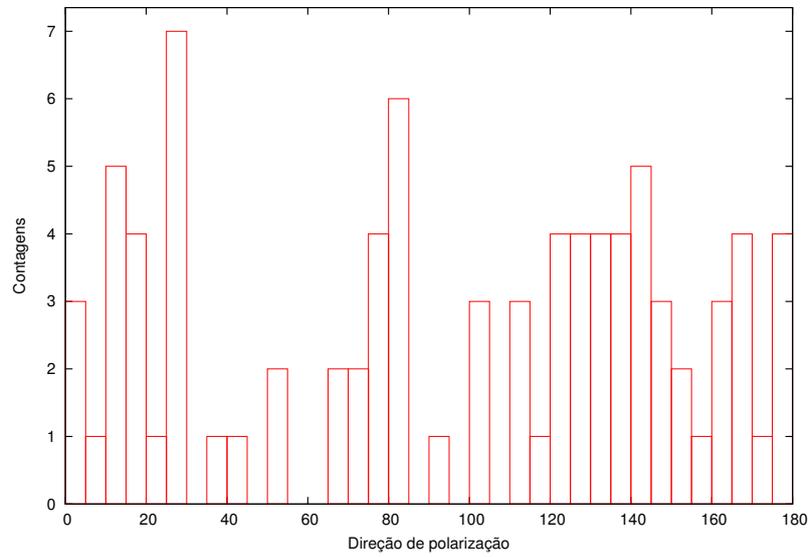


Figura B.19 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 145 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

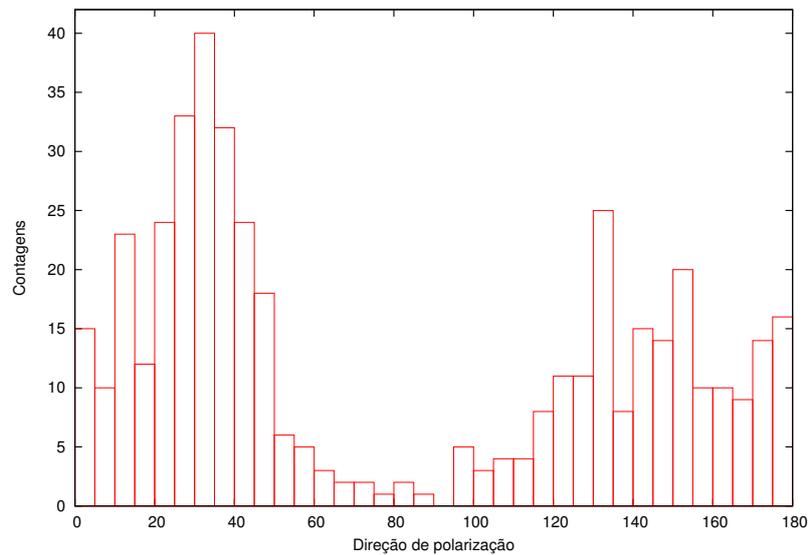


Figura B.20 - Histograma da direção de polarização da região contendo os glóbulos de Bok BHR 148-151 na banda I_c . Direção de polarização em graus.

