

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

Tópicos sobre Formação e Estrutura da Via Láctea *

Liliane Lewis Xerxenevsky

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

Porto Alegre

Agosto, 2008

*Trabalho financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Para Felipe

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande de Sul pelo ensino gratuito e de qualidade.

Agrdeço ao Professor Bica pela orientação.

Agradeço ao programa LENAC pela oportunidade de estágio na Universidade de Durham. Agradeço ao Professor Carlton Baugh pela orientação nese intervalo e ao Angelo e à Dani pela ajuda na Inglaterra.

Agradeço à minha família por todo apoio, ao Felipe Ghellar pelo amor, carinho e compreensão.

Por fim, agrdeço a todos meus colegas de laboratório pela ajuda e pelos momentos felizes, em especial, agradeço ao queridos amigos Gustavo, Patrícia, Rogério e Fernando.

Liliane Lewis Xerxenevsky

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Agosto 2008

Resumo

A presente dissertação teve por objetivo estudar tópicos sobre formação e estrutura da Via Láctea. Para isso, o trabalho foi dividido em duas partes. Na primeira parte, estudamos a formação da Galáxia. Com o resultado do modelo semi-analítico de formação de galáxias desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Durham, o GALFORM, realizamos uma análise da formação de aglomerados globulares e comparamos os resultados com a distribuição de metalicidade de aglomerados globulares conhecidos da Galáxia. Apenas 8 das 1143 galáxias sintéticas apresentaram duplo pico de metalicidade, o qual ocorre na nossa Galáxia. Na segunda parte, compilei um catálogo com 4.380 objetos de nuvens moleculares, regiões HII ópticas e em rádio e nuvens escuras. Este é o maior catálogo com esses tipos de objetos já construído. Com o catálogo foi possível detectar um disco de alta rotação, além de nuvens com evidência de velocidades não circulares, sugerindo a presença de uma barra. Foi realizada também uma estimativa da curva de rotação central da Galáxia.

Abstract

The present work was aimed at studying topics about the formation and structure of the Milky Way. The work was divided into two parts. In the first part, we studied the formation of the Galaxy. With the outcome of the semi-analytical model for galaxy formation developed by researchers at the Durham's University, GALFORM, we analysed the globular cluster formation and compared the results with the metallicity distribution of globular clusters known in our Galaxy. Only 8 of 1143 synthetic galaxies had double peak of metallicity, which occurs in our Galaxy. In the second part, we built a catalog with 4,380 entries including molecular clouds, optical and radio HII regions and dark nebulae. This is the largest catalog with these types of objects built so far and it was possible to detect a high velocity disk and clouds with non-circular motion, suggesting the presence of a bar. We also estimated the central rotation curve of the Galaxy.

Sumário

Agradecimentos	ii
Sumário	v
Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	viii
1 Introdução	1
1.1 Noção de Galáxia	1
1.2 A Via Láctea	4
1.2.1 Bojo	4
1.2.2 Discos Fino e Espesso	5
1.2.3 Estrutura Espiral	6
1.2.4 Halo Estelar	7
1.2.5 Halo Escuro	7
1.2.6 Aglomerados Globulares	8
1.3 Teorias de Formação de Galáxias	8
1.3.1 Colapso Monolítico	9
1.3.2 Universo Hierárquico	9
1.4 Modelo de Formação de Galáxias – GALFORM	10
1.4.1 Introdução ao GALFORM	10
1.4.2 Evolução da Matéria Escura	11
1.4.3 Evolução da Matéria Bariônica	12
1.4.4 Formação Estelar nos Discos	13
1.5 Objetivos	16
2 Busca de uma Via Láctea no GALFORM	17
2.1 Massa	19

3	Análise da Formação de Aglomerados Globulares	22
3.1	Transformação a número de globulares	22
3.1.1	Massa x Metalicidade	23
3.2	Histograma de Metalicidade	25
3.2.1	Via Láctea	25
3.2.2	Galáxias Sintéticas	26
4	Construção do Catálogo	30
4.1	Introdução	30
4.2	Fontes de Dados	31
4.3	Processamento do Catálogo	33
4.3.1	<i>Scripts</i>	34
4.4	Histogramas	35
4.4.1	<i>Scripts</i>	35
4.4.2	Análise dos Histogramas	38
4.5	Diagramas (l,v)	46
4.6	Análise da parte central da Galáxia	49
4.6.1	Interpretação das Altas Velocidades Centrais	51
4.6.2	Curva de Rotação Central	53
5	Conclusão	55
	Apêndice A Tabela de referências	57
	Apêndice B Extração dos Catálogos	61
	Referências Bibliográficas	66

Lista de Tabelas

2.1	Fração de massa das componentes da Galáxia segundo modelos de Kuijken & Dubinski (1995)	20
2.2	Número de galáxias encontradas no GALFORM com fração de massa de suas componentes (Bojo, Halo e Disco) compatíveis com modelos de Kuijken & Dubinski (1995)	20
3.1	Comparação das fração de massas das componentes da Via Láctea (modelo C de Kuijken & Dubinski (1995), seção 2.1) e frações de massa da galáxia sintética número 666	28
A.1	Fontes de objetos e/ou velocidades	57
B.1	Extração do Catálogo de Nuvens Moleculares	61
B.2	Extração do Catálogo de Nuvens Escuras	62
B.3	Extração do Catálogo de Regiões HII Óticas	63
B.4	Extração do Catálogo de Regiões HII em Rádio	65

Lista de Figuras

1.1	Esboço da Via Láctea mostrando o halo de matéria escura (preto), halo estelar (azul), disco espesso (verde), disco fino (amarelo), bojo (vermelho) e aglomerados globulares (círculos brancos).	4
1.2	Esboço dos braços espirais da Via Láctea: 4 braços. Adaptado de http://zebu.uoregon.edu/ima2/lecture-2.html	6
1.3	Exemplo de histórico de formação de halos (Baugh, 2006)	13
1.4	Canais de transferência de massa e metais no gás	14
2.1	Galáxia 436, taxa de formação estelar do bojo	18
2.2	Galáxia 590, taxa de formação estelar do bojo	18
2.3	Galáxia 263, taxa de formação estelar do disco	18
2.4	Galáxia 680, taxa de formação estelar do disco	18
3.1	Massa X metalicidade de aglomerados globulares galácticos (McLaughlin & van der Marel, 2005)	23
3.2	Massa x metalicidade de aglomerados globulares Galácticos (Bonatto & Bica, não publicado)	24
3.3	Histograma de metalicidade de aglomerados globulares (Harris, 1996)	25
3.4	Galáxia 434	26
3.5	Galáxia 593	26
3.6	Galáxia 606	26
3.7	Galáxia 666	26
3.8	Galáxia 729	27
3.9	Galáxia 738	27
3.10	Galáxia 743	27
3.11	Galáxia 806	27
3.12	Via Láctea.	28
3.13	Galáxia 666.	28
4.1	Extração do catálogo original	32

4.2	Exemplo do resultado da extração de velocidades do catálogo original. . . .	33
4.3	Exemplo dos cálculos de velocidade média (coluna 3) e desvios padrão (coluna 4) de velocidades radiais do catálogo original.	33
4.4	<i>Script</i> que extrai velocidades	34
4.5	<i>Script</i> que calcula velocidade média e desvio padrão	35
4.6	<i>Script</i> que separa catálogo em arquivos pela sua longitude	36
4.7	<i>Script</i> que gera histogramas através do programa Octave	37
4.8	Histogramas de velocidade radial de nuvens moleculares.	38
4.9	Histogramas de velocidade radial de regiões HII ópticas.	39
4.10	Histogramas de velocidade radial de regiões HII em rádio.	40
4.11	Histogramas de velocidade de nuvens escuras.	41
4.12	Histograma central das nuvens moleculares	42
4.13	Histograma central das regiões HII ópticas	44
4.14	Histograma central das regiões HII em rádio	45
4.15	Histograma central das nuvens escuras.	46
4.16	Braço espiral interno hipotético.	47
4.17	Diagrama (l,v) do braço espiral interno hipotético.	47
4.18	Diagrama (l,v) para toda a amostra. Braços e componentes conhecidos são indicados. Os ramos simétricos em forma de "S" indicam a rotação do disco Galáctico.	48
4.19	Ampliação da Figura 4.18 incluindo longitudes entre -50 e +50 graus. O pico central de altas velocidades é evidente.	49
4.20	Ampliação da região central da Galáxia com longitudes entre -5 e +5 graus. Os ramos simétricos em forma de "S" neste caso indicam a rotação do disco central com altas velocidades radiais.	50
4.21	Exemplificação do rebatimento de nuvens para melhorar a estatística da amostra.	52
4.22	Ampliação da região central da Galáxia com longitude até 7 graus. As nuvens entre $353 < l < 360$ estão rebatidos e superpostas.	52
4.23	As setas mostram as velocidade máximas que são tangentes às orbitas . . .	53
4.24	Curva de rotação central da Via Láctea estimada. Sem a correção geométrica das velocidades pelo afastamento angular das nuvens em relação ao centro. Essa correção é desprezível até aproximadamente 3 kpc do centro.	54

Capítulo 1

Introdução

1.1 Noção de Galáxia

Em noites límpidas, sem lua e longe das luzes artificiais das cidades, pode-se observar uma faixa cruzando o céu de horizonte a horizonte. Segundo a mitologia grega, esse aparente rio esbranquiçado era atribuído ao leite que jorrou do seio de Hera, mulher de Zeus. Quando a rainha do Olimpo amamentou seu filho Hércules, o futuro herói sugou o leite com tanta força que parte dele subiu aos céus formando a “gala” (galáxia), vocábulo que significa leite em grego. Os Romanos denominavam essa extensa “estrada leitosa” de *Via Lactea*.

Em 1609, Galileu Galilei foi um dos primeiros homens a apontar um telescópio, instrumento então recém inventado, para o céu. O que o astrônomo descobriu foi que o “caminho de leite” era na verdade composto de um grande número de estrelas que não podiam ser resolvidas a olho nú.

Um século mais tarde, Immanuel Kant fez suposições inovadoras em seu livro “História Natural Genérica e Teoria dos Céus”. O filósofo alemão argumentou que a Via Láctea teria a forma de um disco, similar ao Sistema Solar, mas em maior escala. Isso porque a força da gravidade entre as estrelas seria a mesma que entre o Sol e os planetas. Um sistema então tomaria a forma de um disco, caso um movimento de rotação contrabalançasse a gravidade, que atua em direção ao centro do disco. O disco explica a forma de uma grande faixa, como observamos a Via Láctea no céu. Finalmente, Kant supôs que a nossa Galáxia não seria o único sistema estelar existente. Algumas das nebulosas elípticas seriam estruturas similares à Galáxia, mas vistas por ângulos diferentes. Esses objetos Kant denominou Universos-Ilhas.

Com o aumento do poder dos telescópios, muitos desses objetos começaram a ser observados em maiores detalhes. No final do século XVIII, Charles Messier, astrônomo francês que estudava cometas, catalogou 109 objetos brilhantes no céu. Alguns desses

objetos são até hoje conhecidos pela referência dada por Messier. A catalogação de objetos estava apenas começando.

William Hershell e sua família compilaram mais de 5000 objetos em ambos os hemisférios. Eles identificaram estrelas individuais em algumas das nuvens, porém outras continuavam sem resolução, isto é, aparentando serem nuvens gasosas. Estas últimas poderiam ser os Universos-Ilhas de Kant que, por estarem tão distantes, não eram observadas nitidamente com os telescópios disponíveis na época.

Ao longo do século XIX, novos catálogos de nebulosas “estelares” e “gasosas” foram produzidos. Em 1888, John Dreyer publicou o *New General Catalogue (NGC)*, uma compilação de 7840 objetos. Mais tarde, Dreyer adicionou mais 5086 objetos e formou o *Index Catalogue (IC)*.

Enquanto a tecnologia dos telescópios continuava avançando, as observações mostravam cada vez mais detalhes das nebulosas. Com a inclusão da fotografia na astronomia, no início do século XX, Jacobus Kapteyn estudou 200 áreas do céu e inferiu a distribuição espacial de estrelas em três dimensões. Kapteyn também fez a primeira estimativa do tamanho da Via Láctea e concluiu que estaríamos localizados aproximadamente no centro de um sistema que estende-se cinco vezes mais na direção paralela ao centro do que na direção perpendicular com tamanho de 40.000 anos-luz (Kapteyn, 1922). Hoje em dia, sabemos que o Sistema Solar encontra-se aproximadamente a um terço do caminho entre o centro e a borda do disco Galáctico. O que induziu Kapteyn ao erro foi que ele não levou em conta os efeitos de absorção da luz das estrelas pela poeira interestelar, o que resulta em erros na distância de objetos.

Quem finalmente construiu uma visão mais correta da Via Láctea foi Harlow Shapley. Em um estudo (Shapley, 1918), o astrônomo estudou em detalhe aglomerados globulares. Shapley demonstrou que a distribuição destes objetos não é uniforme: há uma simetria na distribuição em relação ao plano do disco e uma maior concentração em direção à constelação de Sagitário, onde fica localizada a parte mais brilhante da Via Láctea. Shapley concluiu que o Sol estava a 15 kpc do centro da distribuição e, portanto, fora do centro da Via Láctea. Apesar de uma descrição mais correta da nossa galáxia, Shapley não acreditava que algumas das nebulosas seriam outras galáxias.

Um astrônomo também norte-americano chamado Heber Curtis, do Observatório de Lick, havia estudado as nebulosas espirais e estava convencido da natureza extragaláctica desses objetos. Em 1920, Shapley e Curtis se encontraram na Academia de Ciências para discutir a natureza das nebulosas espirais e o tamanho do Universo. Tal encontro ficou conhecido como “O Grande Debate”.

Três anos mais tarde, o astrônomo Edwin Hubble, com o recém construído telescópio de 2,5 metros de abertura do Mt. Wilson, observou estrelas variáveis cefeidas na nebulosa de Andrômeda. Usando a já conhecida relação período-luminosidade das estrelas cefeidas

(Leavitt & Pickering, 1912), Hubble calculou que Andrômeda deveria estar a 300 kpc de nós e, portanto, fora da Via Láctea. Anos mais tarde, Hubble chamou a atenção para o fato de que a Via Láctea fazia parte de um pequeno grupo de galáxias, o qual chamou de Grupo Local (Baade, 1944).

Nas próximas subseções descrevemos nosso objeto principal de estudo: a Via Láctea. Primeiramente, relataremos as componentes da nossa Galáxia: bojo, halo estelar, halo escuro, disco e os aglomerados globulares, fundamentais para o estudo da evolução química Galáctica.

Em seguida, as principais teorias de formação de galáxias, colapso monolítico e hierárquica, são explicadas.

Por fim, descrevemos brevemente o funcionamento do GALFORM, código que gerou as galáxias sintéticas utilizadas neste trabalho. O GALFORM foi desenvolvido por Cole et al. (2000) da Universidade de Durham, Reino Unido e utiliza a abordagem semi-analítica em um universo hierárquico para reproduzir a formação e evolução de galáxias.

1.2 A Via Láctea

A Via Láctea, assim como muitas galáxias espirais, possui várias componentes estruturais: bojo estelar, disco fino estelar e gasoso, disco espesso estelar, halo estelar e halo de matéria escura. Esses componentes, apesar de fazerem parte da mesma galáxia, possuem diferentes propriedades. A seguir, discutiremos estas componentes.

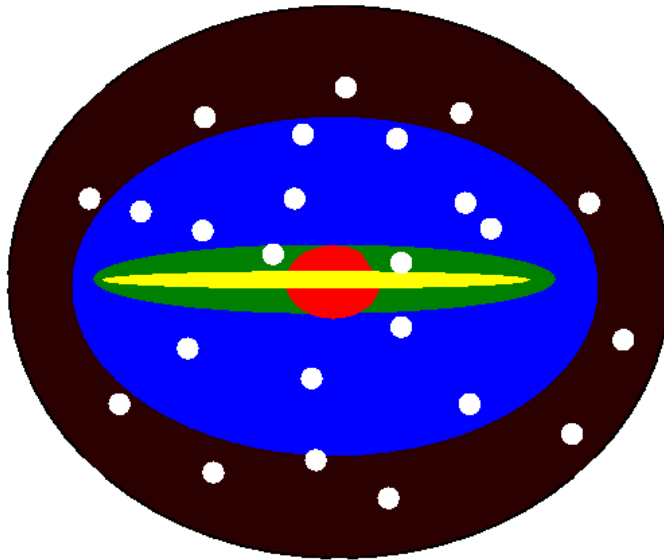


Figura 1.1: Esboço da Via Láctea mostrando o halo de matéria escura (preto), halo estelar (azul), disco espesso (verde), disco fino (amarelo), bojo (vermelho) e aglomerados globulares (círculos brancos).

1.2.1 Bojo

Os bojos são a parte central dos esferóides presentes em muitas galáxias. A grande maioria das galáxias luminosas possui bojo, enquanto as de pouca luminosidade, em geral, não têm. Grandes bojos são similares, tanto estruturalmente quanto quimicamente, a galáxias elípticas: a distribuição de brilho superficial cai com uma lei de $r^{1/4}$, enquanto que bojos pequenos têm uma distribuição de brilho superficial caindo exponencialmente (Freeman & Bland-Hawthorn, 2002).

O bojo da Via Láctea tem a forma de um esferóide achatado envolvendo o núcleo com dimensão de razões de eixos de 1:0.35:0.26 (Minniti & Zoccali, 2008). O estudo da distribuição de idade e metalicidade do bojo da Galáxia é fundamental para nosso entendimento da estrutura e formação das galáxias, pois é o único sistema estelar do seu tipo na nossa vizinhança, o que permite o estudo detalhado individual de estrelas.

Diagramas cor-magnitude mostram que estrelas do bojo Galáctico são predominantemente velhas (Ortolani et al., 1995). Quanto à metalicidade, McWilliam & Rich (1994) estudaram a abundância de estrelas gigantes vermelhas e concluíram que a distribuição em $[\text{Fe}/\text{H}]$ ¹ varia entre -1 a $0,45$ e com média de $-0,25$ (McWilliam & Rich, 1994). Esses valores são bastante altos, comparados com os valores médios para o halo e seus aglomerados globulares e com valores próximos ao de estrelas ricas em metais presentes no disco.

Para observar o bojo, deve-se olhar, em geral, em comprimentos de onda no infravermelho porque a grande quantidade de poeira presente no disco da Galáxia absorve comprimentos óticos, exceto em latitudes galácticas relativamente altas do bojo. Um exemplo de lugares onde o bojo é ópticamente transparente é a janela de Baade (Terndrup, 1988). Para o estudo de velocidades na região central da Galáxia, usam-se principalmente moléculas de CO, que absorvem no comprimento de onda de $2,3\mu\text{m}$.

Há ainda evidências da presença de um barra estelar estendendo-se $2,5$ kpc do centro Galáctico (Babusiaux & Gilmore, 2005). Estudos iniciais sugeriram que essa barra estaria associada ao bojo, mas que provavelmente pertence ao disco pois, recentemente, Cabrera-Lavers et al. (2007) acharam a mesma barra com extensão $4,5$ kpc com os dados do 2MASS.

1.2.2 Discos Fino e Espesso

O disco galáctico é composto de uma parte estelar, gás e poeira e está presente em galáxias espirais (incluindo barradas) e galáxias lenticulares não estando presente em galáxias elípticas, anãs e algumas galáxias peculiares. Estudar o disco galáctico é de suma importância porque é lá onde está a maioria dos bárions em galáxias espirais.

A Via Láctea possui, dentro de um raio de aproximadamente 25 kpc, dois discos essencialmente coplanares, com diferentes densidades, metalicidades, achatamentos e velocidades (Buser, 2000).

O primeiro, chamado de disco fino, possui 90% dos bárions, é um disco jovem com $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -0,5$ a $+0,3$ (Freeman & Bland-Hawthorn, 2002). Suas estrelas, na vizinhança Solar, possuem órbitas aproximadamente circulares com velocidade de rotação de $\approx 220\text{kms}^{-1}$ e velocidades médias perpendiculares ao plano de $\approx 20\text{kms}^{-1}$. Essa baixa velocidade vertical na região do Sol permite que as estrelas se distanciem tipicamente ≈ 300 pc do plano do disco.

O segundo disco, chamado de disco espesso, é menos denso, menos brilhante, mais velho e com $[\text{Fe}/\text{H}] \approx -2,2$ a $+0,5$ (Freeman & Bland-Hawthorn, 2002), isto é, as estrelas do disco espesso são, em média, mais pobres em metais do que as estrelas do disco fino. Essas estrelas possuem, em geral, altas velocidades verticais, o que permite que a sua espessura seja da ordem de 1kpc , três vezes maior que a do disco fino.

¹ $[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10}\left(\frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}}\right)_{\text{estrela}} - \log_{10}\left(\frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}}\right)_{\text{sol}}$

1.2.3 Estrutura Espiral

A maioria das galáxias com disco apresentam ainda uma estrutura espiral. Um exemplo é a própria Via Láctea. Mas, para nós, fica difícil observar a estrutura espiral da Galáxia, pois estamos localizados no próprio disco galáctico, cercado de poeira interestelar que bloqueia a luz visível.

Até hoje não foi estabelecido o número de braços espirais da Via Láctea. O modelo mais aceito recentemente propõe que a Galáxia possui quatro braços espirais principais (Russeil, 2003). Resultados do telescópio *Spitzer* deste ano indicam que a Via Láctea possui dois grandes braços ².

O Sol coincide espacialmente com um braço muito pequeno chamado de braço local, ou braço de Órion, localizado entre dois grandes braços: o braço mais interno chamado de Sagittarius-Carina e o mais externo chamado de Perseus. A densidade de estrelas na vizinhança solar é de ≈ 1 estrela/ pc^3 diminuindo para $\approx 0,2$ estrelas/ pc^3 a 600pc em direção ao centro Galáctico e aumentando para ≈ 1 a 2 – 3 estrelas/ pc^3 no braço de Sagittarius-Carina (Binney & Merrifield, 1998).

Há ainda um braço mais externo, chamado de Norma-Cygnus, e um outro interno ao braço Sagittarius-Carina, chamado de Scutum-Crux. Um esboço desses braços pode ser visto na Figura 1.2.

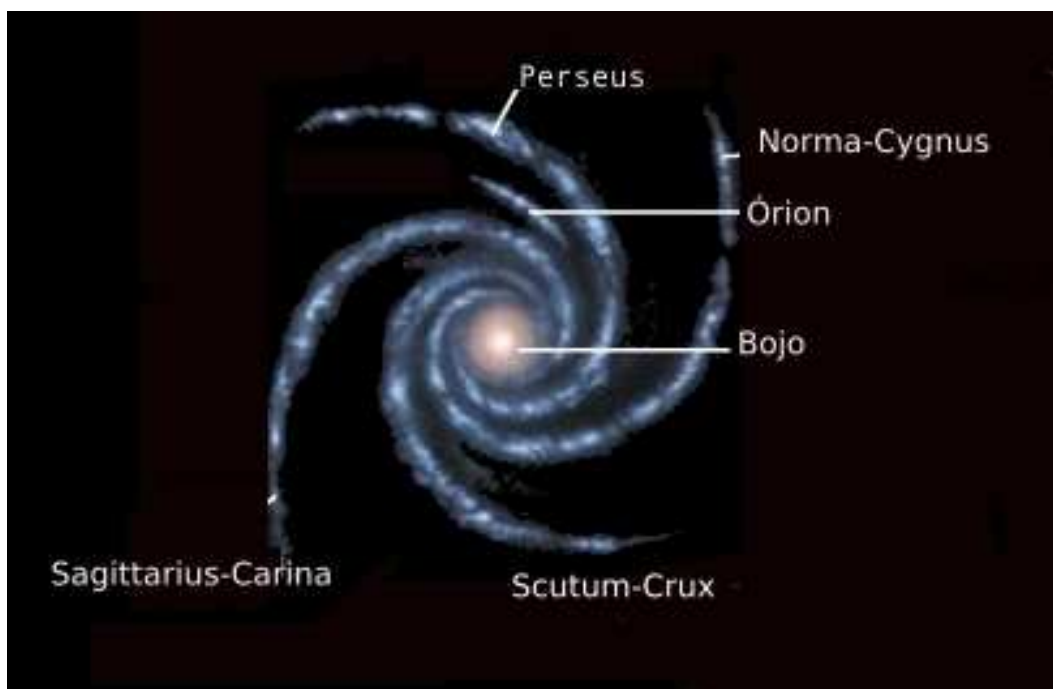


Figura 1.2: Esboço dos braços espirais da Via Láctea: 4 braços. Adaptado de <http://zebu.uoregon.edu/imamura/123/lecture-2/lecture-2.html>

²<http://www.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2008-10/release.shtml>

A estrutura espiral pode ser mapeada através da determinação da distribuição de estrelas e gás do disco. O gás é composto principalmente por hidrogênio atômico neutro (HI), que pode ser observado no comprimento de onda de 21 cm em rádio. Quando o hidrogênio está perto de estrelas muito quentes, ele é ionizado e se torna visível como uma nebulosa gasosa brilhante de emissão, a qual chamamos de região HII. As regiões HII estão associadas a regiões de formação estelar contendo estrelas massivas que evoluem muito rápido, e são, portanto, ótimos traçadores da estrutura espiral. A classificação morfológica de galáxias foi tradicionalmente baseada em fotografias.

Além de hidrogênio atômico e ionizado, há ainda moléculas no meio interestelar como o H₂ (hidrogênio molecular) e o CO (monóxido de carbono), entre outras.

O H₂ produz linhas no ultravioleta que são difíceis de serem observadas devido à extinção de meio interestelar. O H₂ também produz linhas facilmente observadas no infravermelho próximo, como observadas em espectros de galáxias (Riffel et al., 2006).

O CO, por sua vez, emite em ondas de rádio, sendo muito mais fácil a sua detecção pois essas ondas passam facilmente através do gás e poeira. As estrelas se formam dentro de nuvens de CO, chamadas de nuvens moleculares.

1.2.4 Halo Estelar

O halo estelar é um sistema esferoidal muito tênue. Ainda assim, é possível observá-lo em outras galáxias como as do Grupo Local entre outras e, inclusive, detectar estrelas individuais. O Halo da Via Láctea estende-se por ≈ 100 kpc e é composto por aglomerados globulares pobres em metais e estrelas de campo que são também pobres em metais e velhas. Ao contrário do disco e do bojo, o halo estelar possui *momentum* angular aproximadamente nulo. Atualmente, acredita-se que o halo da Via Láctea tenha se formado, pelo menos parcialmente, pela acreção de pequenas galáxias satélites pobres em metais que sofreram algum tipo de evolução química antes de serem acrescentadas pela Galáxia (Searle & Zinn, 1978).

1.2.5 Halo Escuro

O halo escuro pode ser detectado apenas pelo seu campo gravitacional. Ele foi proposto quando curvas de rotação de galáxias foram estudadas e foi percebido que as galáxias deveriam ter muito mais massa do que a matéria luminosa fornecia para produzir as velocidades das estrelas observadas (Volders, 1959, Bosma, 1978). Na Via Láctea, o halo escuro contribui com pelo menos 90% da massa total da galáxia (Freeman & Bland-Hawthorn, 2002).

1.2.6 Aglomerados Globulares

Aglomerados globulares podem ser definidos como conjuntos de estrelas velhas ($\tau \geq 10$ Ganos) unidas gravitacionalmente na forma de um esferóide e podem ser encontrados usualmente nas regiões esferoidais de uma dada galáxia (Harris, 1991). Em algumas fusões de galáxias podem se formar aglomerados globulares jovens. Os aglomerados globulares são objetos compactos (raio a meia luz de tipicamente de 1-3 pc) e possuem massas típicas de $10^4 - 10^6 M_{\odot}$ (Brodie & Strader, 2006).

Na Via Láctea, são conhecidos aproximadamente 160 aglomerados globulares, com metade deles residindo dentro de 5 kpc, podendo chegar a além de 100 kpc do centro galáctico (Bica et al., 2007). Os aglomerados globulares galácticos constituem uma fração insignificante de luz e 2% da massa do halo estelar atual (Freeman & Bland-Hawthorn, 2002).

Cada aglomerado globular corresponde, geralmente, a uma única geração de estrelas formadas da mesma nuvem de gás e, portanto, possuem a mesma metalicidade.

Na década de 1950, foi sugerido que algumas galáxias possuem duas populações distintas de aglomerados globulares (Kinman, 1959, Morgan, 1959). Essa idéia foi amplamente aceita quando Zinn (1985) derivou propriedades de aglomerados globulares e encontrou que as duas populações possuíam metalicidade, cinemática, estrutura e distribuição espacial diferentes.

Os aglomerados pobres em metais ($[Fe/H] < -0,8$) possuem uma distribuição espacial aproximadamente esférica e quase nenhuma rotação, enquanto que os aglomerados ricos em metais ($[Fe/H] > -0,8$) têm uma distribuição achatada, uma rotação maior e, portanto, foram inicialmente associados ao disco. Mais tarde, os aglomerados globulares ricos em metais foram associados com o bojo devido a suas metalicidades e idades [Minniti & Zoccali (2008), Barbuy et al. (1998), Côté (1999)]. Estes objetos também já foram associados com uma barra central da Galáxia (Burkert & Smith, 1997).

Os aglomerados globulares formados nas fases iniciais da Via Láctea são testemunhas de sua formação e, portanto, são uma poderosa ferramenta na análise da formação e evolução da Galáxia.

1.3 Teorias de Formação de Galáxias

Existem basicamente dois cenários de formação de galáxias: cenário monolítico e cenário hierárquico. No primeiro, a formação de uma galáxia se dá a partir do colapso de uma única nuvem proto-galáctica. No segundo, as galáxias teriam sido formadas a partir de sucessivas fusões de estruturas menores.

A seguir, apresentamos detalhes sobre cada um destes modelos.

1.3.1 Colapso Monolítico

O trabalho de Eggen et al. (1962) forneceu as primeiras idéias sobre a formação da Via Láctea. Neste estudo, parâmetros orbitais como excentricidade e *momentum* angular foram calculados a partir de dados de velocidade de 221 estrelas da vizinhança solar. Eles demonstraram a existência de correlações entre os parâmetros das órbitas e a metalicidade das estrelas. Por exemplo, estrelas com baixa metalicidade apresentavam órbitas bastante excêntricas, enquanto que estrelas com alta metalicidade apresentavam órbitas aproximadamente circulares.

Uma outra correlação encontrada foi entre a velocidade e metalicidade das estrelas. Estrelas pobres em metais tinham grandes velocidades perpendiculares ao plano do disco, enquanto que as ricas em metais estavam concentradas no plano do disco da Galáxia. As estrelas mais metálicas apresentavam também maiores momentos angulares do que as desprovidas de metais.

Um fato muito importante para que Eggen *et. al.* concluíssem que o colapso realmente ocorreu, foi a demonstração de que se a galáxia já estava em equilíbrio dinâmico quando as primeiras estrelas se formaram, elas deveriam estar mais próximas ao centro da Via Láctea e, portanto, precisariam de uma grande fonte de energia cinética para passarem a ter órbitas excêntricas cruzando a vizinhança do Sol, como são observadas hoje em dia.

A partir desses cálculos, surgiu o modelo de formação de galáxias chamado de colapso monolítico. Há aproximadamente 10^{10} anos a nuvem proto-galáctica começou a colapsar. Durante a contração, a densidade de matéria aumentava cada vez mais e as primeiras estrelas começaram a se formar seguindo órbitas excêntricas. O colapso da Galáxia na direção radial foi finalmente parado pela rotação, enquanto que na direção perpendicular continuou gerando um disco. A evolução das primeiras estrelas levou ao enriquecimento químico do gás remanescente através das supernovas. No primeiro momento, o gás seguia a órbita das estrelas que eram formadas a partir dele. Quando o conjunto ficava mais próximo do centro da Galáxia, com a energia ganha das colisões com outras nuvens, o gás era estabelecido em órbita circular. As gerações posteriores de estrelas enriquecidas pelas gerações anteriores seguiam órbitas circulares, enquanto que as primeiras gerações mantiveram suas órbitas excêntricas produzidas pelo colapso.

1.3.2 Universo Hierárquico

O modelo hierárquico de formação de galáxias tem como pressuposto principal que estruturas cósmicas crescem através de instabilidades gravitacionais. A base dos modelos hierárquicos surgiu quando White & Rees (1978) produziram um modelo de formação de galáxias a partir da teoria de Press & Schechter (1974), a qual descreve a hierarquia das estruturas e o esfriamento do gás para resultar em galáxias dos tamanhos observados.

O processo de formação de galáxias descrito por White & Rees (ver também Baugh 2006) é composto por dois estágios. Em primeiro lugar, os halos escuros se formaram em um colapso gravitacional sem dissipação de energia e as galáxias, por sua vez, se formaram dentro destas estruturas.

Alguns anos mais tarde, modelos que calcularam a evolução da matéria escura e dos bárions começaram a ser produzidos. Dois métodos foram desenvolvidos para este propósito. No primeiro, chamado de simulações diretas, as equações da hidrodinâmica e equações gravitacionais em um universo em expansão são resolvidas diretamente usando uma ou mais técnicas numéricas desenvolvidas nos últimos 25 anos. No segundo, chamado modelo semi-analítico, a evolução da componente bariônica é calculada usando simples modelos semi-analíticos, enquanto que a evolução da matéria escura é calculada utilizando também simulações de N-corpos ou técnicas de Monte Carlo, que seguem a formação dos halos de matéria escura por fusão hierárquica.

O primeiro modelo semi-analítico foi produzido por White & Frenk (1991) e incluía muitos ingredientes como matéria escura fria, esfriamento do gás, formação estelar e populações estelares.

Ao longo dos anos 90, o modelo semi-analítico foi aprimorado por dois núcleos principais, um em Munique, Alemanha, e outro em Durham, Inglaterra (Cole et al., 2000).

Para o presente trabalho, empregamos as galáxias sintéticas geradas a partir do modelo semi-analítico de formação de galáxias hierarquicamente descrito por Cole et al. (2000), chamado GALFORM.

1.4 Modelo de Formação de Galáxias – GALFORM

Nesta seção descrevemos o modelo semi-analítico GALFORM de Cole et al. (2000). Esse código calcula a formação e a evolução de galáxias em um modelo de universo cosmológico λ CDM, isto é, matéria escura fria com constante cosmológica, e utiliza um algoritmo de Monte Carlo para seguir a evolução das fusões de halos de matéria escura.

1.4.1 Introdução ao GALFORM

O GALFORM é um programa criado para calcular a formação e evolução de galáxias. Para formular esse modelo, foi preciso utilizar modelo cosmológico junto com uma série de descrições de processos físicos.

O modelo cosmológico adotado é o λ CDM e os parâmetros cosmológicos são: o parâmetro de densidade de massa total, $\Omega_0 = 0,3$, o parâmetro de densidade de bárions, $\Omega_b = 0,02$, a constante cosmológica, $\Lambda_0 = 0,7$ e a constante de Hubble, $H_0 = 100 h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ com o valor $h = 0,7$.

A descrição dos processos físicos depende do tipo de matéria tratada. Isso porque a evolução da matéria escura e a evolução da matéria bariônica são calculadas de maneiras distintas.

A matéria escura sofre a ação apenas das forças gravitacional e fraca. Isso implica que não há interação eletromagnética que poderia causar a dissipação de energia. A forma como o GALFORM implementa a descrição de fenômenos gravitacionais que causam o crescimento hierárquico dos halos é através do algoritmo de Monte Carlo.

A matéria bariônica, por sua vez, sofre a ação de forças que podem dissipar energia tornando a descrição desses fenômenos envolvidos bem mais complicada, uma vez que muitos desses processos físicos são ainda pouco compreendidos em comparação com a matéria escura e requerem muitas simplificações inevitáveis.

A seguir, mostraremos como é calculada a evolução de cada componente.

1.4.2 Evolução da Matéria Escura

O histórico de formação de halos de matéria escura, também chamado de árvore de fusão, é calculado através do método estatístico de Monte Carlo e segue os seguintes passos:

- escolhe-se aleatoriamente um conjunto de halos em t_2 . Esses halos são separados em dois progenitores, cuja razão de massas é arbitrária;
- calcula-se a fração de massas, $f(M_1, M_2)dM_1$, em halos de massa M_2 em t_2 que, no tempo anterior t_1 , estavam em halos com massa no intervalo M_1 e $M_1 + dM_1$;
- tomando o limite $t_1 \rightarrow t_2$ de $f(M_1, M_2)dM_1$, obtemos a fração de massa esperada de um halo de massa $M_2(t_2)$ que está em halos de massa $M_1(t_1)$;

$$\overline{f}_{12} = \frac{df_{12}}{dt_1}|_{t_1 \rightarrow t_2} dM_1 dt_1$$

- obtém-se o número médio de progenitores de massa M_1 em função de M_1

$$\frac{dN}{dM_1} = \frac{df_{12}}{dt_1} \frac{M_2}{M_1} dt_1$$

- defini-se uma resolução de massa, M_{res} ;
- calcula-se o número de fragmentos com massa M_1 no intervalo $M_{res} < M_1 < M_2/2$ em t_1 e que em t_2 estão em um halo de massa M_2 :

$$P = \int_{M_{res}}^{M_2/2} \frac{dN}{dM_1} dM_1$$

- calcula-se a fração de massa com massa abaixo da resolução no tempo t_1 e que compõe halos de massa M_2 em t_2 :

$$F = \int_0^{M_{res}} \frac{dN}{dM_1} \frac{M_1}{M_2} dM_1$$

Definidas as quantidades acima, a construção da árvore começa:

- escolhe-se um dt_1 tal que $P \ll 1$ para que não ocorram múltiplos fragmentos com o halo de massa M_2 em t_2 ,
- gera-se um número aleatório, R , entre 0 e 1;
- se $R > P$, ou seja, se o número sorteado for maior que o número de fragmentações, o halo M_2 não se fragmenta. Entretanto, a massa M_2 é reduzida para $M_2(1 - F)$ para descontar a massa acrescida na formação de halos com massa abaixo da massa de resolução;
- se $R < P$, então um valor aleatório de massa M_1 é gerado no intervalo de $M_{res} < M_1 < M_2/2$ e produz dois novos halos com massa M_1 e $M_2(1 - F) - M_1$

A mesma operação é repetida em cada fragmento em sucessivos passos. Note que a construção dos halos é feita voltando no tempo. Todas as equações citadas estão detalhadas em Cole et al. (2000).

A Figura 1.3 mostra um exemplo de um histórico de formação de halos. As fusões são sempre binárias, mas se sucessivas fusões ocorrerem em um intervalo de tempo menor que intervalo Δt , será como se tivessem ocorrido múltiplas fusões.

1.4.3 Evolução da Matéria Bariônica

Nesta seção, discutimos como o GALFORM calcula a formação e a evolução da matéria bariônica. A matéria bariônica compõem os esferóides (halo estelar e bojo) e podem ainda formar discos. No caso do GALFORM, a parte esferoidal é apenas bojo da galáxia, pois a formação de um halo estelar não é implementada.

Para a formação dos esferóides são incluídos o tratamento de fricção dinâmica, fusão entre outros halos, *momentum* angular e características dos halos.

Na formação do disco são tratadas questões como distribuição de gás quente, enriquecimento químico, *momentum* angular e formação estelar.

Como no presente trabalho utilizamos somente as informações da formação estelar fornecidas pelo GALFORM, discutiremos as galáxias sintéticas do GALFORM com maiores detalhes. Questões como a formação dos discos e dos esferóides em si podem ser encontradas em Cole et al. (2000).

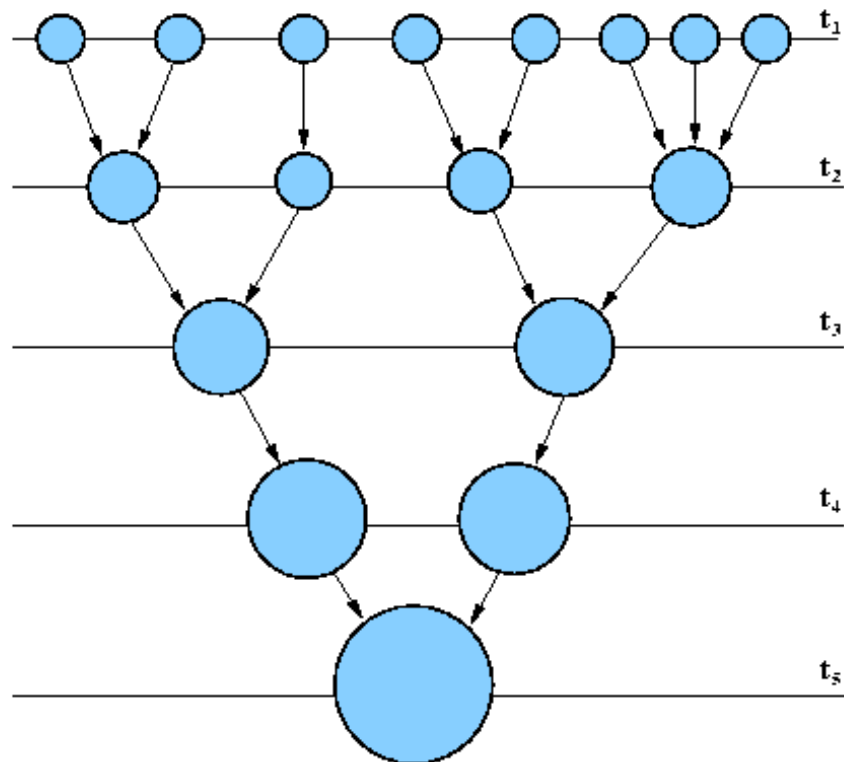


Figura 1.3: Exemplo de histórico de formação de halos (Baugh, 2006)

1.4.4 Formação Estelar nos Discos

A formação estelar no GALFORM é modelada considerando que há três “fases” do gás nas galáxias: gás frio (*cold*), gás quente (*hot*) e gás estelar, ou seja, gás que formou estrelas.

O gás frio tanto pode formar estrelas, quanto pode reaquecer devido à energia gerada por explosões de supernovas ou estrelas jovens. O gás quente pode esfriar.

A Figura 1.4 de Cole et al. (2000) descreve os vários canais nos quais massa (linha contínua) e metais (linha pontilhada) são transferidos entre as três fases.

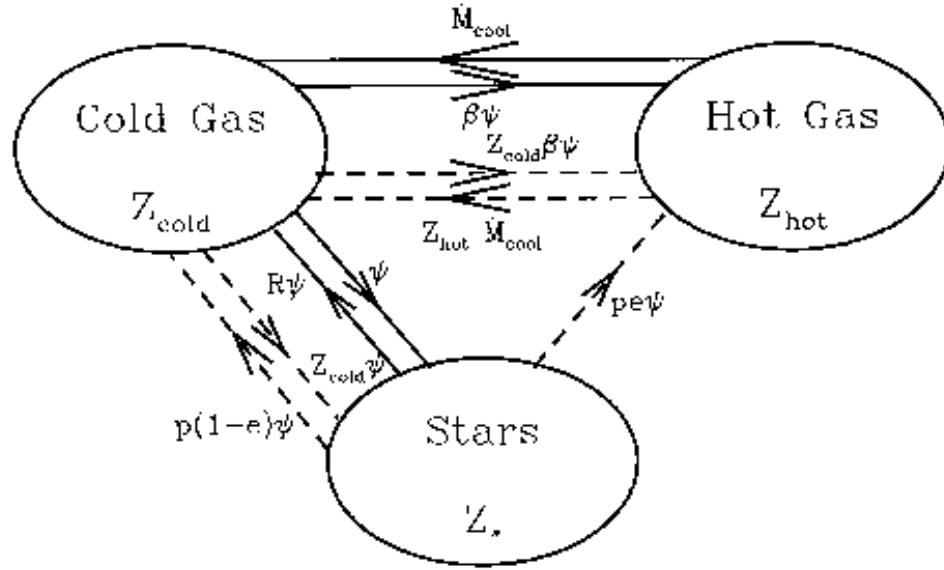


Figura 1.4: Canais de transferência de massa e metais no gás

A taxa com que o gás frio é convertido em estrelas, ou seja, a taxa de formação estelar é dada por:

$$\psi = M_{\text{cold}}/\tau_* \quad (1.1)$$

onde τ_* é o tempo.

A taxa com que o gás frio esquenta e é ejetado do disco é:

$$\dot{M}_{\text{eject}} = \beta\psi \quad (1.2)$$

onde β é a eficiência do realimentação estelar.

Por fim, a taxa com que o gás quente esfria é suposta constante e, em um intervalo de tempo discreto, é calculada a partir do perfil de densidade inicial do gás quente.

$$\dot{M}_{\text{cool}} = \text{Constante} \quad (1.3)$$

A evolução da massa e dos metais nos três reservatórios da Figura 1.4 é descrita através de equações diferenciais que envolvem a taxa de formação estelar, ψ , a taxa de esfriamento, \dot{M}_{cool} e a taxa com que o gás frio esquenta e é ejetado, \dot{M}_{eject} :

$$\dot{M}_* = (1 - R)\psi \quad (1.4)$$

$$\dot{M}_{hot} = -\dot{M}_{cool} + \dot{M}_{eject} = -\dot{M}_{cool} + \beta\psi \quad (1.5)$$

$$\dot{M}_{cold} = \dot{M}_{cool} - (1 - R + \beta)\psi \quad (1.6)$$

$$\dot{M}_*^Z = (1 - R)Z_{cold}\psi \quad (1.7)$$

$$\dot{M}_{hot}^Z = -\dot{M}_{cool}Z_{hot} + (pe + \beta Z_{cold})\psi \quad (1.8)$$

$$\dot{M}_{cold}^Z = \dot{M}_{cool}Z_{hot} + [p(1 - e) - (1 + \beta - R)Z_{cold}]\psi \quad (1.9)$$

Aqui p denota o rendimento, isto é, a fração de massa convertida em estrelas que retorna ao meio interestelar na forma de metais, R é a fração de massa perdida por estrelas (ventos e supernovas), e é a fração de metais, produzidos recentemente, ejetados diretamente do disco estelar para o gás quente, Z_{cold} é a metalicidade do gás frio dada por $Z_{cold} = M_{cold}^Z/M_{cold}$ e Z_{hot} é a metalicidade do gás quente dada por $Z_{hot} = M_{hot}^Z/M_{hot}$.

Uma amostra de galáxias geradas pelo GALFORM será objeto de estudo no presente trabalho.

1.5 Objetivos

Estimativas com o Telescópio Espacial Hubble (HST) indicam que existem centenas de bilhões de galáxias no Universo. Vivemos em uma galáxia que nada mais é do que apenas mais uma entre bilhões de outras.

A Via Láctea é também a galáxia que melhor pode ser estudada em detalhes por estarmos no seu interior, enquanto que as outras estão a grande distâncias de nós. Por isso, aprender sobre a Via Láctea permite conhecermos também como são e como se formaram as outras galáxias e, conseqüentemente, o Universo.

Nesta dissertação estudamos alguns aspectos sobre a formação e a estrutura atual da Via Láctea.

No capítulo 2, mostraremos como identificamos uma galáxia com propriedades o mais próximo possível da Via Láctea nos resultados gerados pelo GALFORM.

Uma análise de formação de aglomerados globulares é apresentado no capítulo 3. O objetivo desta análise foi testar se o GALFORM poderia reproduzir uma das mais importantes características das galáxias: a bimodalidade em metalicidade dos sistemas de aglomerados globulares.