B.2 Histogramas de polarização no infravermelho

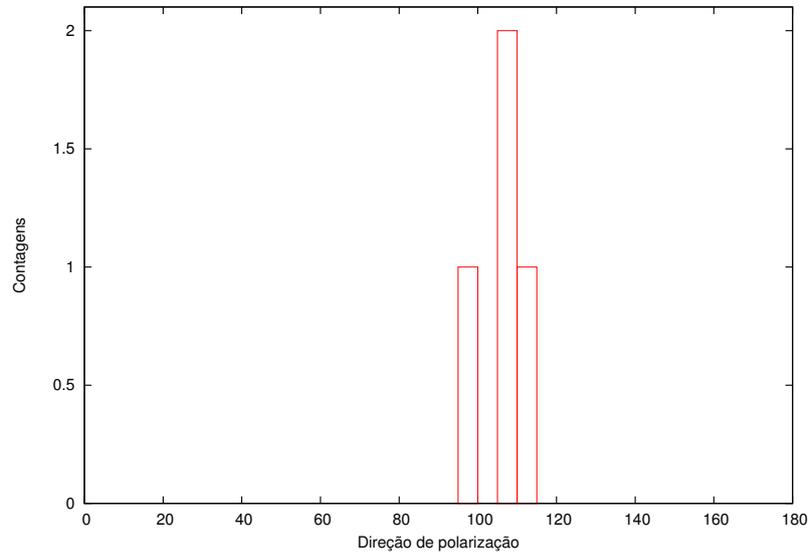


Figura B.21 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 016 na banda H . Direção de polarização em graus.

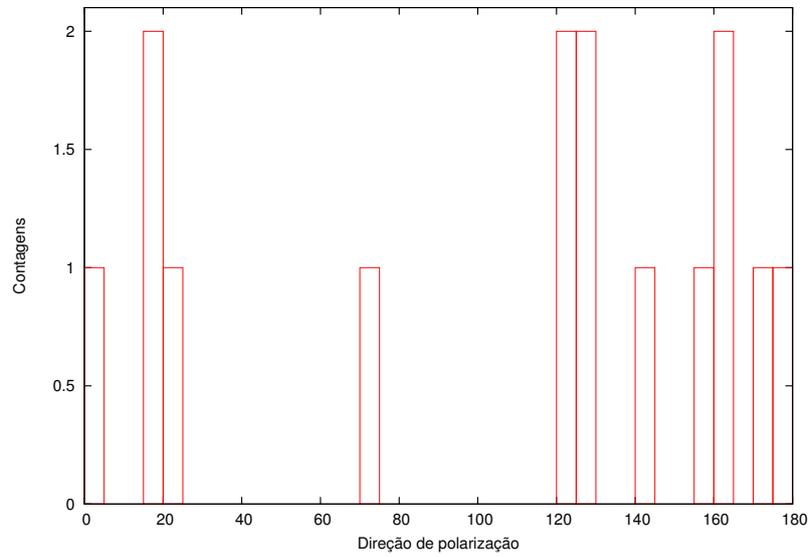


Figura B.22 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 034 na banda *H*. Direção de polarização em graus.

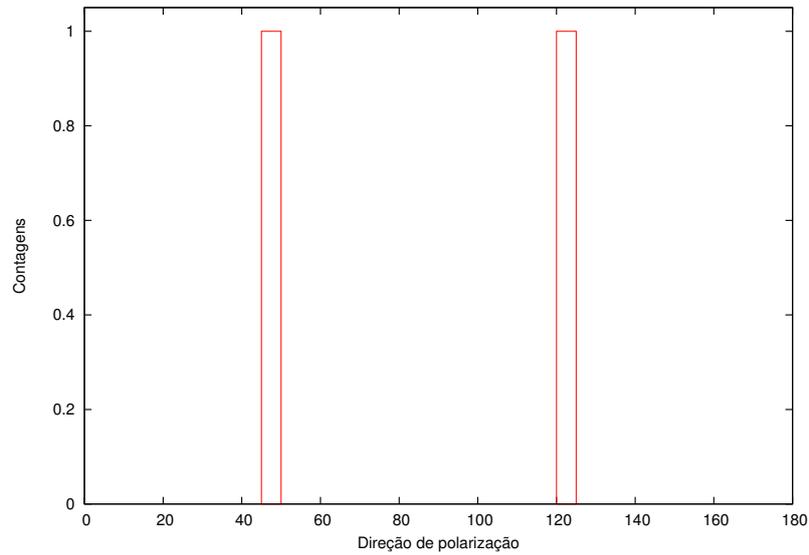


Figura B.23 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 044 na banda *H*. Direção de polarização em graus.