No capítulo 4, com a finalidade de estudar uma parte da estrutura da Via Láctea, construímos o mais completo catálogo de velocidades radiais de nuvens moleculares, regiões HII e nuvens escuras Galácticas até o momento. Este catálogo contém 4380 objetos e possibilitou um estudo da cinemática na parte central da Galáxia, como primeira aplicação.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho junto com as perspectivas.

Capítulo 2

Busca de uma Via Láctea no GALFORM

O programa GALFORM calcula a formação e evolução de galáxias. O resultado de suas simulações são uma variedade de propriedades que podem ser comparadas diretamente com observações de galáxias reais. Os dados de simulações aos quais tivemos acesso foram históricos de formação estelar de aproximadamente 1000 galáxias sintéticas.

Cada uma dessas galáxias era apresentada em dois arquivos, um referente à parte esferoidal e outro referente ao disco. O halo estelar não está contemplado na simulação, isto é, a componente esferoidal é composta pelo halo escuro e bojo estelar.

Cada linha desses arquivos representa um incremento de tempo na simulação e possui informações como o *redshift*, que varia entre 18 a 0; a idade (Ganos); o *look back time* (Ganos); o incremento de tempo (Ganos) e a taxa de formação estelar total ($M_{\odot}/h/\text{Gano}$). Além disso, o arquivo contém mais 11 taxas de formação estelar as quais estão associadas a 11 valores de metalicidade. Em cada incremento de tempo o código “olha” a taxa de formação estelar de cada galáxia progenitora presente naquele determinado instante, verifica a metalicidade de suas estrelas, decide qual dos 11 intervalos de metalicidade ela se enquadra e soma sua taxa de formação estelar correspondente. Essas 11 taxas de formação estelar são somadas resultando na taxa de formação total daquela componente naquele instante de tempo. Note que não há a informação explícita de quantos progenitores estão contribuindo para a formação da galáxia naquele instante, mas somente a sua contribuição em taxa de formação estelar. Sendo assim, se duas galáxias progenitoras são formadas por estrelas de mesma metalicidade, suas contribuições em taxa de formação estelar possuem o mesmo intervalo de metalicidade.

Os gráficos abaixo (Figuras 2.1 a 2.4) exemplificam as taxas de formação estelar de quatro galáxias mostrando que as mesmas podem ser bastante diversificadas, tanto no caso do bojo, quanto no caso do disco. A galáxia 436 (Figura 2.1), por exemplo, apresenta um

surto de formação estelar no bojo (parte esferoidal) entre 8 e 10 Ganos. A galáxia 263 (Figura 2.3) também apresenta um surto semelhante, porém, no seu disco. As galáxias 590 (Figura 2.2) e 680 (Figura 2.4), por exemplo, apresentam históricos de formação estelar bastante complexos no bojo e no disco, respectivamente. Na Via Láctea o histórico de formação estelar do esferóide deve ter sido desenvolvido no início, até aproximadamente 3 Ganos. O histórico de formação do disco, por sua vez, deve ser aproximadamente constante até os dias de hoje. Lembramos que estes gráficos mostram o tempo decorrido desde o início do Universo.

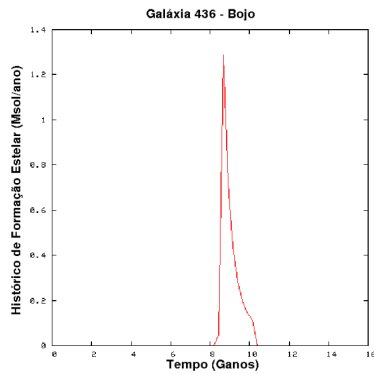


Figura 2.1: Galáxia 436, taxa de formação estelar do bojo

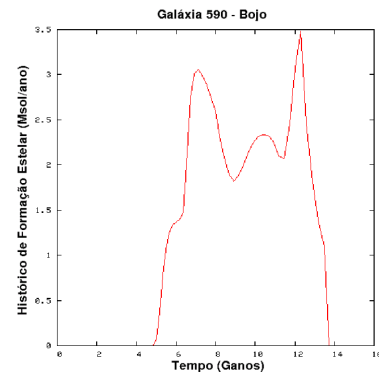


Figura 2.2: Galáxia 590, taxa de formação estelar do bojo

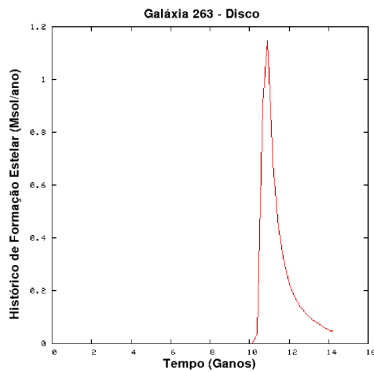


Figura 2.3: Galáxia 263, taxa de formação estelar do disco

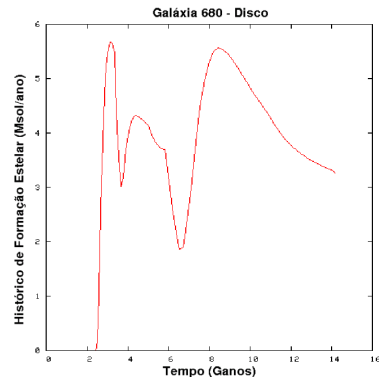


Figura 2.4: Galáxia 680, taxa de formação estelar do disco

Além das informações de taxas de formação estelar, a cada incremento de tempo para o bojo e disco, cada galáxia possui um arquivo com propriedades em redshift 0 que são listadas a seguir:

igal identificação da galáxia

isat se *isat*=1, galáxia central em seu halo, se *isat*=0, galáxia satélite

m_{disk} massa do disco

Z_{disk} metalicidade do disco

r_{disk} raio do disco

m_{bulge} massa do bojo

Z_{bulge} metalicidade do bojo

r_{bulge} raio do bojo

m_{gas} massa do gás frio

Z_{gas} metalicidade do gás frio

SFR taxa de formação estelar

$M_K - 5logh$ magnitude absoluta na banda K

B/T_K razão luminosidade do bojo total na banda K

B/T razão luminosidade do bojo total

m_{star} massa de estrelas

Z_{star} metalicidade das estrelas

V_{halo} velocidade circular do halo

m_{halo} massa do halo

m_{hot} massa do gás quente

Z_{hot} metalicidade do gás quente

2.1 Massa

Para escolhermos quais as galáxias candidatas a reproduzir as características da Via Láctea, escolhemos a massa total como um primeiro critério de seleção. A massa total foi calculada como sendo massa do disco + massa do bojo + massa do halo, onde a massa do disco é $m_{disk} + m_{gas}$, a massa do bojo é m_{bulge} e a massa do halo é $m_{halo} + m_{hot}$.

Utilizando o valor de massa total da Via Láctea entre $6 \times 10^{11} M_{\odot} < M_{ViaLactea} < 3 \times 10^{12} M_{\odot}$ (Battaglia et al., 2005), das 1143 galáxias sintéticas, 233 possuíam massa total dentro deste intervalo. Porém, apenas 51 dessas galáxias possuíam uma componente esferoidal. Todas as outras tinham apenas um disco.

Kuijken & Dubinski (1995) sugeriram 4 modelos com distribuição de massa e curvas de rotação similares à Via Láctea. A fração de massa de cada componente pode ser vista na Tabela 2.1.

	Disco	Bojo	Halo	Total
Modelo A	0.13	0.06	0.81	1
Modelo B	0.08	0.04	0.88	1
Modelo C	0.04	0.02	0.94	1
Modelo D	0.02	0.01	0.97	1

Tabela 2.1: Fração de massa das componentes da Galáxia segundo modelos de Kuijken & Dubinski (1995)

Somando as massas das galáxias sintéticas e calculando a fração de cada componente, comparamos estes valores com as frações de massa previstas pelos quatro modelos com um intervalo de variação entre 5% para cima e para baixo (Tabela 2.2). Por exemplo, no modelo D, 2% da massa da Galáxia está no disco, 1% no bojo e 97% no halo.

	Disco	Bojo	Halo
Modelo A	0	0	0
Modelo B	0	0	0
Modelo C	4	0	245
Modelo D	28	5	1143

Tabela 2.2: Número de galáxias encontradas no GALFORM com fração de massa de suas componentes (Bojo, Halo e Disco) compatíveis com modelos de Kuijken & Dubinski (1995)

As galáxias sintéticas geradas pelo GALFORM não apresentaram frações de massa de suas componentes compatíveis com os modelos A e B de Kuijken & Dubinski (1995). Para o modelo C, 4 galáxias sintéticas foram encontradas com fração de massa do disco, 245 galáxias com fração de massa do halo e nenhuma com fração de massa do bojo. As 4 galáxias sintéticas com fração de massa do disco foram as mesmas encontradas com fração de massa do halo dentro do modelo C. Essas galáxias são as de número 644, 645, 722 e 725.

As galáxias sintéticas apresentaram 5 representantes com fração massa do bojo, 28 com fração de massa do disco e todas com fração de massa do halo considerando o modelo D. Porém, as 5 galáxias com fração de massa do bojo não são nenhuma das 28 galáxias com fração de massa do disco.

Concluimos que nenhuma galáxia sintética gerada pelo GALFORM obedece às frações de massa do modelo da Via Láctea de Kuijken & Dubinski (1995). O modelo que chegou mais próximo foi o C, pois 4 galáxias foram encontradas com fração de massa do disco e do halo dentro deste modelo, mas nenhuma com fração de massa exata do bojo. Considerando a massa total da Galáxia calculada por (Battaglia et al., 2005), 233 galáxias sintéticas de um

total de 1143 analisadas estavam dentro deste intervalo. Por esses critérios já notamos que é difícil encontrar uma galáxia no GALFORM com características similares à Via Láctea.

Capítulo 3

Análise da Formação de Aglomerados Globulares

3.1 Transformação a número de globulares

Conforme explicado no capítulo 2, para cada galáxia sintética possuímos informações de taxas de formação estelar das componentes esferoidal e disco. Cada uma das 11 taxas de formação estelar estão associadas com 11 valores de metalicidade. Sabendo o valor do passo de tempo, podemos calcular a massa total de estrelas formadas neste intervalo de tempo Δt

$$M_{\star} = \psi_1 \times \Delta t + \psi_2 \times \Delta t \cdots + \psi_{11} \times \Delta t \quad (3.1)$$

A massa de aglomerados globulares formados com cada um dos 11 valores de metalicidade é calculada como sendo uma fração da massa de estrelas formadas. Uma parte das estrelas formadas corresponderá a aglomerados globulares. O valor da fração de massa retido inicialmente em aglomerados globulares ϵ adotado foi de 20% (Ashman & Zepf, 1998).

$$M_{gc} = \epsilon_1 \times M_{\star 1} + \epsilon_2 \times M_{\star 2} + \cdots + \epsilon_{11} \times M_{\star 11} \quad (3.2)$$

O número de aglomerados globulares pode ser estimado, supondo uma massa média de $1,9 \times 10^5 M_{\odot}$ (Mandushev et al., 1991), como:

$$N_{gc} = \frac{M_{\star 1}}{\langle M_{gc} \rangle} + \frac{M_{\star 2}}{\langle M_{gc} \rangle} + \cdots + \frac{M_{\star 11}}{\langle M_{gc} \rangle} \quad (3.3)$$

Desta forma, estimamos o número de aglomerados formados para as galáxias sintéticas em 11 intervalos de metalicidade.

3.1.1 Massa x Metalicidade

Na equação 3.3, utilizamos o valor de massa média para o cálculo do número de aglomerados globulares formados. Uma maneira de aprimorar a análise seria a inclusão de uma relação entre massa dos aglomerados globulares Galácticos e a metalicidade dos mesmos. McLaughlin & van der Marel (2005) calcularam a massa de aglomerados globulares galácticos através de seu perfil de luz e utilizaram a razão massa-luminosidade dependente da metalicidade. Esses dados podem ser vistos no gráfico 3.1.

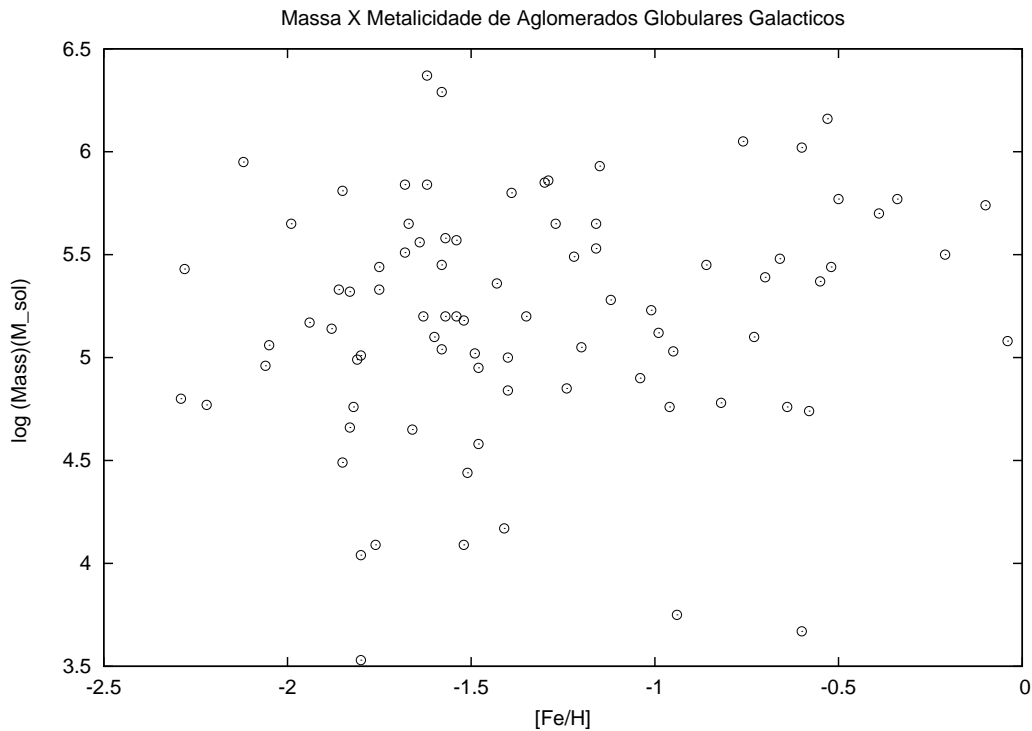


Figura 3.1: Massa X metalicidade de aglomerados globulares galácticos (McLaughlin & van der Marel, 2005)

Os dados de McLaughlin & van der Marel (2005) mostram que não há uma relação aparente entre a massa e a metalicidade de aglomerados globulares da Via Láctea. O coeficiente de correlação dos dados em uma regressão linear é $cc=0,15$.

Esse mesmo comportamento é confirmado pelos dados de Bonatto & Bica (não publicado), Figura 3.2, onde a massa de mais de 150 aglomerados globulares Galácticos foi calculada através de uma razão M/L constante. As metalicidades são de Harris (1996).

Portanto, esta análise de massa e metalicidade mostra uma ausência de relação massa-metalicidade, o que simplifica o cálculo das estimativas de número de aglomerados globulares sintéticos da nossa Galáxia (Seções 3.1 e 3.2).

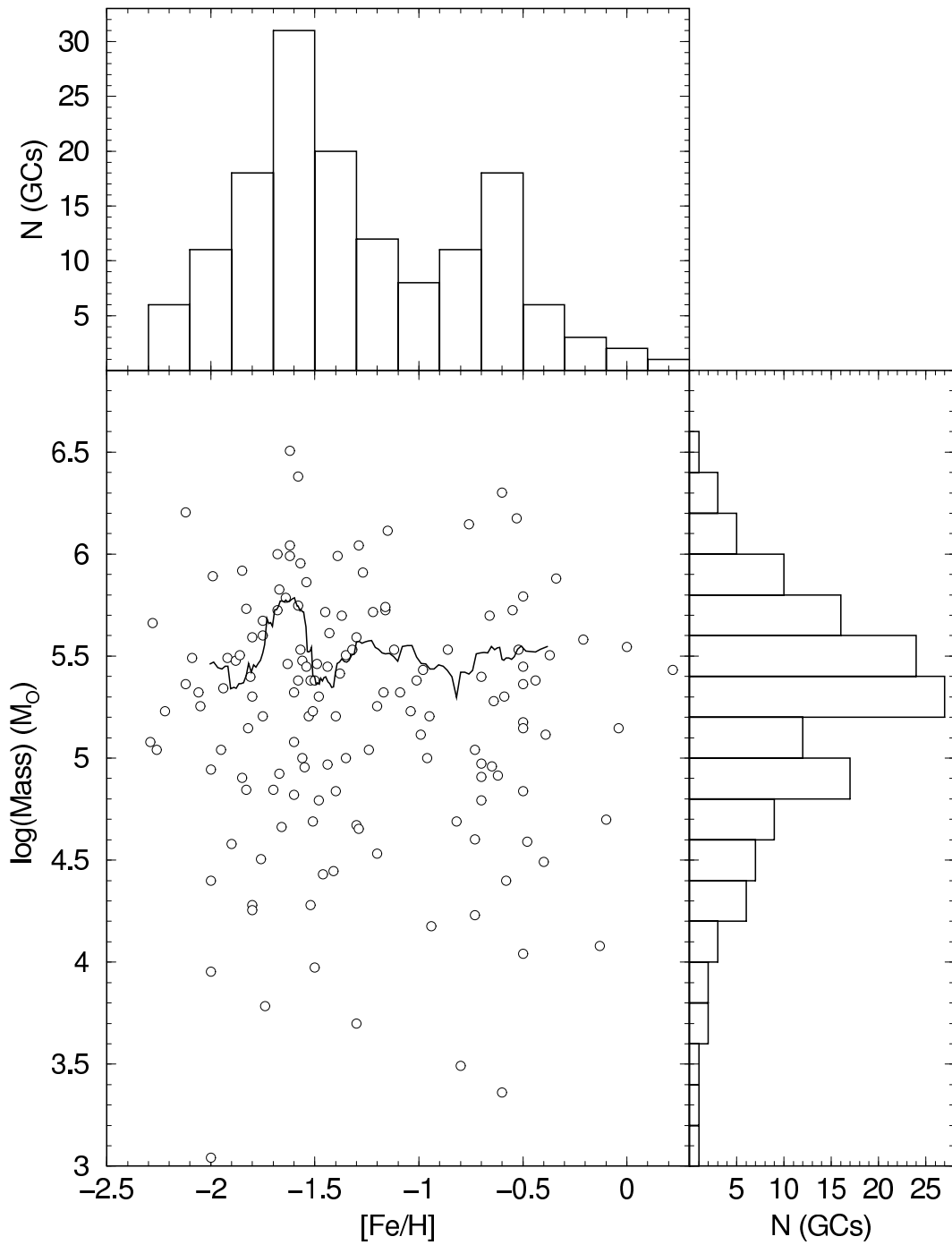


Figura 3.2: Massa x metalicidade de aglomerados globulares Galácticos (Bonatto & Bica, não publicado)

3.2 Histograma de Metalicidade

3.2.1 Via Láctea

Conforme mencionamos na Seção 1.2.6, existem duas populações de aglomerados globulares na Galáxia. Quase todas as galáxias massivas estudadas com dados em fotometria suficientemente precisos apresentam aglomerados globulares com bimodalidade em cores (Brodie & Strader, 2006). Para idades intermediárias ($T \approx 5\text{Ganos}$) e velhas, as cores indicam, em primeira ordem, metalicidades. Galáxias com formação recente de aglomerados são evidentes. Tal característica na Via Láctea pode ser visualizada através de um histograma da distribuição de metalicidade dos aglomerados globulares representado na Figura 3.3.

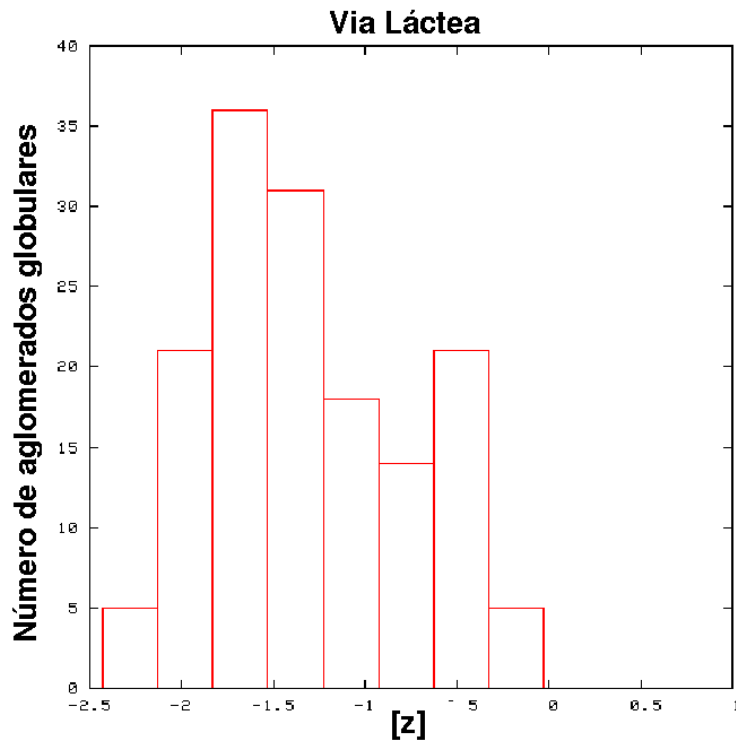


Figura 3.3: Histograma de metalicidade de aglomerados globulares (Harris, 1996)

Os dados do histograma foram obtidos do catálogo de parâmetros astrofísicos de aglomerados globulares de Harris (1996) atualizado em 2003. A característica mais marcante desta distribuição é a presença de dois picos. O primeiro, em torno de $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.59$ representa os aglomerados globulares pobres em metais, enquanto que o segundo, em torno de $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.51$ corresponde aos aglomerados globulares ricos em metais. Entretanto, se considerarmos erros Poissônicos para o segundo pico e seu intervalo vizinho, a significância do duplo pico na Figura 3.3 se encontra no limite. Escolhemos tais intervalos de metalicidade para comparar o sistema de aglomerados em cada galáxia simulada com origem nos

dados do GALFORM. Porém, para os aglomerados galácticos há estudos que demonstram a significância do duplo pico com histogramas com intervalos de largura diferentes (Côté, 1999).

3.2.2 Galáxias Sintéticas

Na seção 2.1 vimos que, das 1143 galáxias sintéticas do GALFORM, 233 possuíam massa total similar à Via Láctea. Mas, dessas 233 galáxias, apenas 51 possuíam componentes esferoidal e disco. A fração reduzida destas galáxias com disco no GALFORM talvez a necessidade de variar alguns parâmetros no modelo do GALFORM. Contabilizando somente essas 51 galáxias, apenas 8 apresentam um duplo pico em metalicidade, tal como a Via Láctea. Os histogramas de metalicidade dessas galáxias podem ser observados nas Figuras 3.4 a 3.11.