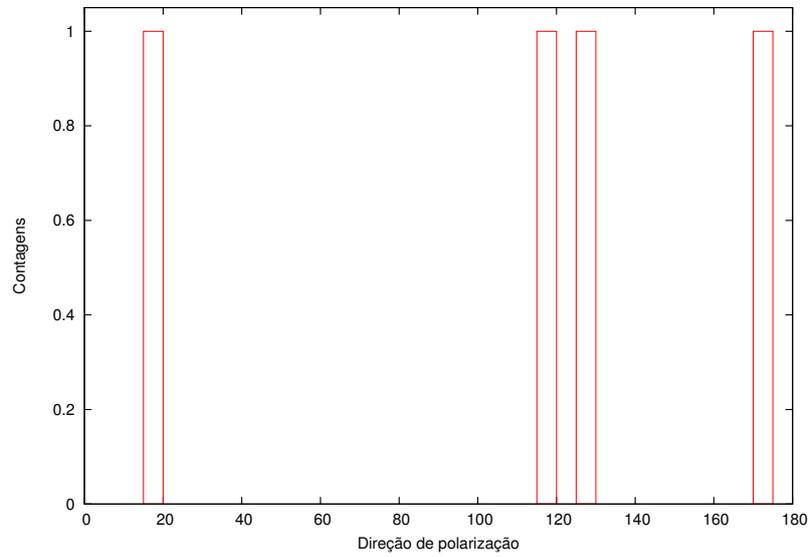


Figura B.24 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 059 na banda H . Direção de polarização em graus.

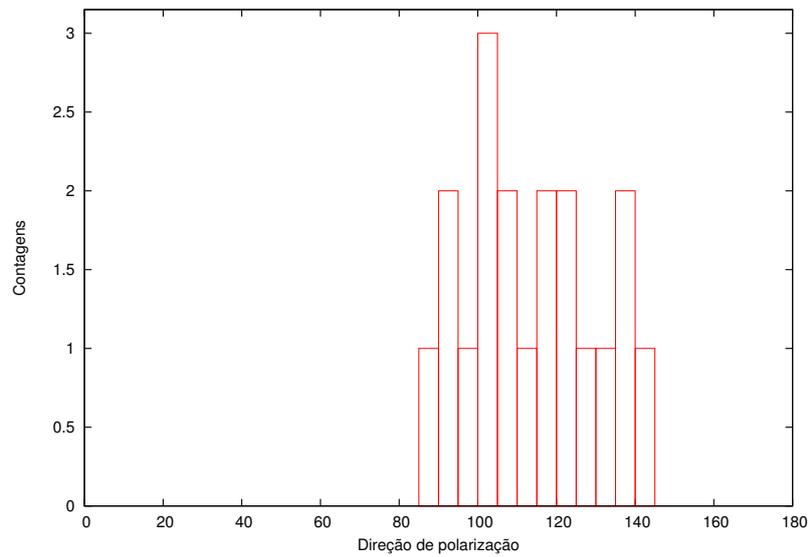


Figura B.25 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 074 na banda H . Direção de polarização em graus.

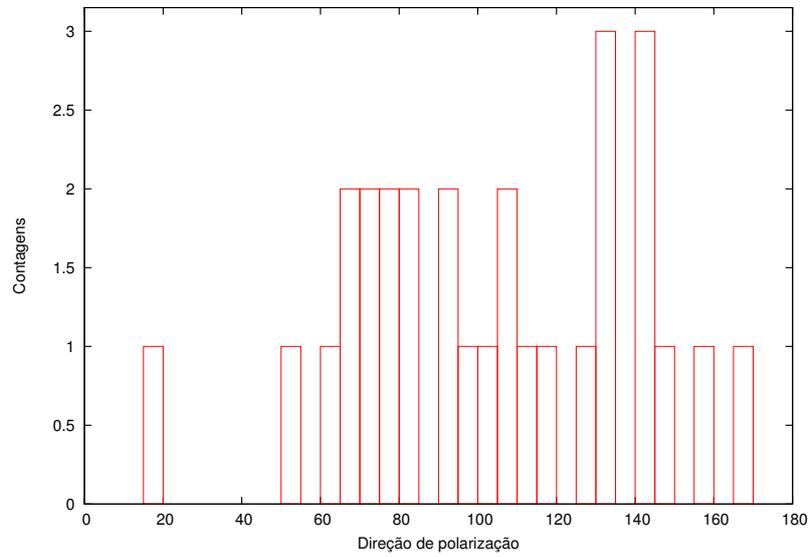


Figura B.26 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 075 na banda *H*. Direção de polarização em graus.

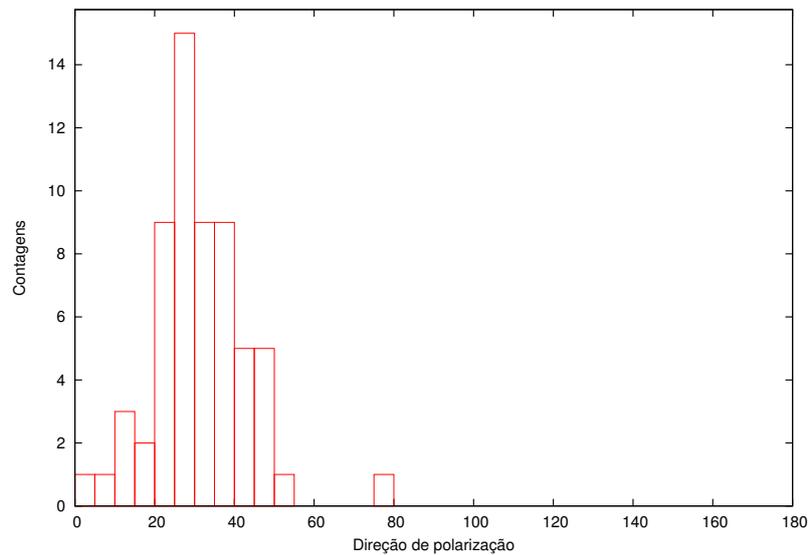


Figura B.27 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 111 na banda *H*. Direção de polarização em graus.

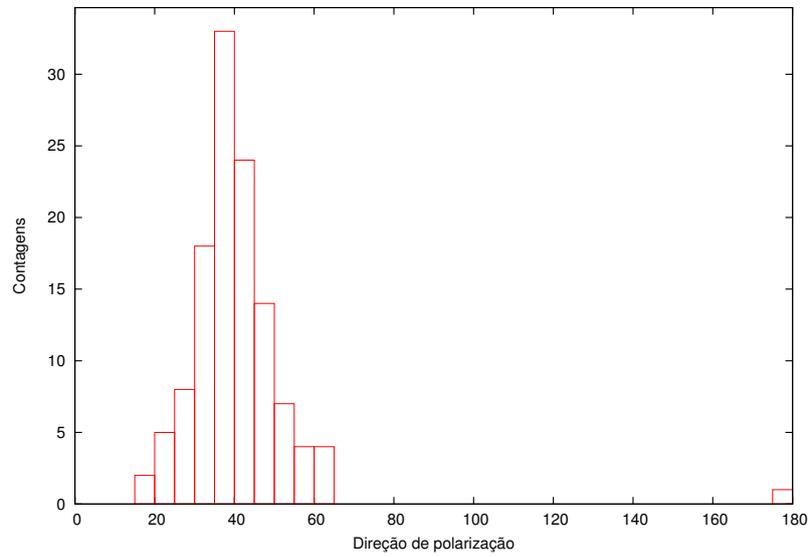


Figura B.28 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 113 na banda H . Direção de polarização em graus.