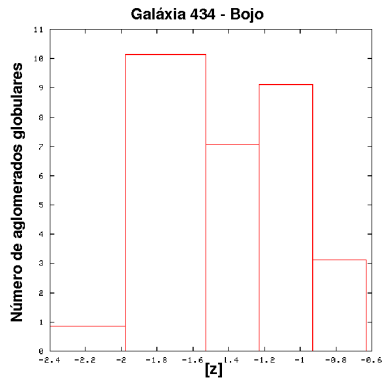


Figura 3.4: Galáxia 434

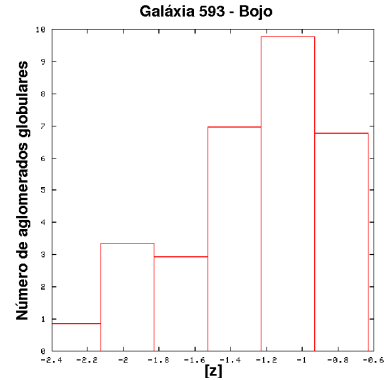


Figura 3.5: Galáxia 593

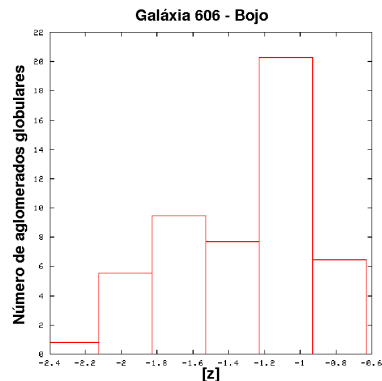


Figura 3.6: Galáxia 606

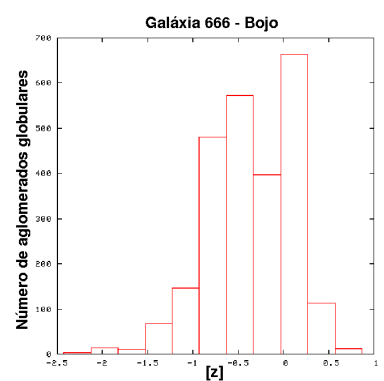


Figura 3.7: Galáxia 666

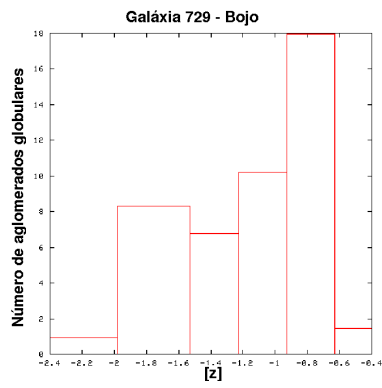


Figura 3.8: Galáxia 729

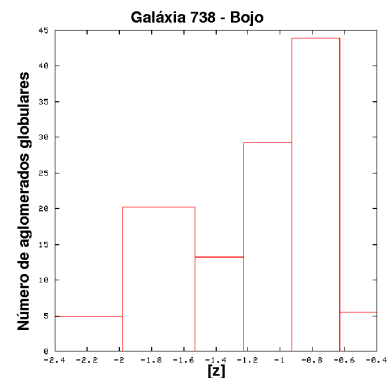


Figura 3.9: Galáxia 738

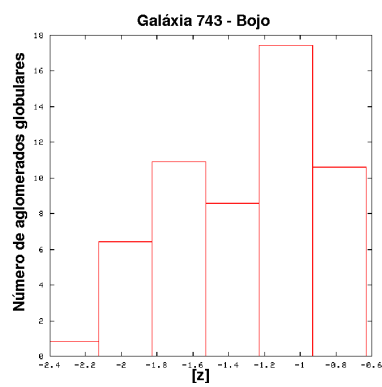


Figura 3.10: Galáxia 743

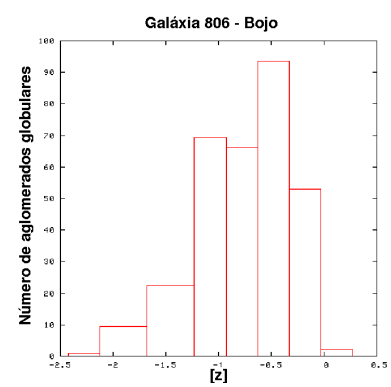


Figura 3.11: Galáxia 806

A galáxia sintética mais parecida com a Via Láctea, segundo o critério de distribuição de metalicidades, é a de número 666 (Figura 3.7). Esta galáxia possui um duplo pico na distribuição de metalicidade com valores $[Z/Z_{\odot}] = -1,25$ e $[Z/Z_{\odot}] = 0,25$. Portanto, apesar da distribuição de metalicidades ser semelhante, as idades dos aglomerados globulares são relativamente jovens, enquanto que na Via Láctea são mais velhos. As figuras abaixo mostram os histogramas de distribuição de metalicidade da Via Láctea e da galáxia sintética de número 666 lado a lado.

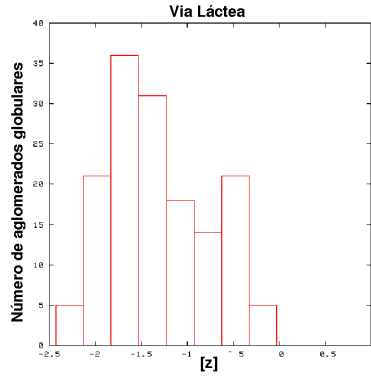


Figura 3.12: Via Láctea.

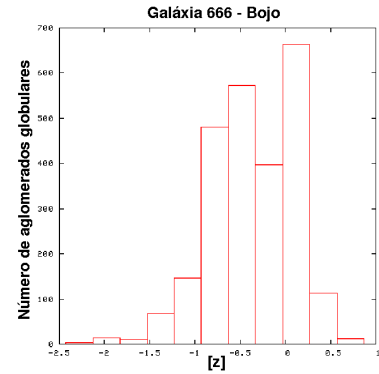


Figura 3.13: Galáxia 666.

Embora a galáxia 666 tenha distribuição de metalicidade e massa total próximas às da Via Láctea, apenas a fração de massa do halo se encontra dentro do modelo C de (Kuijken & Dubinski, 1995), conforma a Tabela 3.1.

	Via Láctea	galáxia 666
Massa Total	$6e11 - 3e12 M_{\odot}$	$1.59e+12 M_{\odot}$
Fração Disco	0.037 - 0.041	0.008
Fração Bojo	0.019 - 0.021	0.010
Fração Halo	0.92 - 1.000	0.983

Tabela 3.1: Comparação das fração de massas das componentes da Via Láctea (modelo C de Kuijken & Dubinski (1995), seção 2.1) e frações de massa da galáxia sintética número 666

Um outro ponto a ser observado é a quantidade de aglomerados globulares formados. O número de aglomerados globulares formados não depende apenas massa das galáxias. Ou seja, as galáxias com maior massa não necessariamente terão maior número de aglomerados globulares. O número de aglomerados globulares formados da galáxia 666 ficou em torno de 2000. Isto representa uma ordem de grandeza maior que a Via Láctea. Este valor está de acordo com Gnedin & Ostriker (1996) que estimam o número de aglomerados globulares formados originalmente como sendo de pelo menos uma ordem de magnitude da população atual. Este valor deve ser alcançado com a inclusão de processos dinâmicos na evolução

de aglomerados globulares, como a evaporação, choque do disco e fricção dinâmica. É possível que os aglomerados globulares não tenham tido uma fração importante dissolvida. A evolução dinâmica pode ter arrancado estrelas deles de modo significativo.

Concluimos que a galáxia 666 tem várias propriedades em comum com a Via Láctea, como por exemplo, massa total e duplo pico na distribuição de metalicidade, porém falha nas idades de seus aglomerados e nas frações de massa de suas componentes. Esses resultados poderiam sugerir que a Via Láctea é uma galáxia rara, o que não está de acordo com a literatura (Brodie & Strader, 2006, Gebhardt & Kissler-Patig, 1999), ou, mais provavelmente, que as galáxias sintéticas devam ser aprimoradas, para uma descrição mais realista da Galáxia.

Capítulo 4

Construção do Catálogo

4.1 Introdução

A catalogação de objetos sempre foi muito importante na Astronomia. Desde o final século XVIII, quando Messier fez uma das primeiras catalogação de objetos extensos, muitos já foram produzidos, sejam eles de galáxias, estrelas, regiões HII, etc. Uma aplicação desses catálogos é o estudo da estrutura espiral da nossa Galáxia.

Há vários métodos para se estudar o padrão espiral. Uma das maneiras é o estudo individual de objetos, como fizeram Georgelin & Georgelin (1976), que converteram dados de velocidade obtidos de 174 regiões ópticas em posição, utilizando um modelo cinemático. Uma outra possibilidade é agrupar regiões HII (e nuvens moleculares) em complexos, minimizando assim a dispersão de velocidades. Recentemente, Russeil (2003) compilou 1449 objetos em 481 complexos e determinou quatro braços espirais na Galáxia. Além da estrutura espiral, a parte central da Galáxia também vêm sendo explorada em estudos específicos, *e.g.* Dame & Thaddeus (1985).

A construção desses catálogos não é tarefa fácil, entretanto. Devido à posição do Sol no disco da Galáxia, muitas nuvens ficam absorvidas pela poeira interestelar e só podem ser observadas em comprimentos de onda de rádio, como é o caso das nuvens moleculares de CO , H_2 e as regiões HII de rádio, ópticas e milímetro. Um outro problema é que muitos autores criam novos catálogos sem reconhecer o trabalho prévio, e assim muitos objetos ganham diferentes designações.

O objetivo deste capítulo é mostrar como foi feita a compilação em um só catálogo de nuvens moleculares, regiões HII e nuvens escuras e sua análise.

Na seção 4.2 mostraremos como é o catálogo original e como ele foi transformado em um catálogo formatado para os presentes fins. O processamento desse catálogo e o cálculos de velocidades médias e desvio padrão são descritos na seções 4.3. Em seguida, na seção 4.4, mostraremos como histogramas de velocidade desse catálogo foram gerados e analisados.

Na seção 4.5 discutiremos o diagrama l x v e, por último, analisaremos a região central da Via Láctea na seção 4.6. Este catálogo, até onde eu sei, é o mais completo já compilado.

4.2 Fontes de Dados

Por mais de dez anos, Bica, E. coletou dados sobre nuvens moleculares, regiões HII e nuvens escuras de catálogos e listas da literatura. Alguns desses dados foram medidos diretamente em mapas de velocidades radiais. Foi preciso ter em conta que dados da mesma nuvem apareciam em mais de um catálogo.

Os resultados desta extensa coleta foram arquivos com dados de regiões HII ópticas e em rádio, nuvens moleculares e nuvens escuras somando 11589 objetos. Um exemplo de como é esse catálogo original é mostrado na Figura 4.1.

Cada uma dessas linhas contém medidas de longitude e latitude Galácticas, coordenadas equatoriais (ascensão reta e declinação), tamanho angular e identificação do objeto em um ou mais catálogos de origem. Nem todas as nuvens possuem medidas de velocidade radial, reduzindo o catálogo final para menos da metade. Algumas outras nuvens possuem mais de uma medida de velocidade radial e algumas poucas têm a sua distância ao Sol compilada. Por fim, as linhas possuem alguns comentários, como por exemplo, a que braço espiral da Galáxia pertencem. No apêndice A é encontrada a lista (Tabela A.1) das fontes de dados dos objetos.

O catálogo original compila, portanto, dados de nuvens em uma série de estudos de distintas resoluções e profundidades. Todos os dados coletados estão acima da resolução instrumental. Muitos cobrem largas faixas de longitudes e são homogêneos em tais direções. A compilação inclui desde os grandes complexos próximos de grande tamanho angular até nuvens angularmente pequenas. Erros típicos nas velocidades radiais são de 1 - 2 km/s e erros em posição são tipicamente menores que $1'$.

Catálogos desta natureza em que descobertas com diferentes fontes são incorporadas ao longo do tempo são essenciais em várias áreas da astrofísica. Exemplos são catálogos de aglomerados abertos Galácticos (Dias et al., 2002).

```

0.02  0.18 17:44:57 -28:49:30  15  13 Sh2-17,RCW138,Sh1-12,LEN1,DoC0-1
      EN v=-3.3,-5.5 Sgr-Car in Cx
Sh2-16,17,18,19,20 vCx=18.1
0.11 -0.53 17:47:57 -29:07:00  12  10 Sh2-19,RCW140,Sh1-16,LEN2,BEW32701
      EN v=11.6 vCO=18.1 in Cx
Sh2-16,17,18,19,20 vCx=18.1

0.31 -0.21 17:47:10 -28:46:33   7   6
Sh2-20,RCW141,Sh1-15,LEN3,PK000-00,ESO455PN39,IRAS17439-2845
      EN not PN v=9.6,9.6 vCO=19.2 Sgr-Car in Cx
Sh2-16,17,18,19,20 vCx=18.1
0.56 -0.84 17:50:16 -28:53:42   6   6
Sh2-21,RCW142,Sh1-18,LEN4,G0.6-0.9,G0.561-0.850
      EN Opt/Rad v=14.6,14.2 vCO=16.7 vr=15.0 df=10:

0.66 -2.87 17:58:30 -29:50:00  210 180 Large Sagittarius Cloud Nebula
      EN rel SgrOB5 in Large Sagittarius Cloud

0.83 18.64 16:40:53 -17:35:45   21  16 LEN5,vdB-RN109
      RN e=0.13 d=0.23

1.04 20.01 16:36:52 -16:36:01   90   8 LEN6
      N

1.27 21.10 16:33:51 -15:46:13   50  10 DG144,LEN7
      RN inc Ber1,DG145

1.29 21.01 16:34:10 -15:48:18  1.2 0.8 Ber1,GGD24,GM2-24,HHL56,PP84,GM1-48,RNO90
      RN in DG144,in LDN43
vCO=0.8,1.3

1.35 20.97 16:34:29 -15:47:08  2.5 1.4 DG145,Ber2,RNO91,LDN43 IR Neb
      RN Opt/IR in DG144,,in LDN43
d=0.16

1.40  6.38 17:24:54 -24:19:25   1   1 E1
      SNR

1.90  1.90 17:42:48 -26:19:23  25  14 DoC1-1
      EN with dust patches

2.33 35.49 15:50:39 -5:59:01   45  12 LEN8
      N

2.36  1.39 17:45:49 -26:12:10   6   6 LEN9,G2.4+1.4,WR102
Neb,G2.370+1.400,IRAS17427-2613
WRN opt th bubble,not SNR,in DoC2-1 eWR=1.11,1.35 dWR=4.9,4.0,5.6 DL=5.2 vr=3

2.40  1.70 17:44:43 -26:00:07  42  19 DoC2-1
      EN inc WR102 Neb

```

Figura 4.1: Extração do catálogo original

4.3 Processamento do Catálogo

Na Figura 4.1 foi mostrado como é o catálogo de entrada. É importante notar que não há uniformidade de formatação entre as linhas do catálogo. Portanto, é necessário então organizar esses dados de maneira que eles sejam facilmente acessados e permitam que sejam analisados.

Para realizar o processamento do catálogo original, foram escritos alguns *scripts* essenciais para tratar esses dados. Como estamos interessados em um catálogo de velocidades radiais, o primeiro passo foi extrair as velocidades radiais das nuvens do catálogo original. O resultado dessa extração é um arquivo onde as primeiras duas colunas são as coordenadas Galácticas dos objetos e as demais são medidas de velocidade radial (Figura 4.2).

0.02	0.18	-3.3	-5.5	18.1	
0.11	-0.53	11.6	18.1	18.1	
0.31	-0.21	9.6	9.6	19.2	18.1
0.56	-0.84	14.6	14.2	16.7	15.0
1.29	21.01	0.8	1.3		
2.36	1.39	3			
3.89	-1.02	10.4			
4.29	29.58	-1.6			
4.48	0.32	7.5	5.7		
5.00	30.90	1.0	-0.1		
5.95	-1.29	2.8	0		

Figura 4.2: Exemplo do resultado da extração de velocidades do catálogo original. As colunas 1 e 2 são longitude e latitudes Galácticas, respectivamente. As demais colunas são dados de velocidades radiais

Em seguida, com as velocidades radiais extraídas, calculamos suas médias e desvios padrão (Figura 4.3).

0.02	0.18	3.10	13.04
0.11	-0.53	15.93	3.75
0.31	-0.21	14.12	5.24
0.56	-0.84	15.12	1.10
1.29	21.01	1.05	0.35
2.36	1.39	3.00	0.00
3.89	-1.02	10.40	0.00
4.29	29.58	-1.60	0.00
4.48	0.32	6.60	1.27
5.00	30.90	0.45	0.78

Figura 4.3: Exemplo dos cálculos de velocidade média (coluna 3) e desvios padrão (coluna 4) de velocidades radiais do catálogo original. As colunas 1 e 2 são longitude e latitudes Galácticas, respectivamente. A coluna 3 é a velocidade radial média e a coluna 4 o desvio padrão.

Existem nuvens com mais de uma medida de velocidade radial e, portanto, o desvio padrão dessas velocidades foi calculado. Alguns valores de desvio padrão são da ordem de 10 km/s ou mais. Tais valores originaram-se em nuvens projetadas na mesma direção ou nuvens contendo ventos estelares como os gerados em estrelas WR. Os poucos objetos com altas dispersões não afetam nossas análises, pois o domínio de velocidades é muito maior (Figura 4.18).

Nessa formatação, o catálogo pode ser facilmente utilizado para produzir gráficos e análises.

4.3.1 *Scripts*

Os *Scripts* utilizados para a extração de velocidades e cálculos de velocidades médias e desvios padrão foram escritos em linguagem Awk.

O primeiro deles, chamado de `extrai_velocidades.awk` (Figura 4.4), tem a função de receber os dados do catálogo original, identificar ocorrências das palavras `Vel=`, `VCO=`, `Vr=` e `VMO=`, guardar os valores de velocidades (que podem estar na forma `vel=10,15,16`) separadamente em cada posição de um vetor e imprimir as coordenadas das nuvens e suas respectivas velocidades radiais mensuradas, gerando o arquivo visto na Figura 4.2.

```
printf "%s\t%s", $1, $2

for (i = 3; i <= NF; i++)
{
    if (match($i, /v[ A-Za-z]*=/))
    {
        split($i, v, /=/)
        split(v[2], v2, /,/)
        for (n in v2)
        {
            printf "\t%s", v2[n]
        }
    }
}

printf "\n"
```

Figura 4.4: *Script* que extrai velocidades

O *script* `calc_velocidades_media_desvio.awk` (Figura 4.5), por sua vez, recebe como entrada o arquivo gerado pelo *script* anterior e calcula a velocidade média e o desvio padrão de cada objeto do catálogo resultando na saída vista na Figura 4.3.

```

printf "%s\t%s", $1,$2

if (NF == 3)
{
    printf "\t%3.2f\t%3.2f", $3, 0.0
}
else
{
    s=0
    for (i = 3; i <= NF; i++)
    {
        s=s+$i
    }
    media=s/(NF-2)
    t=0
    for (i = 3; i <= NF; i++)
    {
        t=t+($i-media)*($i-media)
    }
    std=(sqrt(t/(NF-3)))
    printf "\t%3.2f\t%3.2f",media,std
}
printf "\n"

```

Figura 4.5: *Script* que calcula velocidade média e desvio padrão

4.4 Histogramas

Uma das maneiras de visualizar o grande número de velocidades radiais no catálogo é através de histogramas. Os histogramas gerados serão mostrados na seção (4.4.2).

4.4.1 *Scripts*

Os *scripts* desta seção foram escritos em linguagem do interpretador de comandos Bash. O primeiro deles, `hist_sep_30.sh` (Figura 4.6), tem a função de ler o arquivo de velocidades médias e separar as nuvens em longitudes de 30 em 30 graus em arquivos distintos.

```

for i in moleculares_vel_media
do
awk '{ if ($1<=30){print $1,$3}} ' "$i" > "0-30-$i.dat"
awk '{ if ($1>30 && $1<=60){print $1,$3}} ' "$i" > "30-60-$i.dat"
awk '{ if ($1>60 && $1<=90){print $1,$3}} ' "$i" > "60-90-$i.dat"
awk '{ if ($1>90 && $1<=120){print $1,$3}} ' "$i" > "90-120-$i.dat"
awk '{ if ($1>120 && $1<=150){print $1,$3}} ' "$i" > "120-150-$i.dat"
awk '{ if ($1>150 && $1<=180){print $1,$3}} ' "$i" > "150-180-$i.dat"
awk '{ if ($1>180 && $1<=210){print $1,$3}} ' "$i" > "180-210-$i.dat"
awk '{ if ($1>210 && $1<=240){print $1,$3}} ' "$i" > "210-240-$i.dat"
awk '{ if ($1>240 && $1<=270){print $1,$3}} ' "$i" > "240-270-$i.dat"
awk '{ if ($1>270 && $1<=300){print $1,$3}} ' "$i" > "270-300-$i.dat"
awk '{ if ($1>300 && $1<=330){print $1,$3}} ' "$i" > "300-330-$i.dat"
awk '{ if ($1>330){print $1,$3}} ' "$i" > "330-360-$i.dat"
done

```

Figura 4.6: *Script* que separa catálogo em arquivos pela sua longitude

Uma vez que o histograma de velocidade é apenas a contagem da ocorrência de uma velocidade em um certo intervalo, os arquivos resultantes, por sí só, poderiam ser utilizados como entrada para um programa gráfico e histogramas poderiam ser gerados manualmente. Mas esse processo se torna muito demorado, visto que foram gerados mais de 40 histogramas. Além disso, caso quiséssemos alterar algum parâmetro como o intervalo do histograma, todo o processo teria que ser repetido.

Para solucionar esse problema, o *script* `gera_histograma_m.sh` (Figura 4.7) quando é executado escreve um *script* adicional para cada um dos arquivos separados por longitudes e, em seguida, chama o programa numérico `octave` que executa esses últimos scripts, gera histogramas e os imprime na forma de figuras.

```

EXT=m
ext=

for i in hist_*.m
do
    # tira extensao do nome do arquivo
    nome_sem_m=`echo ${i%.$EXT}$ext`
    echo $nome_sem_m > histograma_$i

    # conta numero de linhas
    linhas=`wc -l $i | awk '{print $1}'`
    echo $linhas

    echo "fim_linha=$linhas;" >> histograma_$i
    echo "valor_min_hist=-300;" >> histograma_$i
    echo "valor_max_hist=300;" >> histograma_$i
    echo "bin=10;" >> histograma_$i
    echo "num_intervalos=$((valor_max_hist)-(valor_min_hist)) >
/bin; " >> histograma_$i
    echo "inicio_intervalo=valor_min_hist;" >> histograma_$i
    echo "fim_intervalo=inicio_intervalo+bin;" >> histograma_$i
    echo "i=1;" >> histograma_$i
    echo "histo=(zeros(1,num_intervalos));" >> histograma_$i
    echo "while (i<=num_intervalos)" >> histograma_$i
    echo "meio_intervalo(i)=(inicio_intervalo)+bin/2;" >> >
histograma_$i
    echo "for linha=1:fim_linha" >> histograma_$i
    echo "if (h(linha,2)>=inicio_intervalo && h(linha,2) >
<fim_intervalo)" >> histograma_$i
    echo "histo(i)=histo(i)+1;" >> histograma_$i
    echo "endif" >> histograma_$i
    echo "endfor" >> histograma_$i
    echo "i=i+1;" >> histograma_$i
    echo "inicio_intervalo=fim_intervalo;" >> histograma_$i
    echo "fim_intervalo=fim_intervalo+bin;" >> histograma_$i
    echo "endwhile" >> histograma_$i
    echo "meio=(meio_intervalo);" >> histograma_$i
    echo "closeplot" >> histograma_$i
    echo "__gnuplot_set__ term x11" >> histograma_$i;

    echo "__gnuplot_set__ term postscript color" >> histograma_$i

    echo "__gnuplot_set__ nokey" >> histograma_$i
    echo "__gnuplot_set__ title \"$nome_sem_m\" " >> >
histograma_$i
    echo "__gnuplot_set__ output \"$nome_sem_m.ps\" " >> >
histograma_$i
    echo "bar(meio,histo)" >> histograma_$i
    echo "__gnuplot_set__ term x11" >> histograma_$i

done

for i in histograma_hist_*.m
do
    octave < $i
done

```

Figura 4.7: *Script* que gera histogramas através do programa Octave

4.4.2 Análise dos Histogramas

Como estamos tratando de uma base de dados numerosa, é importante obter um panorama através da Galáxia da distribuição de velocidades radiais.

Nas figuras a seguir, vemos histogramas de distribuição de velocidade radial para as nuvens moleculares (Figura 4.8), regiões HII ópticas (Figura 4.9) e rádio (Figura 4.10) e nuvens escuras (Figura 4.11) separadas em 12 gráficos representando setores de longitude de 30 graus. O eixo vertical indica o número de objetos e o eixo horizontal a velocidade radial em km/s.

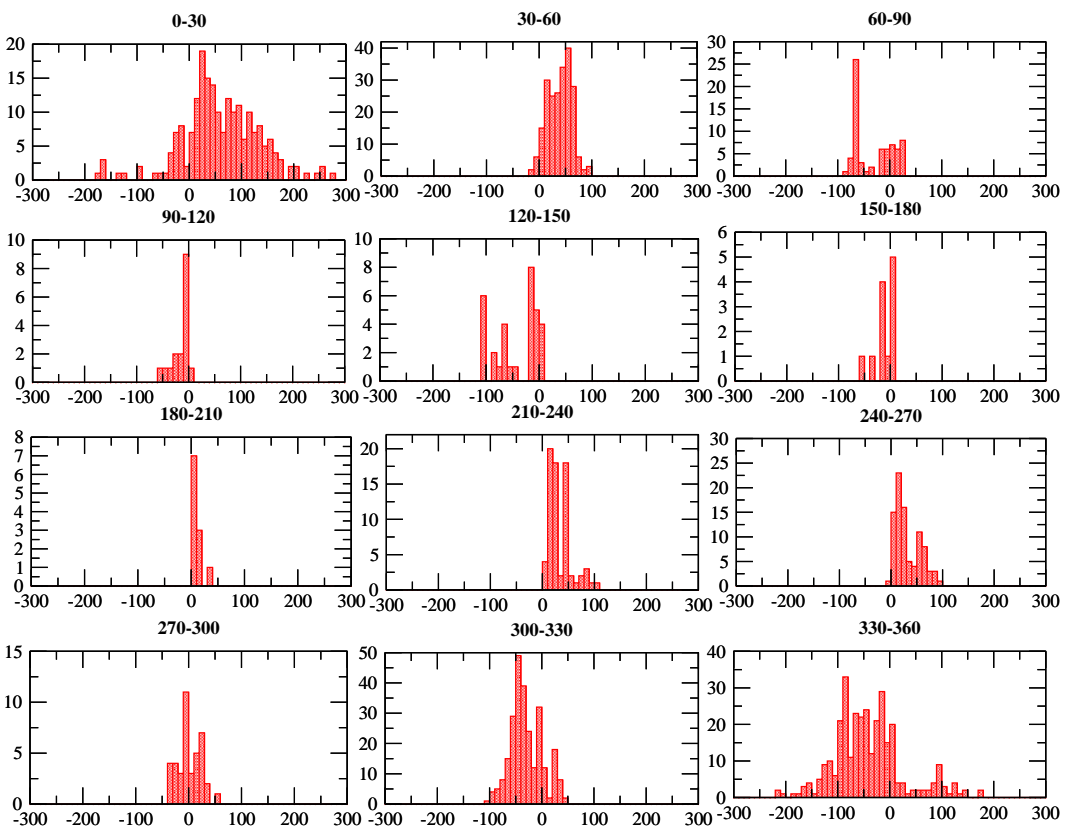


Figura 4.8: Histogramas de velocidade radial de nuvens moleculares.

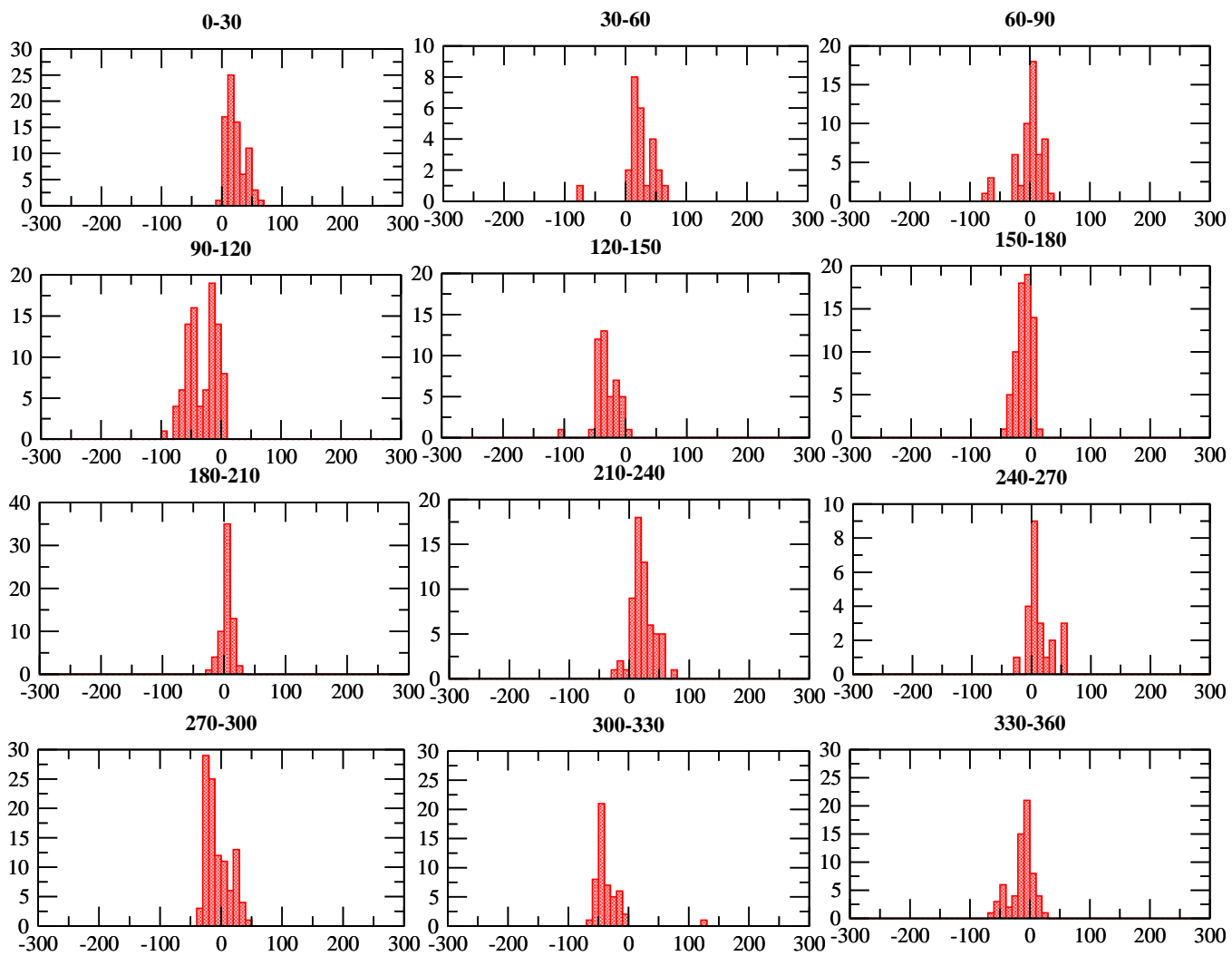


Figura 4.9: Histogramas de velocidade radial de regiões HII ópticas.

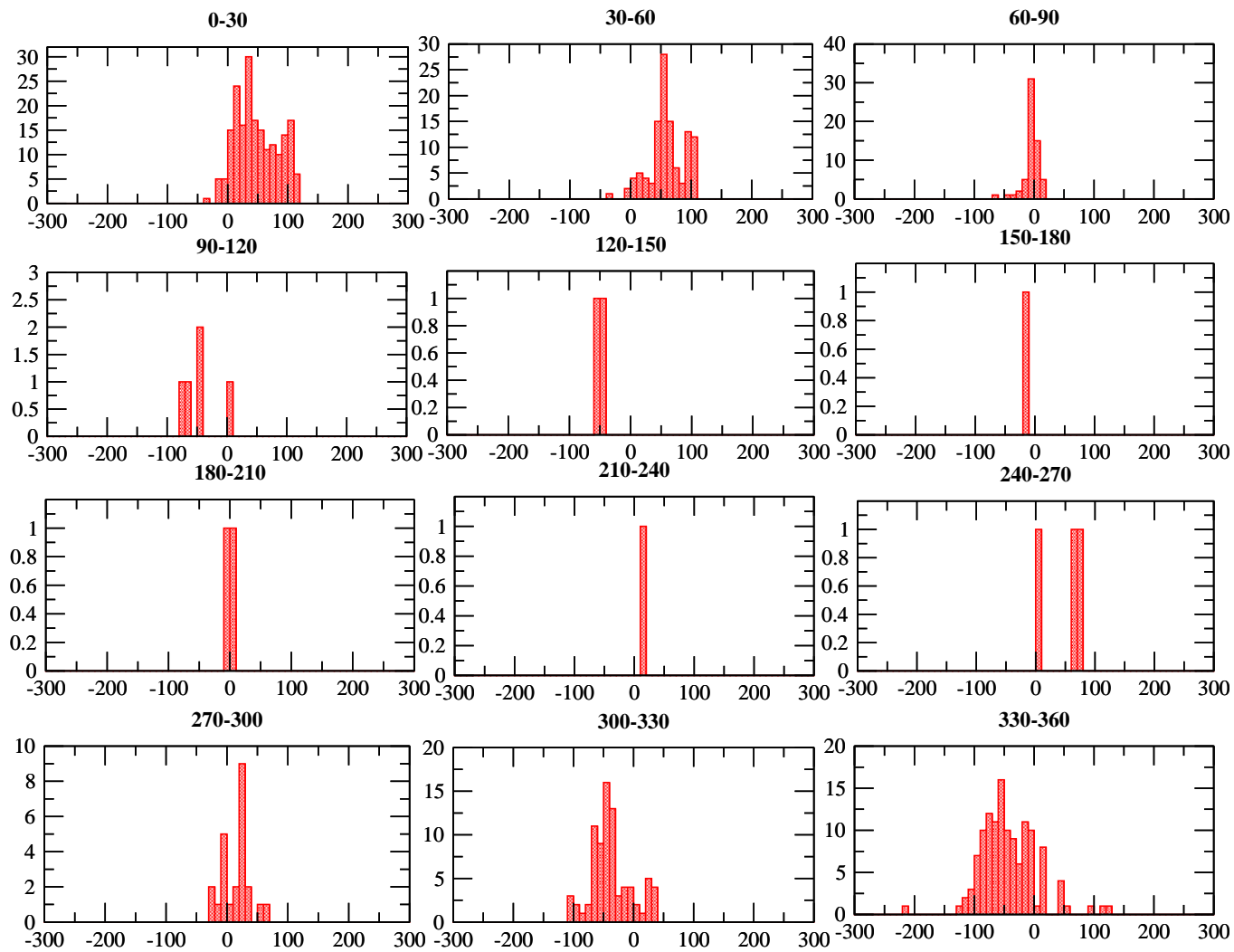


Figura 4.10: Histogramas de velocidade radial de regiões III em rádio.

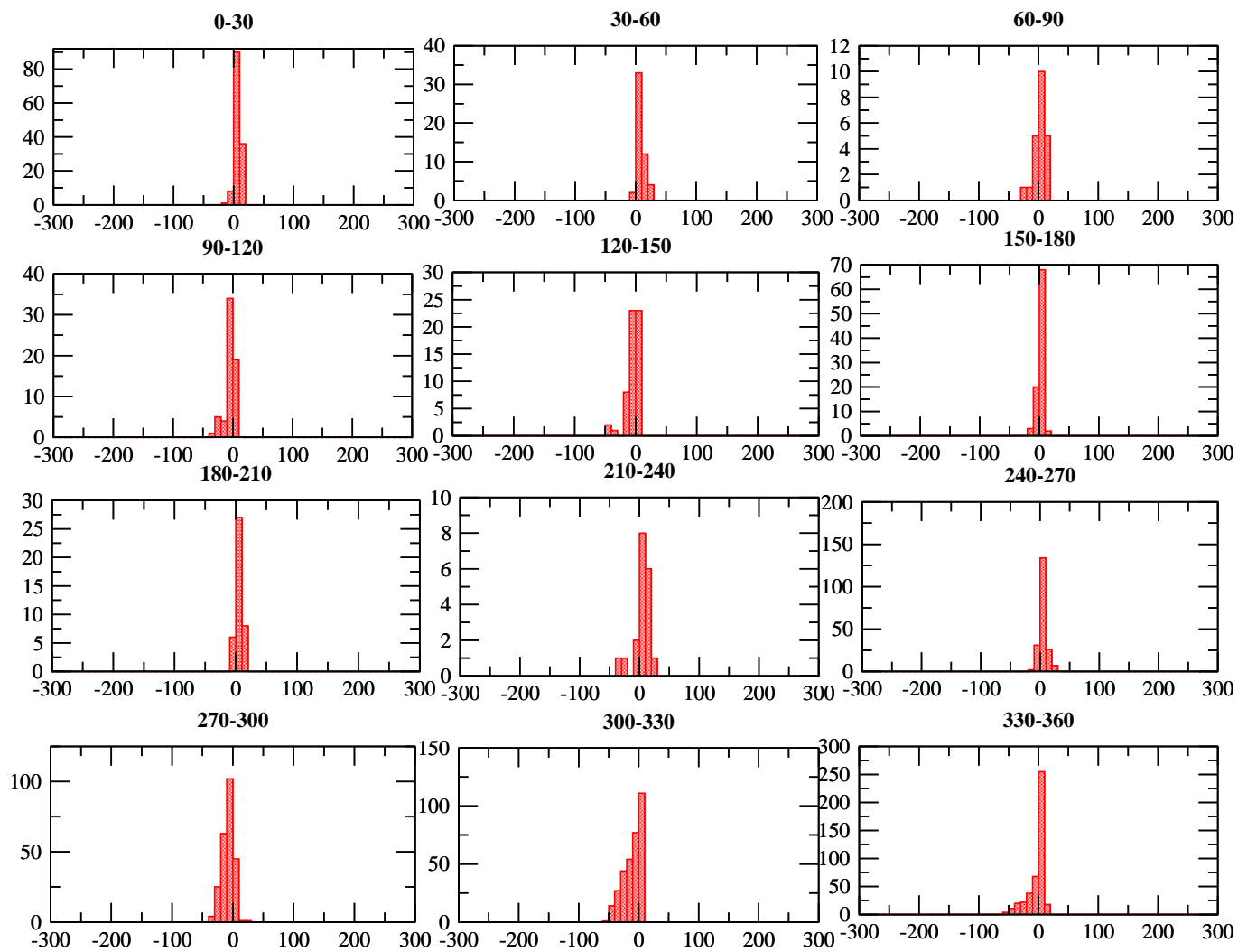


Figura 4.11: Histogramas de velocidade de nuvens escuras.

A característica mais marcante dos histogramas de distribuição de velocidades para as nuvens moleculares (Figura 4.8) é a simetria que existe entre as seções de longitude $330 - 360^\circ$ e $0 - 30^\circ$, isto é, 30° deslocados para a direita e esquerda do centro na Galáxia. É marcante também a grande largura da distribuição.

Para analisar melhor essa simetria, apresentamos os dois setores em um mesmo gráfico (Figura 4.12).

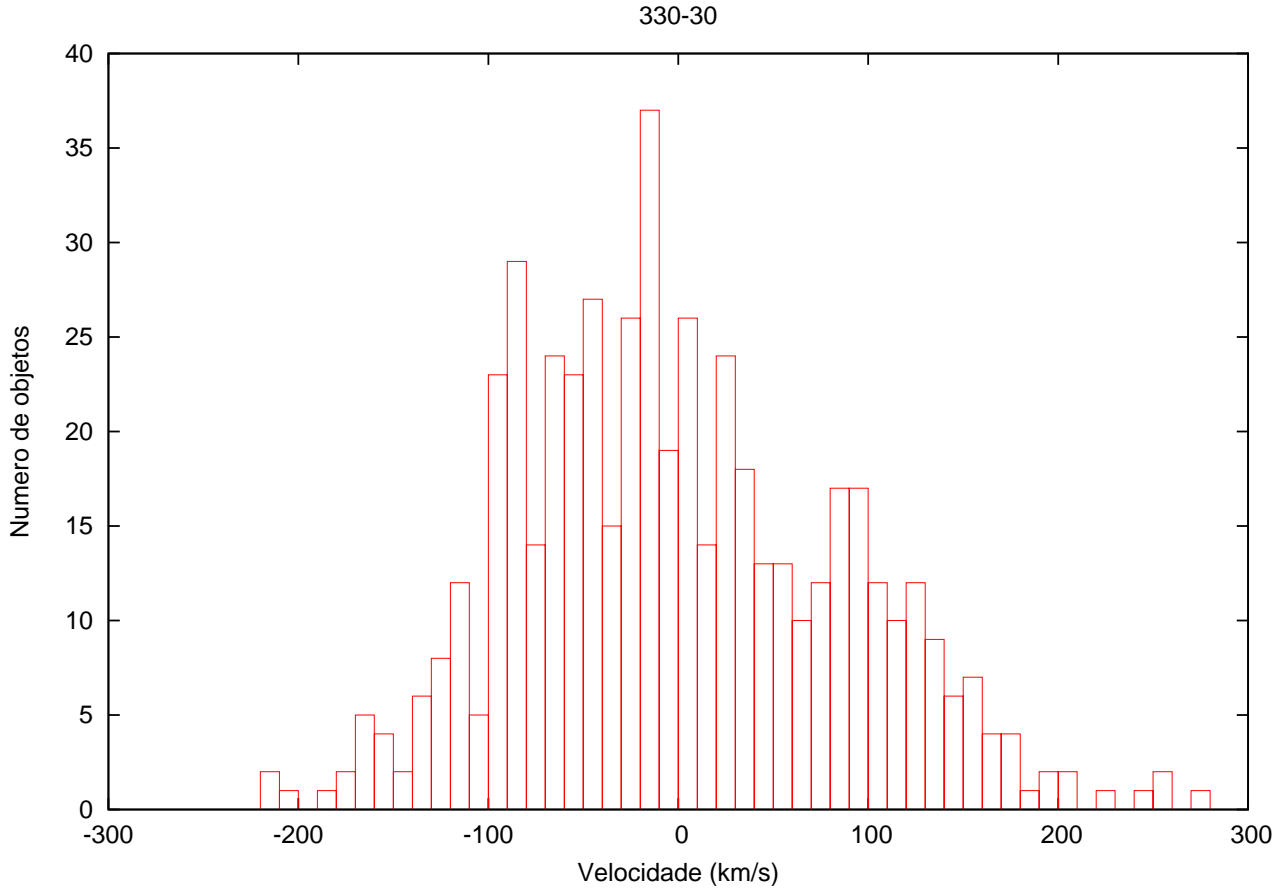


Figura 4.12: Histograma central das nuvens moleculares

Se houvesse um disco simétrico rotando na direção do centro, veríamos esses dois setores exatamente simétricos. Portanto, a falta de simetria pode indicar a presença de estruturas, como braços espirais.

Podemos calcular a obliquidade desta distribuição que resultará em uma medida de sua assimetria. A obliquidade de uma distribuição é definida como:

$$\gamma = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (4.1)$$

onde μ_3 é o terceiro momento central da distribuição e σ o desvio padrão.

Se o terceiro momento é dado por:

$$\mu_3 = \frac{\sum v_i^3}{N} \quad (4.2)$$

e o desvio padrão por:

$$\sigma = \left(\frac{1}{N} \sum (v_i - \bar{v})^2 \right)^{1/2} \quad (4.3)$$

então, a obliquidade da distribuição é:

$$\gamma = \frac{\sqrt{N} \sum v_i^3}{(\sum (v_i - \bar{v})^2)^{3/2}} \quad (4.4)$$

Se o valor da obliquidade for 0, significa que a distribuição é simétrica. Se for positiva, então a distribuição é mais concentrada no lado direito e, se for negativa, então a distribuição é mais concentrada no lado esquerdo.

O programa `Octave` já possui funções para calcular a média (`mean`) e obliquidade (`skewness`) e os resultados obtidos foram:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= -0.21 \text{ km/s} \\ \gamma &= 0.34 \end{aligned}$$

Esses resultados mostram que a distribuição de velocidades das nuvens moleculares em direção do centro da Galáxia em um setor de $\Delta l = 60^\circ$ é levemente deslocada para a direita na figura, ou seja, do domínio de velocidades positivas.

Outras características dessa distribuição de velocidades são a grande concentração de objetos na parte central, o amplo domínio de velocidades, e no anti-centro as velocidades tendendo a zero. Isso mostra que a direção de predominância das nuvens moleculares é a do centro da Galáxia.

Para as regiões HII ópticas (Figura 4.9) as distribuições de velocidades são semelhantes em quaisquer setores mostrando a uniformidade de distribuição ao redor do Sol. Também existe uma simetria na região central, mas com uma menor amplitude de valores de velocidade. Na Figura 4.13 observamos essa simetria.

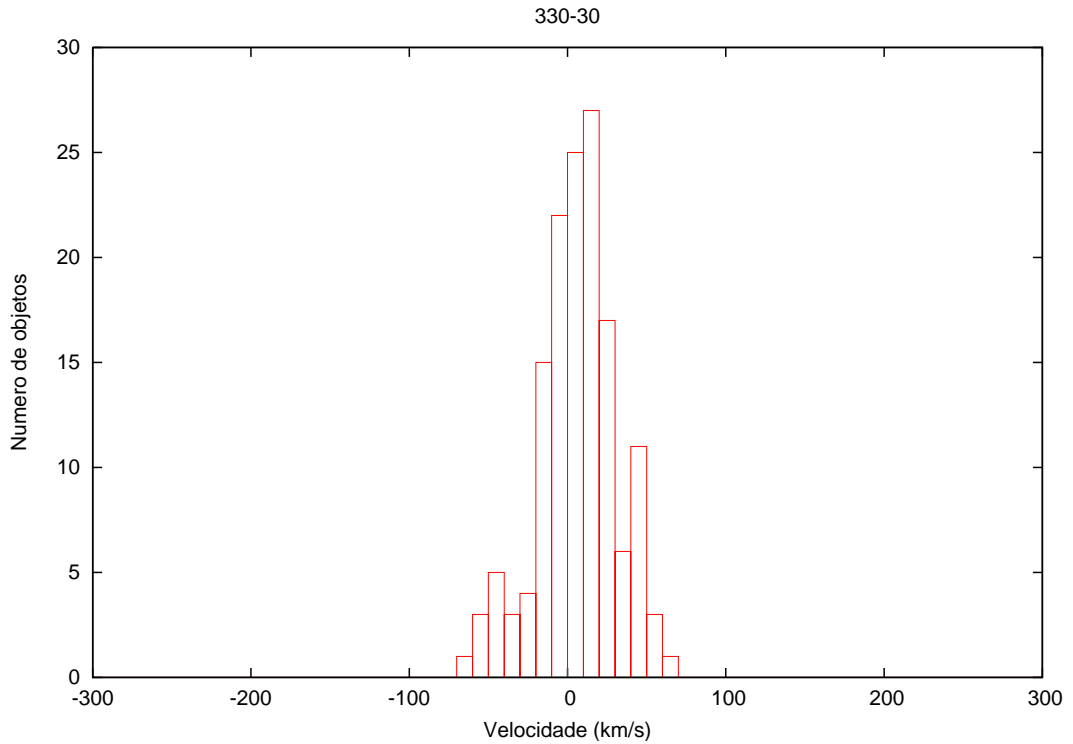


Figura 4.13: Histograma central das regiões HII ópticas

Os resultados obtidos para a média e a obliquidade da distribuição de velocidades das regiões HII ópticas são:

$$\bar{v} = 6.0 \text{ km/s}$$

$$\gamma = -0.32$$

Já para as regiões HII em rádio (Figura 4.10) a distribuição de velocidades é ampla no centro e tende a zero no anti-centro. Estas amplitudes, assim como nas nuvens moleculares (Figura 4.8), indicam efeitos de profundidade pela transparência dos comprimentos de onda em rádio.