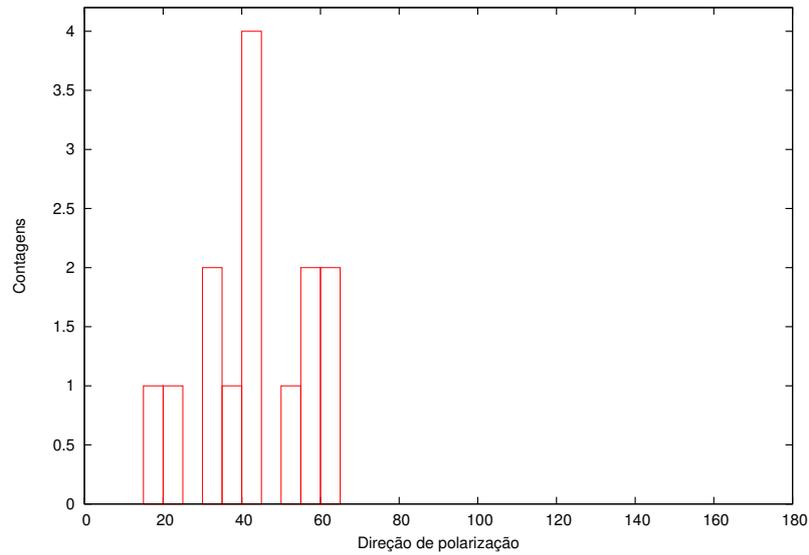


Figura B.29 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 121 na banda H . Direção de polarização em graus.

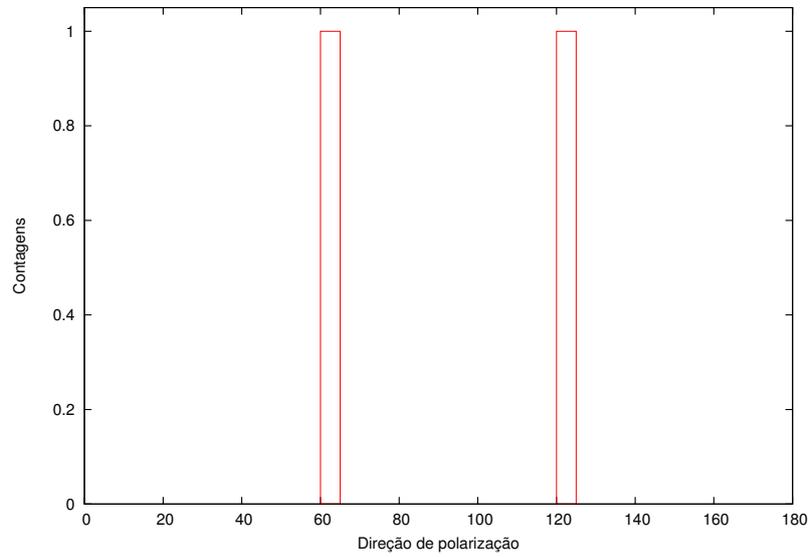


Figura B.30 - Histograma da direção de polarização da região contendo o glóbulo de Bok BHR 145 na banda H . Direção de polarização em graus.

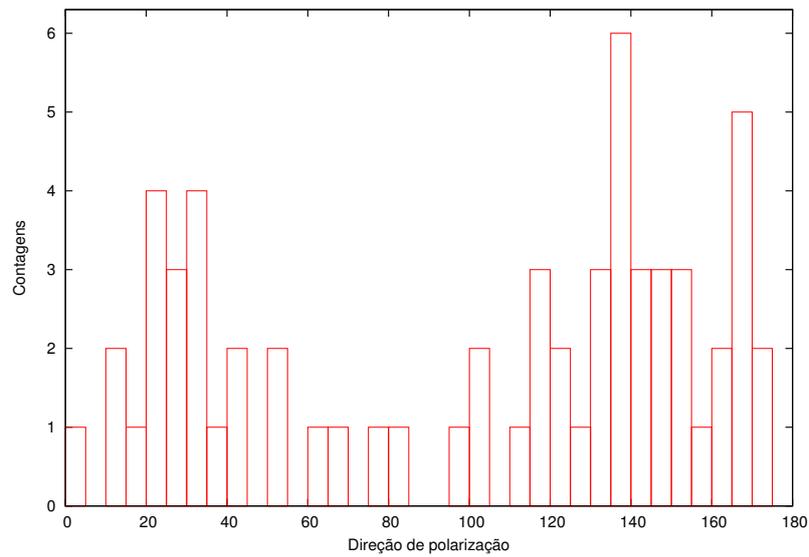


Figura B.31 - Histograma da direção de polarização da região contendo os glóbulos de Bok BHR 148-151 na banda H . Direção de polarização em graus.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.