A distribuição de velocidades de regiões HII em rádio em direção ao centro da Galáxia apresenta obliquidade nas regiões negativas, aproximadamente com o mesmo módulo que para as nuvens moleculares e regiões HII ópticas.

$$\bar{v} = 13.40 \text{ km/s}$$

$$\gamma = -0.34$$

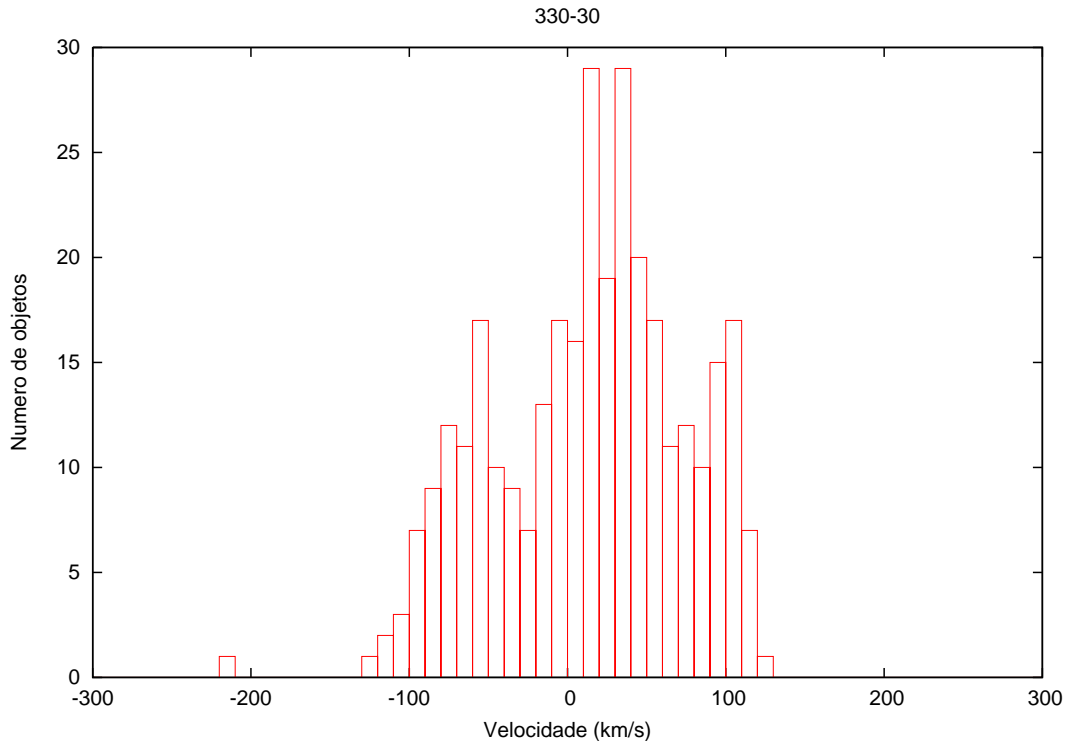


Figura 4.14: Histograma central das regiões HII em rádio

Por fim, as nuvens escuras (Figura 4.11) apresentam velocidades radiais próximas a zero. Esta distribuição estreita acontece porque elas estão localizadas predominantemente em braços próximos.

Além disso, a região central apresenta uma distribuição de velocidade com muito pouca amplitude de velocidade e bastante assimetria, como pode ser visto na Figura 4.15. A obliquidade é bastante alta, indicando uma grande concentração em velocidades negativas.

$$\bar{v} = -0.90 \text{ km/s}$$

$$\gamma = -1.83$$

Concluimos que, pelo fato de vermos distribuições largas de nuvens moleculares e regiões HII em rádio, indica que estamos tratando de nuvens distantes na direção do centro da Galáxia, enquanto que as estreitas distribuições para regiões HII ópticas e nuvens escuras, indicam que estão preferencialmente em braços próximos.

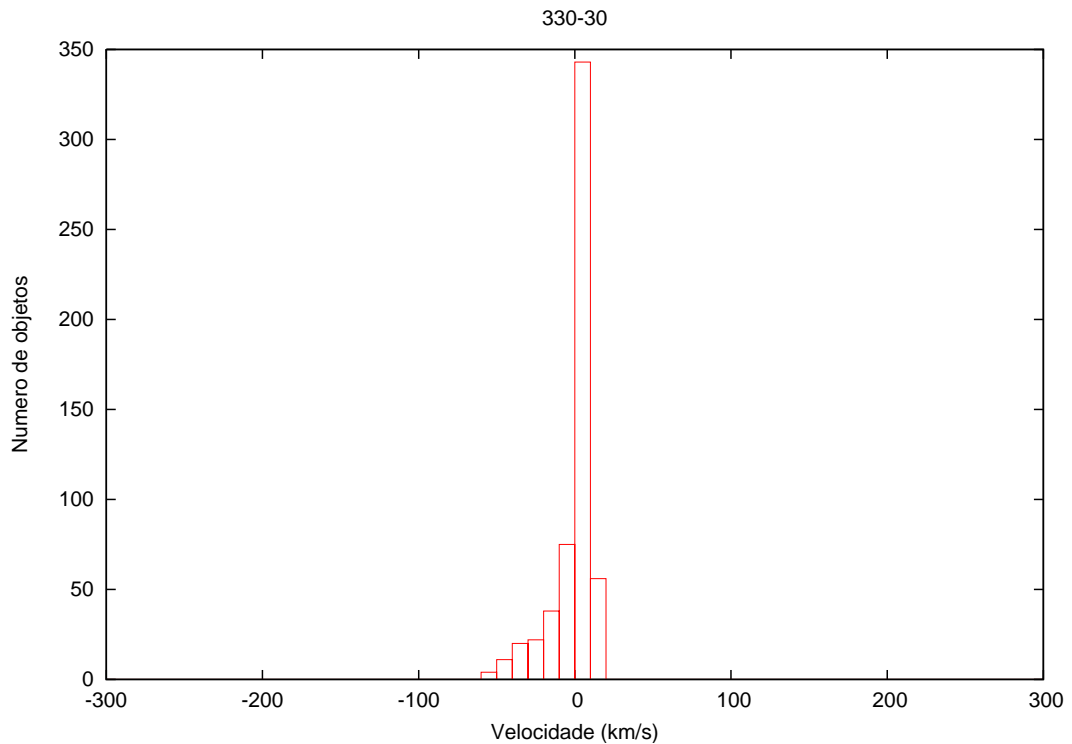


Figura 4.15: Histograma central das nuvens escuras.

4.5 Diagramas (l,v)

O diagrama (l,v), longitude x velocidade radial, fornece pistas sobre a cinemática das nuvens. Ele é construído a partir da longitude e velocidade radial de cada objeto. A Figura 4.18 mostra o diagrama (l,v) do nosso catálogo.

Como dito anteriormente, o catálogo original continha além de dados como coordenadas, velocidades, etc, algumas nuvens possuíam informações como a qual componente pertenciam. Fazendo uma busca pelo nome dos braços no catálogo original, as nuvens de uma determinada estrutura podem ser facilmente isoladas, graficadas e devidamente identificadas a que braços pertencem, se o número de objetos for suficiente.

Vamos tomar como exemplo o Braço de Sagittarius-Carina, que é o braço com maior quantidade de nuvens do nosso catálogo, para mostrar como é a forma de um braço espiral no diagrama (l,v). Um esboço de uma braço similar, que se encontra no primeiro e quarto quadrantes da nossa Galáxia, e seu respectivo diagrama (l,v) são mostrados nas Figuras 4.16 e 4.17 (Elmegreen, 1998).

As velocidades positivas mais altas ocorrem na região mais próxima ao centro Galáctico. O ponto tangencial T é o ponto de velocidade radial máxima. A parte B está próxima ao Sol e, portanto, a velocidade radial se aproxima de zero. Na parte C o braço está no quarto

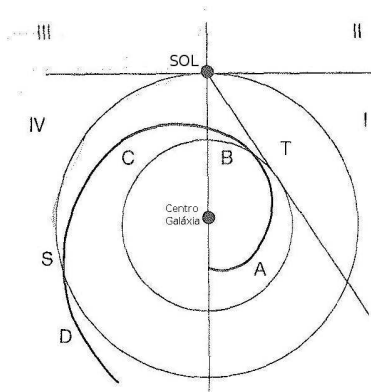


Figura 4.16: Braço espiral interno hipotético.

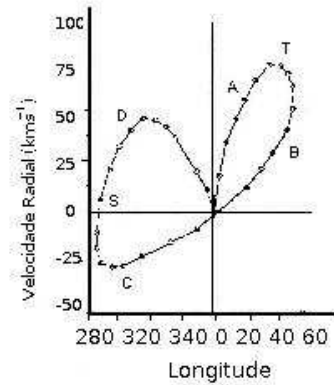


Figura 4.17: Diagrama (l,v) do braço espiral interno hipotético.

quadrante cruzando o círculo Solar em S, onde a velocidade tende a zero novamente. Fora do círculo solar (parte D), a velocidade se torna positiva.

As formas desses laços podem ser identificadas no nosso diagrama (Figura 4.18) ao juntarmos as componentes do braço Sagittarius-Carina. Essas componentes são o lado distante do braço (FarSgtCar), nuvens moleculares do braço (mol SgrCar) e suas regiões HII ópticas (SgtCarÓticas). Esse comportamento em forma de laço é identificado também para os braços internos de Norma e Scutum-Crux. Os braços Local e os braços externos de Perseus e Externo não formam laços no diagrama, mas seguem uma curva suave passando pelo anti-centro (Figura 4.18). Podemos ainda nesta figura identificar efeitos de rotação e traçar todos os braços e demais componentes.

Componentes centrais como o braço de 3 km, disco central, Clumps 1 e 2 são discutidos na seção 4.6.

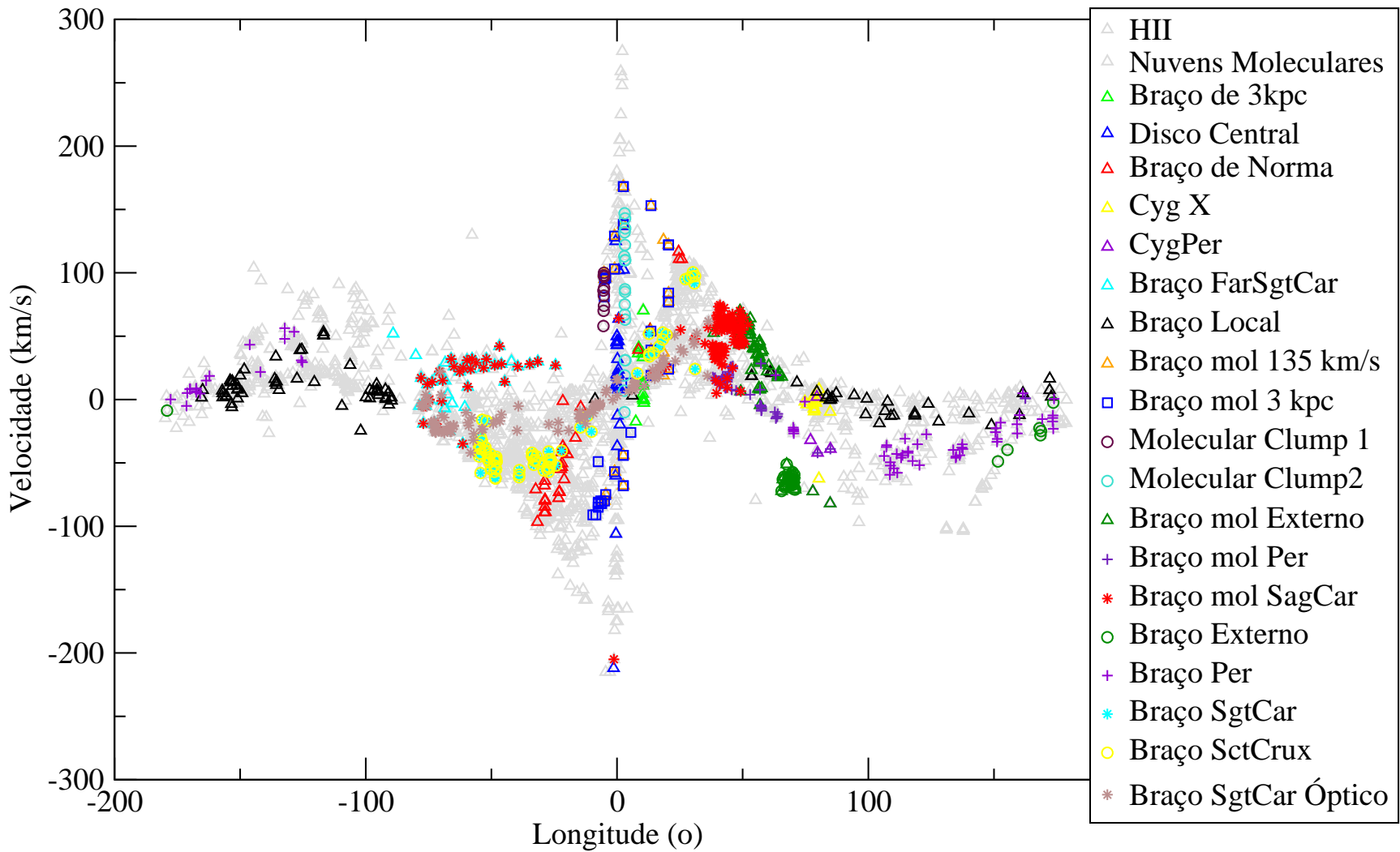


Figura 4.18: Diagrama (L, V) para toda a amostra. Braços e componentes conhecidos são indicados. Os ramos simétricos em forma de "S" indicam a rotação do disco Galáctico.

4.6 Análise da parte central da Galáxia

Na seção 4.5 vimos o diagrama (l,v) geral do nosso catálogo de nuvens moleculares, regiões HII ópticas e rádio e nuvens escuras. Este diagrama tem como característica altas velocidades na região central da Via Láctea. A Figura 4.19 é uma ampliação do diagrama (l,v) (Figura 4.18) para longitudes entre -50 e 50. Os dois ramos simétricos indicam a rotação do disco Galáctico.

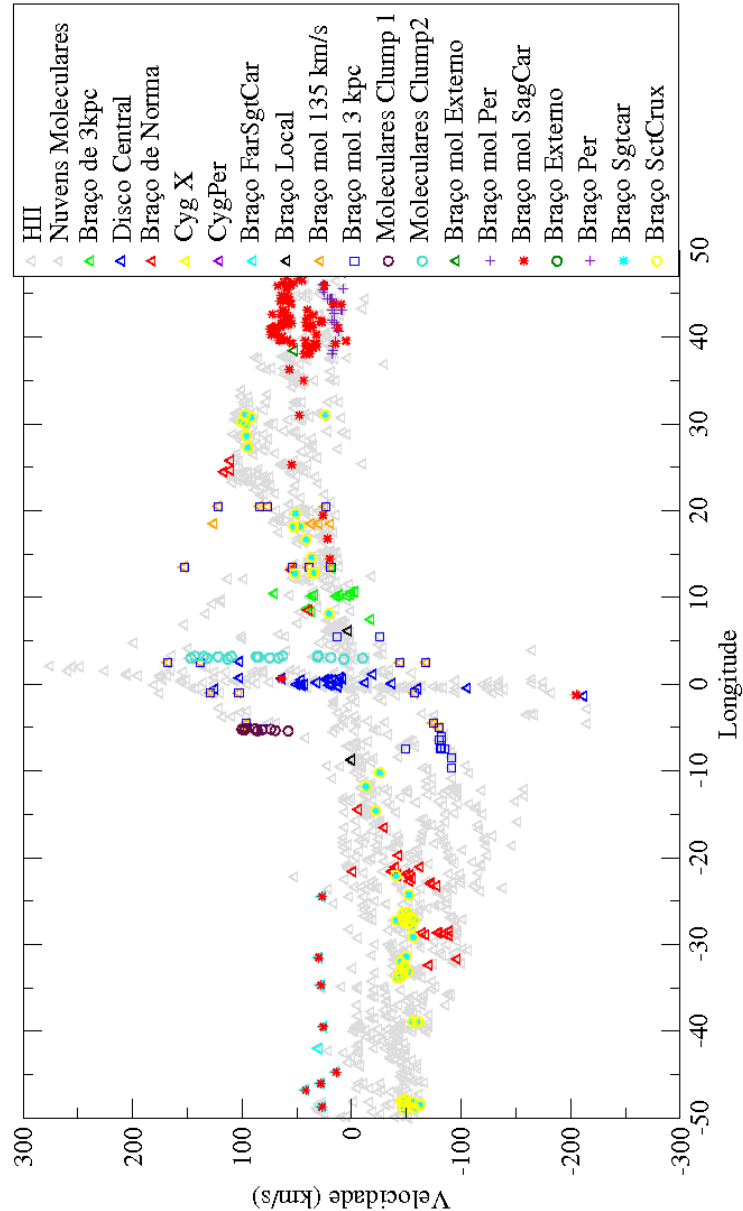


Figura 4.19: Ampliação da Figura 4.18 incluindo longitudes entre -50 e +50 graus. O pico central de altas velocidades é evidente.

Podemos fazer uma ampliação ainda maior para observar a distribuição de altas velocidades centrais. A região central, entre $l = -5^\circ$ e $l = 5^\circ$ (Figura 4.20), apresenta um máximo em módulo de velocidade com o pico atingindo velocidade da ordem de 250 km/s. Os novos ramos simétricos observados com a ampliação no gráfico se estendem ao centro e indicam a alta rotação do disco central. Componentes centrais como os Clumps 1 e 2 podem ser observadas também.

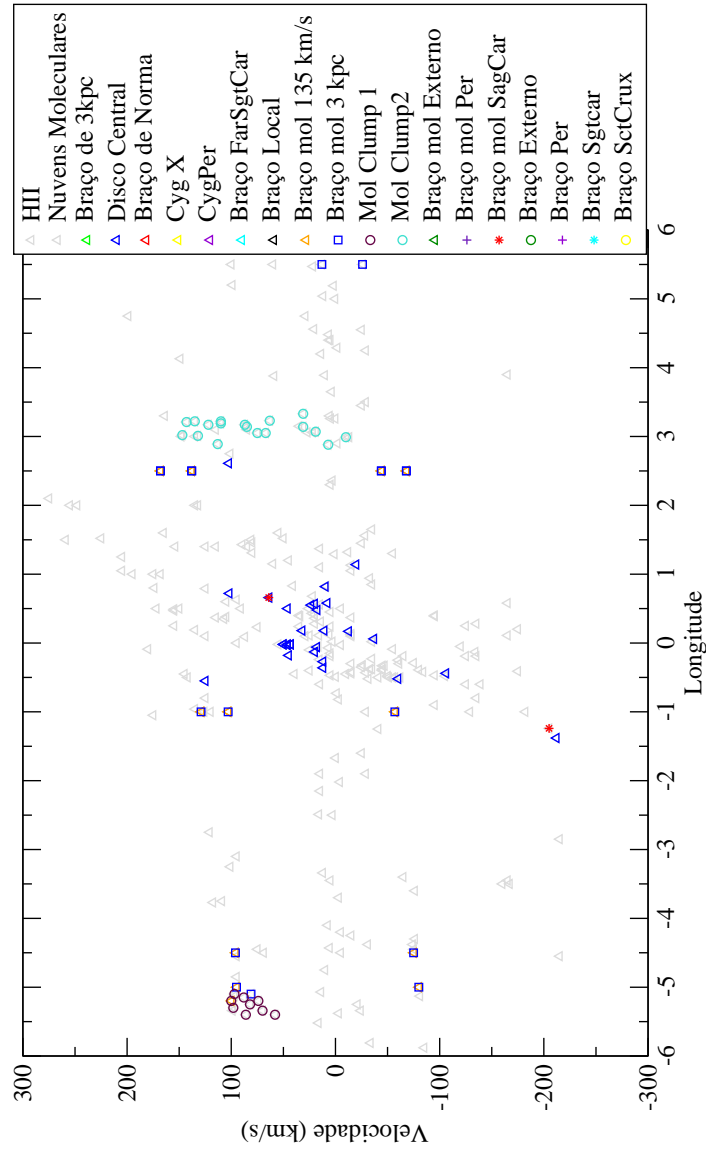


Figura 4.20: Ampliação da região central da Galáxia com longitudes entre -5 e $+5$ graus. Os ramos simétricos em forma de "S" neste caso indicam a rotação do disco central com altas velocidades radiais.

4.6.1 Interpretação das Altas Velocidades Centrais

Diversas interpretações foram feitas a respeito dos altos valores dos módulos de velocidade de nuvens em regiões centrais da Galáxia. Porém, no passado, as amostras eram menores e os dados de menor resolução. Rohlfs & Braunsfurth (1982) sugeriram que o centro Galáctico tem como vizinhança um disco molecular excêntrico se expandindo com velocidade de 100km/s . Bania et al. (1986a) estudaram o Clump1, um complexo de nuvens moleculares (Figuras 4.19 e 4.20), e notaram que ele apresenta as velocidades não circulares mais altas que qualquer outro material molecular conhecido na Via Láctea. Bally et al. (1988) trabalharam na derivação do movimento circular e morfologia de objetos isolados, como as nuvens em $l = 3^\circ$ (Clump 2) e sugeriram que o gás se move em órbitas alongadas. Já para Saito (1990), as nuvens moleculares entre $l = 1^\circ$ e $l = 2^\circ$ seriam os segmentos que sobraram de ondas de choques circulares resultante de uma explosão nuclear que teria ocorrido a 1 Mano atrás. Dame & Thaddeus (1985) chamaram o pico central de velocidades l, v de disco nuclear. Recentemente, Fujii et al. (2006) sugeriram que as altas velocidades centrais estão associadas com um barra interna. Não se deve confundir a barra interna com a barra externa, medida com gigantes vermelhas, com raio que chega a 4,5 kpc (Cabrerá-Lavers et al., 2007). Há portanto interpretações distintas sobre a distribuição das altas velocidades. Nos resultados mais recentes, por exemplo, são na direção de um disco nuclear (Dame & Thaddeus, 1985) de uma barra central (Fujii et al., 2006). Os novos dados do presente estudo também apontam nesta direção (Seção 4.6.2).

No diagrama (l, v) da nossa amostra total (Figura 4.18), pode-se notar a existência uma simetria já comentada na distribuição das nuvens em relação ao eixo das velocidades e eixo das longitudes. Esta simetria se deve ao fato de que a maior parte das nuvens está localizada no disco Galáctico em rotação. Isso significa que se o disco fosse homogêneo, uma nuvem localizada em uma longitude l com uma velocidade v , teria outra nuvem correspondente com longitude $l-360$, velocidade $-v$ e mesma distância ao centro da Galáxia. Caso esta nuvem estivesse fora deste padrão simétrico, ela poderia fazer parte de uma estrutura como uma barra com velocidade não circulares.

Com o objetivo de analisar melhor a simetria na parte central (Figura 4.20), construímos novamente o diagrama (l, v) para as nuvens com longitude de 0 a 7 graus e velocidades positivas acrescido de nuvens com longitudes entre 353 e 360 e velocidades negativas rebatidas conforme exemplificado na Figura 4.21. A curva vermelha nesta figura representa uma curva de rotação, a curva azul seria o rebatimento em velocidade do terceiro quadrante da figura e a curva verde seria o rebatimento da curva azul em longitude. O resultado do rebatimento para a amostra do nosso catálogo pode ser visto na Figura 4.22. Os círculos vermelhos são as nuvens em sua posição original no diagrama e os quadrados azuis são as nuvens rebatidas. Esse rebatimento tem por objetivo melhorar a estatística de pontos.

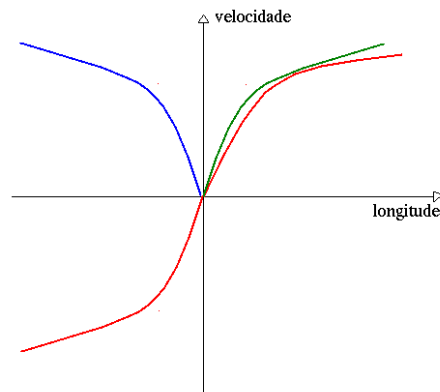


Figura 4.21: Exemplificação do rebatimento de nuvens para melhorar a estatística da amostra.

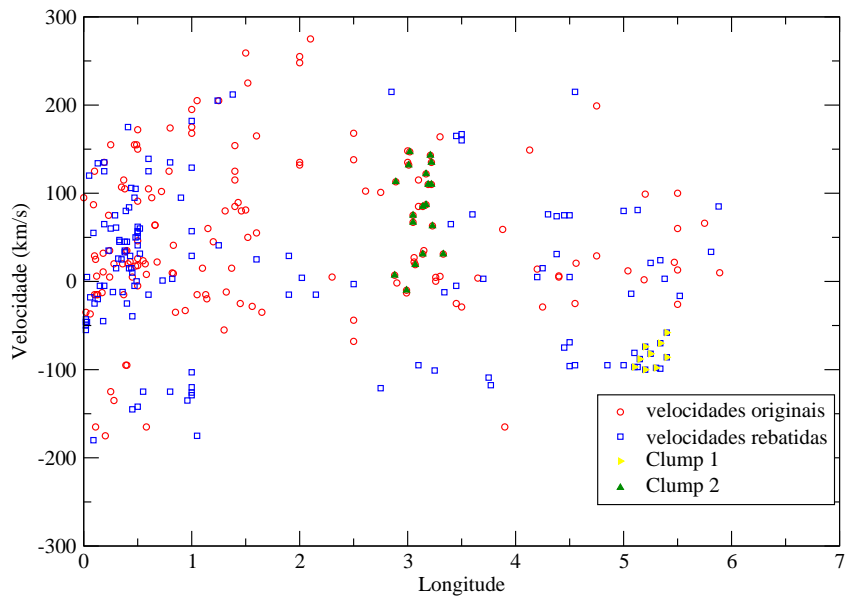


Figura 4.22: Ampliação da região central da Galáxia com longitude até 7 graus. As nuvens entre $353 < l < 360$ estão rebatidos e superpostas.

Há também no gráfico duas componentes da parte central presentes nesse domínio de longitudes, o Clump 1 e Clump 2. Uma região que chama a atenção neste gráfico são as nuvens com $v < 0$. Esse conjunto de pontos não segue a rotação da Galáxia e é conhecida como zona proibida à região de rotação da galáxia. Uma interpretação possível é que este conjunto de pontos teria sua contrapartida pontos com $v > 0$ sugerindo uma cinemática de barra, conforme mostrado por Fujii et al. (2006), que estudou outros objetos na mesma região como Masers em AGBs.

No presente trabalho, aumentamos significativamente o número de nuvens com evidência de velocidades não circulares.

4.6.2 Curva de Rotação Central

A curva de rotação Central da Via Láctea poder ser estimada através do diagrama (l, v) do nosso catálogo.

O primeiro passo é calcular a distância das nuvens ao centro da Galáxia. A Figura 4.23¹ mostra três nuvens em uma mesma longitude l . A nuvem C está localizada em um ponto onde o ângulo entre a distância galactocêntrica da nuvem, R , e a distância do Sol à nuvem, R_0 , é de 90° .

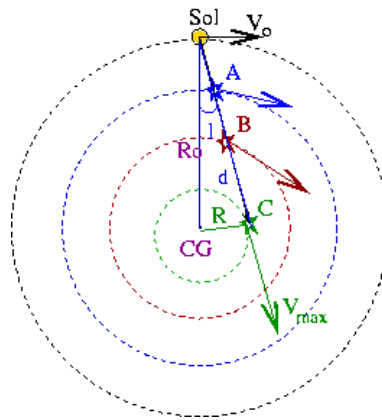


Figura 4.23: As setas mostram as velocidade máximas que são tangentes às orbitas

Por trigonometria, temos que a distância galactocêntrica R é dada por:

$$R = R_0 \times \text{sen}(l) \quad (4.5)$$

Para nuvens que não formam o ângulo de 90° entre R e a distância do Sol à nuvem, este método não pode ser aplicado para o cálculo de R , pois teríamos que conhecer este ângulo para utilizar trigonometria.

¹<http://www.astro.ufrgs.br/vialac/node5.htm> acesso em 06/08/2008

Supondo que para nuvens que possuem a mesma distância galactocêntrica, a que possui maior velocidade da linha de visada é justamente a nuvem que com velocidade tangente à curva, então a curva de rotação central da Galáxia pode ser estimada como sendo a envoltória dos pontos no Gráfico 4.24, incluindo os rebatidos explicados na seção anterior.

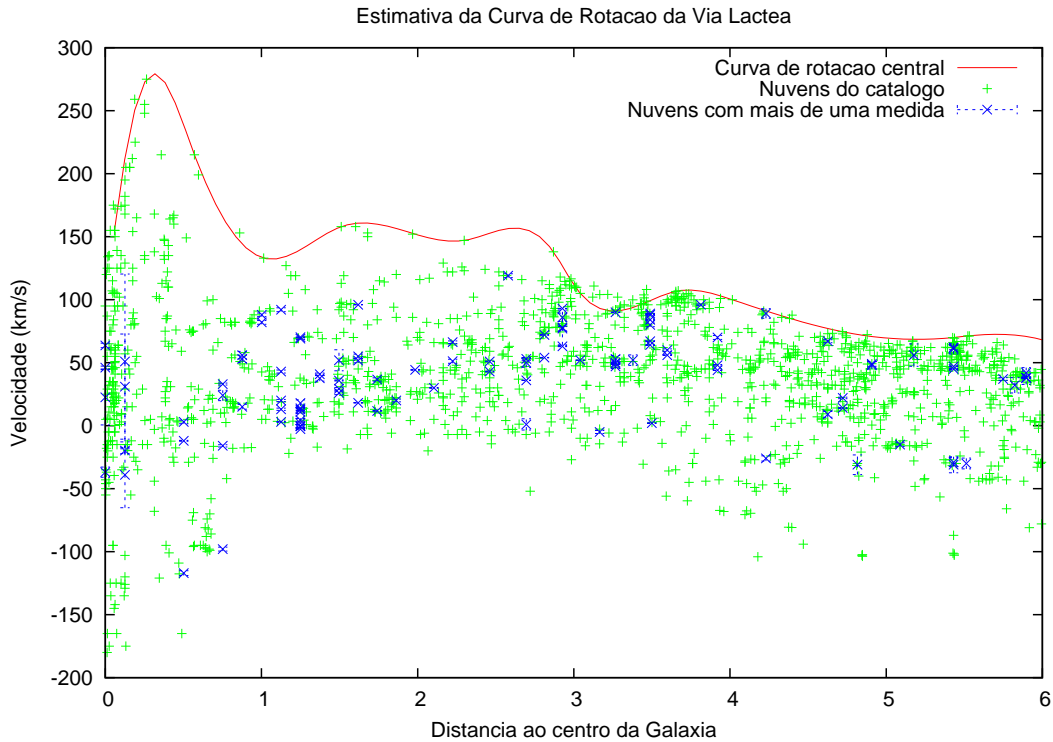


Figura 4.24: Curva de rotação central da Via Láctea estimada. Sem a correção geométrica das velocidades pelo afastamento angular das nuvens em relação ao centro. Essa correção é desprezível até aproximadamente 3 kpc do centro.

Essa envoltória foi calculada com o auxílio do programa que converte a longitude para distância galactocêntrica com a Equação 4.5 e um valor de $R_0 = 7.2$ kpc (Bica et al., 2006), executa uma varredura a cada 0,5 kpc e guarda o maior valor de velocidade. Com os pontos máximos foi aplicado o método de interpolação numérica *spline* cúbico para gerar a curva vista. As nuvens que apresentam mais de uma medida de velocidade radial são graficadas em azul junto com o seus respectivos erros. O erro padrão das medidas em velocidade são da ordem de 1 km s^{-1}

Concluimos que o comportamento da curva de rotação interna ao kpc central da Galáxia indica rotação não rígida e que a cinemática observada indica um disco central de alta rotação.

Capítulo 5

Conclusão

Estudamos a Via Láctea de duas formas neste trabalho.

- Na primeira parte, estudamos as 1143 galáxias sintéticas que o programa que calcula formação e evolução da Via Láctea, o GALFORM, produziu Cole et al. (2000). Dessas galáxias, 151 apresentam massa similar à Via Láctea, mas nenhuma apresenta proporção de massa dos componentes como a nossa Galáxia. Isso sugere que, ou a Via Láctea é extremamente rara no universo, o que parece muito improvável e o GALFORM deve ser aprimorado.
- A presente análise da formação de aglomerados globulares mostrou que apenas 8 das 1143 galáxias simuladas possuíam um duplo pico na distribuição de metalicidades. A galáxia de número 666 foi a que melhor reproduziu os picos de metalicidade da Via Láctea, embora seus aglomerados globulares sejam levemente mais metálicos e mais jovens. O número de aglomerados globulares formados está de acordo com a observação, levando em conta a evolução dinâmica dos mesmos. A análise da formação de aglomerados globulares pode ser melhorada com inclusão de fenômenos dinâmicos.
- Como perspectiva, pretendemos comparar outros modelos de formação de galáxias com a Via Láctea. Pretendemos também analisar outras galáxias próximas como as Nuvens de Magalhães e Andrômeda.
- Na segunda parte, compilei o mais completo catálogo de velocidades radiais de nuvens moleculares, regiões HII e nuvens escuras até o momento com 4380 objetos.
- Estudamos as distribuições de velocidades da amostra de regiões HII de rádio e óticas, nuvens moleculares e nuvens escuras. Efeitos de profundidade ficaram evidentes, especialmente para nuvens moleculares e nuvens escuras na direção do centro da Galáxia.
- Construimos diagramas (l,v) , em particular para a parte central $v < 4^0$ da Galáxia onde se acham evidências cinemáticas de um disco de alta rotação junto com objetos

com movimentos não circulares sugerindo a existência de uma barra. Estimamos também a curva de rotação central da Galáxia.

- Como perspectiva, a transformação de velocidades radiais em distâncias cinemáticas é um estudo que pretendemos realizar com para toda a amostra do disco Galáctico, semelhantemente feito por Russeil (2003), mas ao invés de utilizar objetos agrupados em complexos, pretende-se usar os objetos individuais catalogados. Com isso, será possível analisar a estrutura espiral da nossa Galáxia em maior detalhe.

Apêndice A

Tabela de referências

Tabela A.1: Fontes de objetos e/ou velocidades.

Nome	Referencia	Tipo de objeto	Número
G	Reifenstein et al. (1970)	regiões HII de rádio	120
G	Wilson et al. (1970)	regiões HII de rádio	149
G	Downes et al. (1980)	regiões HII de rádio	262
G	Caswell & Haynes (1987)	regiões HII de rádio	316
G	Lockman (1989)	regiões HII de rádio	462
G	Kuchar & Clark (1997)	regiões HII de rádio	760
G	Wendker (1970)	regiões HII de rádio	78 ¹
W	Westerhout (1958)	fontes de rádio	82
CTB	Wilson & Bolton (1960)	fontes de rádio	110
CTB	Wilson (1963)	fontes de rádio	113
MM	Moran (1965)	fontes de rádio	51
LMH	Large et al. (1961)	fontes de rádio	51
G	Kurtz et al. (1994)	regiões HII de rádio	79
AMWW	Altenhoff et. al. (1960)	regiões HII de rádio	60 ²
Kuz	Kuz'min et al. (1960)	fontes de rádio	57 ¹
18P	Wendker et al. (1991)	fontes de rádio	103 ¹
19P	Wendker et al. (1991)	fontes de rádio	48 ¹
ECX	Wendker et al. (1991)	fontes de rádio	41 ¹
ON	Rinsland et al. (1975)	fontes de rádio	239
BBW	Bok et al. (1955)	nebulosas ópticas	41

¹Cygnus X

²Referência não disponível no ADS - Altenhoff, W., Mezger, P. G., Wendker, H., Westerhout, G., 1960, Publ. Univ. Bonn Obs., 59, 48

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Nome	Referencia	Tipo de objeto	Número
BFS	Blitz et al. (1982)	nebulosas ópticas	65 ³
Ber	Bernes (1977)	nebulosas ópticas de reflexão	102
Bran	Brand & Blitz (1993)	nebulosas ópticas	523
Ced	Cederblad (1946)	nebulosas ópticas	215
DoC	Dottori & Carranza (1971)	nebulosas ópticas de emissão	46 ⁴
DG	Dorschner & Gürtler (1963)	nebulosas ópticas de reflexão	192
DWB	Dickel et al. (1969)	nebulosas ópticas	193
ESO	Lauberts (1982)	nebulosas ópticas	170
GeGe	Georgelin & Georgelin (1970c)	regiões HII ópticas	38
GG	Georgelin & Georgelin (1970a)	regiões HII ópticas	8
GGD	Gyulbudaghian et al. (1978)	nebulosas ópticas	37
GM1-	Gyul'Budagyan & Magakyan (1977a)	nebulosas ópticas	79
GM2-	Gyul'Budagyan & Magakyan (1977b)	nebulosas ópticas	42
Gum	Gum (1955)	nebulosas ópticas de emissão	97 ³
Gy1-	Gyul'Budagyan (1982a)	nebulosas ópticas	21
Gy2-	Gyul'Budagyan (1984)	nebulosas ópticas	12
Gy3-	Gyulbudagyan (1984)	nebulosas ópticas	5
Gy82-	Gyul'Budagyan (1982b)	nebulosas ópticas	13
G-Halpha	Georgelin et al. (2000)	regiões HII ópticas	7
R-Halpha	Russeil (1997)	regiões HII ópticas	14
Hoffleit	Hoffleit (1953)	nebulosas ópticas	69
HHL	Gyulbudaghian et al. (1987)	nebulosas ópticas	77
LBN	Lynds (1965)	nebulosas ópticas	1125
Munch	Munch (1955)	nebulosas ópticas de emissão	34
NS	Neckel & Staude (1984)	nebulosas ópticas	20
Parsamian	Parsamian (1965)	nebulosas ópticas	23
PP	Parsamian & Petrosian (1979)	nebulosas ópticas	106
Re	Reipurth (1981)	nebulosas ópticas	16
RCW	Rodgers et al. (1960)	nebulosas ópticas de emissão	183 ³
RNO	Cohen (1980)	nebulosas ópticas	150
S50-	Stromeier (1950)	nebulosas ópticas	42
Sh1	Sharpless (1953)	nebulosas ópticas de emissão	142 ³
Sh2	Sharpless (1959)	nebulosas ópticas de emissão	313 ³
Sivan	Sivan (1974)	nebulosas ópticas de emissão	12 ³

³Velocidades CO⁴a maior parte são regiões HII

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Nome	Referencia	Tipo de objeto	Número
TRCMG	Torrelles et al. (1983)	nebulosas ópticas	22
vdB-RN	van den Bergh (1966)	nebulosas ópticas de reflexão	159
vdBH-RN	van den Bergh & Herbst (1975)	nebulosas ópticas de reflexão	136
Wray	Wray (1966)	nebulosas de emissão	427 ⁵
Several	Georgelin & Georgelin (1970b)	regiões HII ópticas	174
Sh2 & BFS	Fich et al. (1990)	regiões HII ópticas	284 ⁶
RCW&H- α	Georgelin et al. (1994)	regiões HII ópticas	23
Sh2 & Bran	Brand & Blitz (1993)	regiões HII ópticas	2
Several	Dutra & Bica (2002)	nuvens escuras	1902 ⁷
GCBT	Grabelsky et al. (1988)	nuvens de CO	43
VelaMR	Murphy & May (1991)	nuvens de CO	4
DBT	Digel et al. (1990)	nuvens de CO	32
M-	Coil & Ho (2000)	nuvens de NH	21 ⁸
Several	Dame & Thaddeus (1985)	nuvens de CO	10 ⁹
NBT	Nyman et al. (1989)	nuvens de CO	4
LT	Leung & Thaddeus (1992)	nuvens de CO	5
Various	Dame et al. (2001)	nuvens de CO	18 ^{8 10}
DDT	Digel et al. (1990)	nuvens de CO	15 ¹¹
DECT	Dame et al. (1986)	nuvens de CO	34
CT	Cohen & Thaddeus (1977)	nuvens de CO	60 ⁹
JBW	Jacq et al. (1988)	nuvens de CO	181 ¹²
Sod	Sodroski (1991)	nuvens de CO	69
Clump 1 & 2	Bania (1977)	nuvens de CO	2
Clump1	Bania et al. (1986b)	nuvens de CO	8 ¹³
Clump2	Stark & Bania (1986)	nuvens de CO	16 ¹⁴
M-	Huettmeister et al. (1993) &	nuvens de CO	21 ¹⁵
B	Bania (1986)	nuvens de CO	27

⁵esse catálogo contém na maior parte nebulosas planetárias, mas algumas são regiões HII incluídas no presente estudo

⁶a maioria é regiões HII, mas alguns poucos objetos são supernovas e nebulosas planetárias que não estão incluídas

⁷para detalhes de objetos individuais, veja a referência

⁸nuvens nucleares, veja também Coil & Ho (1999) e Guesten et al. (1981)

⁹nuvens da vizinhança solar

¹⁰medido por E. Bica

¹¹galáxia externa

¹²medido em parte por E. Bica

¹³nuvens Clump 1

¹⁴nuvens Clump 2

¹⁵veja também Huettmeister et al. (1998)

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Nome	Referencia	Tipo de objeto	Número
BABMT	Bitran et al. (1997)	nuvens de CO	68 ⁹
BSWH	Bally et al. (1987)	nuvens de CO	107 ⁹
MBAMT	May et al. (1993)	nuvens de CO	157 ⁹
BACT	Bronfman et al. (1989)	nuvens de CO	416 ⁹
GLIMPSE	Mercer et al. (2004)	regiões HII IV	1
		Total de objetos	11859

Apêndice B

Extração dos Catálogos

Tabela B.1: Extração do Catálogo de Nuvens Moleculares

Nome	l	b	α	δ	d	d	V_{media}	σ	v	v
BSWH0.0+0.2	0.00	0.15	17:45:02	-28:51:29	12	12	95.00	0.00	95.00	
BSWH0.0+0.0	0.02	0.03	17:45:33	-28:54:13	6	6	-35.00	0.00	-35.00	
B0.10+0.0	0.09	0.00	17:45:51	-28:51:18	65	65	87.00	0.00	87.00	
M+0.10-0.12	0.100	-0.12	17:46:20	-28:54:48	3	3	29.00	0.00	29.00	
BSWH0.1+0.0	0.10	0.00	17:45:52	-28:51:03	12	12	-15.00	0.00	-15.00	
BSWH0.1+0.2	0.10	0.18	17:45:09	-28:45:25	5	5	125.00	0.00	125.00	
BSWH0.1-0.1	0.11	-0.11	17:46:19	-28:53:58	6	6	25.00	0.00	25.00	
BSWH0.1-0.3	0.11	-0.26	17:46:54	-28:58:39	3	3	-165.00	0.00	-165.00	
BSWH0.1+0.0	0.12	0.03	17:45:47	-28:49:05	5	5	-15.00	0.00	-15.00	
BSWH0.1-0.1	0.13	-0.08	17:46:15	-28:52:01	6	6	-15.00	0.00	-15.00	
BSWH0.2+0.2	0.19	0.23	17:45:11	-28:39:15	5	5	135.00	0.00	135.00	
BSWH0.2-0.3	0.20	-0.26	17:47:07	-28:54:02	4	4	-175.00	0.00	-175.00	
BSWH0.2-0.0	0.23	-0.02	17:46:15	-28:45:01	7	7	75.00	0.00	75.00	
M+0.24+0.02	0.24	0.01	17:46:08	-28:43:21	5	5	35.00	0.00	35.00	
BSWH0.2-0.1	0.24	-0.09	17:46:33	-28:46:41	12	12	5.00	0.00	5.00	
BSWH0.3-0.3	0.25	-0.26	17:47:14	-28:51:28	21	21	-125.00	0.00	-125.00	
B0.3+0.3	0.25	0.33	17:44:56	-28:33:03	60	60	155.00	0.00	155.00	
BSWH0.3-0.3	0.28	-0.29	17:47:25	-28:50:51	5	5	-135.00	0.00	-135.00	
B0.4+0.2	0.35	0.17	17:45:47	-28:32:56	60	60	107.00	0.00	107.00	
BSWH0.4+0.2	0.37	0.24	17:45:34	-28:29:43	5	5	115.00	0.00	115.00	
BSWH0.4+0.1	0.37	0.08	17:46:11	-28:34:43	6	6	-15.00	0.00	-15.00	
BSWH0.4+0.3	0.38	0.26	17:45:31	-28:28:35	5	5	105.00	0.00	105.00	
BSWH0.4-0.3	0.39	-0.30	17:47:43	-28:45:31	6	6	-95.00	0.00	-95.00	

Tabela B.2: Extração do Catálogo de Nuvens Escuras

Nome	l	b	α	δ	d	d	V_{media}	σ	v
HMSTG0.0-18.9	0.02	-18.87	19:06:50	-37:13:42	16	5	5.30	0.00	5.30
LDN4,CB70	0.23	11.71	17:03:00	-22:13:39	9	4	2.60	0.00	2.60
SLDN42	0.37	-19.47	19:10:16	-37:07:28	14	9	5.60	0.00	5.60
B57,LDN11	0.43	10.28	17:08:31	-22:53:50	8	5	4.70	0.00	4.70
B52	0.54	11.31	17:05:10	-22:12:56	7	3	2.90	0.00	2.90
HMSTG0.8-22.9	0.79	-22.87	19:27:07	-37:50:19	16	12	6.80	0.00	6.80
FeSt2-311	0.93	-20.16	19:14:23	-36:51:53	16	5	5.90	0.00	5.90
G1.0+26.0	1.00	26.00	16:17:24	-12:53:48	35	35	0.00	0.00	0.00
LDN31,CB67	1.01	15.89	16:50:34	-19:07:50	16	4	4.60	0.00	4.60
B267,LDN36	1.08	5.15	17:28:40	-25:16:15	8	5	3.60	0.00	3.60
HMSTG1.2-23.1	1.18	-23.14	19:28:59	-37:34:29	5	4	6.90	0.00	6.90
B60,LDN38	1.23	9.90	17:11:49	-22:28:36	9	6	3.80	0.00	3.80
HMSTG1.3-20.5	1.33	-20.46	19:16:24	-36:36:20	14	4	5.70	0.00	5.70
MLB57,LM192	1.38	20.93	16:34:39	-15:47:02	21	2	0.70	0.00	0.70
HMSTG1.4-21.6	1.38	-21.57	19:21:43	-36:55:05	40	35	5.70	0.00	5.70
MLB55,LDN43B	1.38	20.98	16:34:30	-15:45:38	5	2	0.70	0.00	0.70
LDN52,CB89,P7	1.39	4.39	17:32:14	-25:25:29	5	2	3.80	0.00	3.80
B74,CB87	1.51	6.42	17:25:03	-24:12:39	9	9	4.70	0.00	4.70
B68,LDN57	1.52	7.08	17:22:39	-23:50:04	5	3	3.40	0.00	3.40
HMSTG1.7-23.8	1.71	-23.81	19:32:55	-37:18:43	3	3	9.60	0.00	9.60
LDN66,CB84	1.77	7.00	17:23:33	-23:40:30	6	4	4.70	0.00	4.70
CB85,LM237	1.80	6.90	17:23:59	-23:42:09	6	4	5.00	0.00	5.00
CB83	1.80	7.16	17:23:02	-23:33:51	10	3	5.00	0.00	5.00

Tabela B.3: Extração do Catálogo de Regiões HII Óticas

Nome	l	b	α	δ	d	d	V_{media}	σ	v	v	v	v
Sh2-17	0.02	0.18	17:44:57	-28:49:30	15	13	3.10	13.04	-3.30	-5.50	18.10	
Sh2-19	0.11	-0.53	17:47:57	-29:07:00	12	10	15.93	3.75	11.60	18.10	18.10	
Sh2-20	0.31	-0.21	17:47:10	-28:46:33	7	6	14.12	5.24	9.60	9.60	19.20	18.10
Sh2-21	0.56	-0.84	17:50:16	-28:53:42	6	6	15.12	1.10	14.60	14.20	16.70	15.00
Ber1	1.29	21.01	16:34:10	-15:48:18	1.2	0.8	1.05	0.35	0.80	1.30		
LBN9	2.36	1.39	17:45:49	-26:12:10	6	6	3.00	0.00	3.00			
Gy1-19	3.89	-1.02	17:58:35	-26:06:55	0.7	0.7	10.40	0.00	10.40			
Sh2-23	4.29	29.58	16:13:23	-8:23:10	50	50	-1.60	0.00	-1.60			
LBN13	4.48	0.32	17:54:42	-24:55:24	70	55	6.60	1.27	7.50	5.70		
Sh2-24	5.00	30.90	16:10:41	-7:05:45	30	10	0.45	0.78	1.00	-0.10		
Ced152a	5.95	-1.29	18:04:03	-24:27:17	10	6	1.40	1.98	2.80	0.00		
G6.0-1.2	5.97	-1.18	18:03:42	-24:22:44	11	7	3.48	0.55	3.00	3.00	4.00	3.90
M8	6.09	-1.26	18:04:15	-24:19:18	45	30	8.17	3.37	5.70	6.80	12.00	
Sh2-27	6.15	24.15	16:35:00	-10:20:00	500	450	3.08	2.14	5.90	0.70	2.70	3.00
Sh2-26	6.35	0.28	17:58:59	-23:19:36	20	20	9.30	0.00	9.30			
BFS1	6.38	-0.49	18:01:58	-23:41:15	3.5	3.5	14.60	0.00	14.60			
NGC6526	6.54	-0.57	18:02:36	-23:35:00	45	45	11.80	0.00	11.80			
Sh2-25	6.57	-1.46	18:06:03	-23:59:40	140	110	11.30	0.99	10.60	12.00		
Gum74b	6.85	-1.03	18:05:01	-23:32:42	50	40	11.80	0.00	11.80			
IC4685	6.93	-2.13	18:09:23	-24:00:25	15	15	5.40	0.00	5.40			
M20	6.99	-0.24	18:02:20	-23:01:55	11	11	13.15	2.19	11.60	14.70		
Sh2-29	7.05	-2.16	18:09:45	-23:55:00	55	47	9.45	2.19	7.90	11.00		
LBN30	7.07	-0.26	18:02:35	-22:58:18	21	20	11.30	0.00	11.30			

Tabela B.4: Extração do Catálogo de Regiões HII em Rádio

Nome	l	b	α	δ	d	d	V_{media}	σ	v	v	v	v
G0.07+0.01	0.06	0.01	17:45:44	-28:52:14	2	2	-36.90	4.10	-34.00	-39.80		
G0.2+0.0	0.17	0.04	17:45:51	-28:45:56	4	3	-12.70	0.00	-12.70			
G0.18-0.04	0.18	-0.04	17:46:13	-28:48:10	2	1	32.00	0.00	32.00			
G0.2-0.0	0.18	-0.03	17:46:12	-28:48:07	19	5	10.80	0.00	10.80			
G0.284-0.478	0.28	-0.47	17:48:09	-28:56:28	4	4	20.00	0.00	20.00			
G0.4-0.8	0.36	-0.77	17:49:31	-29:01:51	5	5	20.00	0.00	20.00			
G0.394-0.540	0.39	-0.53	17:48:39	-28:52:44	4.5	4.5	34.00	0.00	34.00			
G0.5-0.7	0.48	-0.66	17:49:23	-28:51:49	3.4	3.4	17.50	0.00	17.50			
SgrB1	0.50	-0.04	17:46:59	-28:31:29	4	4	46.13	1.10	47.20	45.00	46.20	
G0.559-0.382	0.55	-0.38	17:48:26	-28:39:22	4.2	4.2	23.50	0.00	23.50			
G0.6-0.6	0.57	-0.62	17:49:25	-28:46:18	4.1	4.1	20.00	0.00	20.00			
G0.590-0.5000.58	-0.49	17:48:58	-28:41:26	5.5	5.5	8.00	0.00	8.00				
SgrB20.66	-0.02	17:47:18	-28:22:41	4.5	4.5	63.67	1.79	64.80	61.60	64.60		
G0.729-0.097	0.72	-0.09	17:47:43	-28:21:48	3	3	102.00	0.00	102.00			
G0.829+0.193	0.82	0.19	17:46:50	-28:07:39	3.2	3.2	9.70	0.00	9.70			
SgrD	1.14	-0.07	17:48:36	-27:59:56	7	7	-19.73	2.44	-21.70	-17.00	-20.50	
G1.323+0.086	1.32	0.08	17:48:23	-27:45:38	3	3	-12.00	0.00	-12.00			
G2.3+0.2	2.30	0.24	17:50:04	-26:50:21	3.6	3.6	4.95	0.07	4.90	5.00		
G2.6+0.1	2.61	0.13	17:51:11	-26:37:48	5	5	102.40	0.00	102.40			
G2.9-0.0 2.90	-0.00	17:52:23	-26:26:58	4.3	4.3	-1.75	0.35	-2.00	-1.50			
G3.270-0.101	3.26	-0.09	17:53:35	-26:10:58	4.0	4.0	4.60	0.42	4.90	4.30		
G3.3+0.0	3.26	0.01	17:53:07	-26:07:44	4.7	4.7	0.30	0.00	0.30			
AMWW34	3.30	-0.08	17:53:37	-26:08:46	8	8	5.77	2.25	8.30	5.00	4.00	

Referências Bibliográficas

- [1] ASHMAN, K. M.; ZEPF, S. E. **Globular Cluster Systems**: Globular cluster systems / Keith M. Ashman, Stephen E. Zepf. Cambridge, U. K. ; New York : Cambridge University Press, 1998. (Cambridge astrophysics series ; 30) QB853.5 .A84 1998 (\$69.95), May 1998.
- [2] BAADE, W. NGC 147 and NGC 185, Two New Members of the Local Group of Galaxies. **apj**, v. 100, p. 147–+, Sep. 1944.
- [3] BABUSIAUX, C.; GILMORE, G. The structure of the Galactic bar. **MNRAS**, v. 358, p. 1309–1319, Apr. 2005.
- [4] BALLY, J.; STARK, A. A.; WILSON, R. W.; HENKEL, C. Galactic center molecular clouds. I - Spatial and spatial-velocity maps. **apjs**, v. 65, p. 13–82, Sep. 1987.
- [5] BALLY, J.; STARK, A. A.; WILSON, R. W.; HENKEL, C. Galactic center molecular clouds. II - Distribution and kinematics. **apj**, v. 324, p. 223–247, Jan. 1988.
- [6] BANIA, T. M. Carbon monoxide in the inner Galaxy. **apj**, v. 216, p. 381–403, Sep. 1977.
- [7] BANIA, T. M. A latitude survey of carbon monoxide emission near the Galactic center. **apj**, v. 308, p. 868–882, Sep. 1986.
- [8] BANIA, T. M.; STARK, A. A.; HEILIGMAN, G. M. Clump 1 - an unusual molecular cloud complex near the Galactic center. **apj**, v. 307, p. 350–366, Aug. 1986a.
- [9] BANIA, T. M.; STARK, A. A.; HEILIGMAN, G. M. Clump 1 - an unusual molecular cloud complex near the Galactic center. **apj**, v. 307, p. 350–366, Aug. 1986b.
- [10] BARBUY, B.; BICA, E.; ORTOLANI, S. Globular clusters within 5(deg) of the Galactic center. **aap**, v. 333, p. 117–124, May 1998.
- [11] BATTAGLIA, G.; HELMI, A.; MORRISON, H.; HARDING, P.; OLSZEWSKI, E. W.; MATEO, M.; FREEMAN, K. C.; NORRIS, J.; SHECTMAN, S. A. The

- radial velocity dispersion profile of the Galactic halo: constraining the density profile of the dark halo of the Milky Way. *mnras*, v. 364, p. 433–442, Dec. 2005.
- [12] BAUGH, C. M. A primer on hierarchical galaxy formation: the semi-analytical approach. *Reports of Progress in Physics*, v. 69, p. 3101–3156, Dec. 2006.
- [13] BERNES, C. A catalogue of bright nebulosities in opaque dust clouds. *aaps*, v. 29, p. 65–70, Jul. 1977.
- [14] BICA, E.; BONATTO, C.; BARBUY, B.; ORTOLANI, S. Globular cluster system and Milky Way properties revisited. *aap*, v. 450, p. 105–115, Apr. 2006.
- [15] BICA, E.; BONATTO, C.; ORTOLANI, S.; BARBUY, B. FSR 584 - a new globular cluster in the Galaxy? *aap*, v. 472, p. 483–488, Sep. 2007.
- [16] BINNEY, J.; MERRIFIELD, M. **Galactic astronomy**: Galactic astronomy / James Binney and Michael Merrifield. Princeton, NJ : Princeton University Press, 1998. (Princeton series in astrophysics) QB857 .B522 1998 (\$35.00), 1998.
- [17] BITRAN, M.; ALVAREZ, H.; BRONFMAN, L.; MAY, J.; THADDEUS, P. A large scale CO survey of the Galactic center region. *aaps*, v. 125, p. 99–138, Oct. 1997.
- [18] BLITZ, L.; FICH, M.; STARK, A. A. Catalog of CO radial velocities toward galactic H II regions. *apjs*, v. 49, p. 183–206, Jun. 1982.
- [19] BOK, B. J.; BESTER, M. J.; WADE, C. M. Catalogue of H(II) regions in the Milky Way for longitudes 250deg-355deg. *Harvard College Observatory Reprints*, v. 416, p. 1–16, 1955.
- [20] BOSMA, A. **The distribution and kinematics of neutral hydrogen in spiral galaxies of various morphological types**. 1978. Tese de Doutorado – PhD Thesis, Groningen Univ., (1978).
- [21] BRAND, J.; BLITZ, L. The Velocity Field of the Outer Galaxy. *aap*, v. 275, p. 67–+, Aug. 1993.
- [22] BRODIE, J. P.; STRADER, J. Extragalactic Globular Clusters and Galaxy Formation. *araa*, v. 44, p. 193–267, Sep. 2006.
- [23] BRONFMAN, L.; ALVAREZ, H.; COHEN, R. S.; THADDEUS, P. A deep CO survey of molecular clouds in the southern Milky Way. *apjs*, v. 71, p. 481–548, Nov. 1989.
- [24] BURKERT, A.; SMITH, G. H. Substructure in the Globular Cluster System of the Milky Way: The Highest Metallicity Clusters. *apjl*, v. 474, p. L15+, Jan. 1997.

- [25] BUSER, R. The formation and early evolution of the Milky Way galaxy. **Science**, v. 287, p. 69–74, Jan. 2000.
- [26] CABRERA-LAVERS, A.; HAMMERSLEY, P. L.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, C.; LÓPEZ-CORREDOIRA, M.; GARZÓN, F.; MAHONEY, T. J. Tracing the long bar with red-clump giants. **aap**, v. 465, p. 825–838, Apr. 2007.
- [27] CASWELL, J. L.; HAYNES, R. F. Southern H II regions - an extensive study of radio recombination line emission. **aap**, v. 171, p. 261–276, Jan. 1987.
- [28] CEDERBLAD, S. Studies of bright diffuse galactic nebulae with special regard to their spatial distribution. **Meddelanden fran Lunds Astronomiska Observatorium Serie II**, v. 119, p. 1–166, 1946.
- [29] COHEN, M. Red and nebulous objects in dark clouds - A survey. **aj**, v. 85, p. 29–35, Jan. 1980.
- [30] COHEN, R. S.; THADDEUS, P. An out-of-plane galactic carbon monoxide survey. **apjl**, v. 217, p. L155–L159, Nov. 1977.
- [31] COIL, A. L.; HO, P. T. P. Infalling Gas toward the Galactic Center. **apj**, v. 513, p. 752–766, Mar. 1999.
- [32] COIL, A. L.; HO, P. T. P. The Dynamics of Molecular Material within 15 PARSECS of the Galactic Center. **apj**, v. 533, p. 245–259, Apr. 2000.
- [33] COLE, S.; LACEY, C. G.; BAUGH, C. M.; FRENK, C. S. Hierarchical galaxy formation. **MNRAS**, v. 319, p. 168–204, Nov. 2000.
- [34] CÔTÉ, P. Kinematics of the Galactic Globular Cluster System: New Radial Velocities for Clusters in the Direction of the Inner Galaxy. **aj**, v. 118, p. 406–420, Jul. 1999.
- [35] DAME, T. M.; ELMEGREEN, B. G.; COHEN, R. S.; THADDEUS, P. The largest molecular cloud complexes in the first galactic quadrant. **apj**, v. 305, p. 892–908, Jun. 1986.
- [36] DAME, T. M.; HARTMANN, D.; THADDEUS, P. The Milky Way in Molecular Clouds: A New Complete CO Survey. **apj**, v. 547, p. 792–813, Feb. 2001.
- [37] DAME, T. M.; THADDEUS, P. A wide-latitude CO survey of molecular clouds in the northern Milky Way. **apj**, v. 297, p. 751–765, Oct. 1985.
- [38] DIAS, W. S.; ALESSI, B. S.; MOITINHO, A.; LÉPINE, J. R. D. New catalogue of optically visible open clusters and candidates. **aap**, v. 389, p. 871–873, Jul. 2002.

- [39] DICKEL, H. R.; WENDKER, H.; BIERITZ, J. H. The Cygnus X region. V. catalogue and distances of optically visible H II regions. **aap**, v. 1, p. 270–280, 1969.
- [40] DIGEL, S.; THADDEUS, P.; BALLY, J. Giant molecular clouds in the outer arm of the galaxy. **apjl**, v. 357, p. L29–L33, Jul. 1990.
- [41] DORSCHNER, J.; GÜRTLER, J. Untersuchungen über Reflexionsnebel am Palomar Sky Survey I. Verzeichnis von Reflexionsnebeln. **Astronomische Nachrichten**, v. 287, p. 257–+, Dec. 1963.
- [42] DOTTORI, H.; CARRANZA, G. Interferometric Study of the Milky Way Between Carina and Aquila. **apss**, v. 13, p. 180–184, Sep. 1971.
- [43] DOWNES, D.; WILSON, T. L.; BIEGING, J.; WINK, J. H110-alpha and H2CO survey of galactic radio sources. **aaps**, v. 40, p. 379–394, Jun. 1980.
- [44] DUTRA, C. M.; BICA, E. A catalogue of dust clouds in the Galaxy. **aap**, v. 383, p. 631–635, Feb. 2002.
- [45] EGGEN, O. J.; LYNDEN-BELL, D.; SANDAGE, A. R. Evidence from the motions of old stars that the Galaxy collapsed. **ApJ**, v. 136, p. 748–+, Nov. 1962.
- [46] ELMEGREEN, D. M. **Galaxies and galactic structure**: Galaxies and galactic structure /Debra Meloy Elmegreen. New Jersey : Prentice Hall, c1998. QB 857 E455 1998., 1998.
- [47] FICH, M.; DAHL, G. P.; TREFFERS, R. R. Fabry-Perot H-alpha observations of Galactic H II regions. **aj**, v. 99, p. 622–637, Feb. 1990.
- [48] FREEMAN, K.; BLAND-HAWTHORN, J. The New Galaxy: Signatures of Its Formation. **araa**, v. 40, p. 487–537, 2002.
- [49] FUJII, T.; DEGUCHI, S.; IZUMIURA, H.; KAMEYA, O.; MIYAZAKI, A.; NAKADA, Y. Sio maser survey of the inner bar of the galactic bulge, 2006.
- [50] GEBHARDT, K.; KISSLER-PATIG, M. Globular Cluster Systems. I. V-I Color Distributions. **aj**, v. 118, p. 1526–1541, Oct. 1999.
- [51] GEORGELIN, Y. M.; AMRAM, P.; GEORGELIN, Y. P.; LE COARER, E.; MARCELIN, M. Deep H α survey of the Milky Way. II. The $l=328^{\circ}$ area. **aaps**, v. 108, p. 513–532, Dec. 1994.
- [52] GEORGELIN, Y. M.; GEORGELIN, Y. P. The spiral structure of our Galaxy determined from H II regions. **aap**, v. 49, p. 57–79, May 1976.

- [53] 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. **aap**, v. 357, p. 308–324, May 2000.
- [54] GEORGELIN, Y. P.; GEORGELIN, Y. M. Extension of the Sagittarius-Carina arm from three distant H II regions. **aap**, v. 7, p. 133–140, Jul. 1970a.
- [55] GEORGELIN, Y. P.; GEORGELIN, Y. M. Radial velocities and distances of galactic H II regions. **aap**, v. 6, p. 349–363, Jul. 1970b.
- [56] GEORGELIN, Y. P.; GEORGELIN, Y. M. Régions H II de l'hémisphère austral. **aaps**, v. 3, p. 1–+, Nov. 1970c.
- [57] GRABELSKY, D. A.; COHEN, R. S.; BRONFMAN, L.; THADDEUS, P. Molecular clouds in the Carina arm - The largest objects, associated regions of star formation, and the Carina arm in the Galaxy. **apj**, v. 331, p. 181–196, Aug. 1988.
- [58] GUESTEN, R.; WALMSLEY, C. M.; PAULS, T. Ammonia in the neighbourhood of the galactic center. **aap**, v. 103, p. 197–206, Nov. 1981.
- [59] GUM, C. S. A survey of southern HII regions. **memras**, v. 67, p. 155–177, 1955.
- [60] GYULBUDAGHIAN, A. L.; GLUSHKOV, Y. I.; DENISYUK, E. K. New Herbig-Haro objects. **apjl**, v. 224, p. L137+, Sep. 1978.
- [61] GYULBUDAGHIAN, A. L.; GYUL'BUDAGYAN, A. L.; RODRÍGUEZ, L. F.; MENDOZA-TORRES, E. Three new H_2O masers located near Herbig-Haro-like nebulosities. **Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica**, v. 15, p. 53–57, May 1987.
- [62] GYUL'BUDAGYAN, A. L. New candidate Herbig-Haro objects. **Pis ma Astronomicheskii Zhurnal**, v. 8, p. 232–+, Apr. 1982a.
- [63] GYUL'BUDAGYAN, A. L. New cometary nebulae. **Pis ma Astronomicheskii Zhurnal**, v. 8, p. 222–+, Apr. 1982b.
- [64] GYULBUDAGYAN, A. L. New Object Found during Survey PSS. **Astronomicheskij Tsirkulyar**, v. 1342, p. 7–+, Sep. 1984.
- [65] GYUL'BUDAGYAN, A. L. On objects looking like Herbig-Haro objects. **Astrofizika**, v. 20, p. 631–634, 1984.
- [66] GYUL'BUDAGYAN, A. L.; MAGAKYAN, T. Y. New cometary nebulae. **Pis ma Astronomicheskii Zhurnal**, v. 3, p. 113–116, Mar. 1977a.

- [67] GYUL'BUDAGYAN, A. L.; MAGAKYAN, T. Y. New red objects resembling Herbig-Haro objects. **Dokl. Akad. Nauk ArmSSR**, Vol. 64, No. 2, p. 104 - 107, v. 64, p. 104-107, 1977b.
- [68] HARRIS, W. E. Globular cluster systems in galaxies beyond the Local Group. **araa**, v. 29, p. 543-579, 1991.
- [69] HARRIS, W. E. A Catalog of Parameters for Globular Clusters in the Milky Way. **aj**, v. 112, p. 1487-+, Oct. 1996.
- [70] HOFFLEIT, D. A preliminary survey of nebulosities and associated B-stars in Carina. **Annals of Harvard College Observatory**, v. 119, p. 37-68, 1953.
- [71] HUETTEMEISTER, S.; DAHMEN, G.; MAUERSBERGER, R.; HENKEL, C.; WILSON, T. L.; MARTIN-PINTADO, J. Molecular gas in the Galactic center region. III. Probing shocks in molecular cores. **aap**, v. 334, p. 646-658, Jun. 1998.
- [72] HUETTEMEISTER, S.; WILSON, T. L.; BANIA, T. M.; MARTIN-PINTADO, J. Kinetic temperatures in Galactic Center molecular clouds. **aap**, v. 280, p. 255-267, Dec. 1993.
- [73] JACQ, T.; BAUDRY, A.; WALMSLEY, C. M. (C-13)O molecular clouds and H I in the longitude range $L = 40$ deg to $L = 67.5$ deg. **aap**, v. 207, p. 145-153, Dec. 1988.
- [74] KAPTEYN, J. C. First Attempt at a Theory of the Arrangement and Motion of the Sidereal System. **apj**, v. 55, p. 302-+, May 1922.
- [75] KINMAN, T. D. Globular clusters, III. An analysis of the cluster radial velocities. **MNRAS**, v. 119, p. 559-+, 1959.
- [76] KUCHAR, T. A.; CLARK, F. O. All-Sky 4.85 GHz Flux Measurements of H II Regions. **apj**, v. 488, p. 224-+, Oct. 1997.
- [77] KUIJKEN, K.; DUBINSKI, J. Nearly Self-Consistent Disc / Bulge / Halo Models for Galaxies. **mnras**, v. 277, p. 1341-+, Dec. 1995.
- [78] KURTZ, S.; CHURCHWELL, E.; WOOD, D. O. S. Ultracompact H II regions. 2: New high-resolution radio images. **apjs**, v. 91, p. 659-712, Apr. 1994.
- [79] KUZ'MIN, A. D.; LEVCHENKO, M. T.; NOSKOVA, R. I.; SALOMONOVICH, A. E. Observations of Discrete Radio Sources on 9.6 cm. **azh**, v. 37, p. 975-+, 1960.
- [80] LARGE, M. I.; MATHEWSON, D. S.; HASLAM, C. G. T. A radio survey of the galactic plane at a frequency of 408 Mc/s. I. The discrete sources. **mnras**, v. 123, p. 113-+, 1961.

- [81] LAUBERTS, A. **Finding charts of ESO/Uppsala Catalogue objects**: Garching: European Southern Observatory (ESO), 1982, 1982.
- [82] LEAVITT, H. S.; PICKERING, E. C. Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. **Harvard College Observatory Circular**, v. 173, p. 1–3, Mar. 1912.
- [83] LEUNG, H. O.; THADDEUS, P. A complete CO survey of the Cygnus X region. **apjs**, v. 81, p. 267–301, Jul. 1992.
- [84] LOCKMAN, F. J. A survey of radio H II regions in the northern sky. **apjs**, v. 71, p. 469–479, Nov. 1989.
- [85] LYNDS, B. T. Catalogue of Bright Nebulae. **apjs**, v. 12, p. 163–+, Aug. 1965.
- [86] MANDUSHEV, G.; STANEVA, A.; SPASOVA, N. Dynamical masses for Galactic globular clusters. **aap**, v. 252, p. 94–99, Dec. 1991.
- [87] MAY, J.; BRONFMAN, L.; ALVAREZ, H.; MURPHY, D. C.; THADDEUS, P. A deep CO survey of the third galactic quadrant. **aaps**, v. 99, p. 105–165, May 1993.
- [88] MCLAUGHLIN, D. E.; VAN DER MAREL, R. P. Resolved Massive Star Clusters in the Milky Way and Its Satellites: Brightness Profiles and a Catalog of Fundamental Parameters. **apjs**, v. 161, p. 304–360, Dec. 2005.
- [89] MCWILLIAM, A.; RICH, R. M. The first detailed abundance analysis of Galactic bulge K giants in Baade’s window. **apjs**, v. 91, p. 749–791, Apr. 1994.
- [90] MERCER, E. P.; CLEMENS, D. P.; BANIA, T. M.; JACKSON, J. M.; RATHBORNE, J. M.; SHAH, R. Y.; BABLER, B. L.; INDEBETOUW, R.; MEADE, M. R.; WATSON, C.; WHITNEY, B. A.; WOLFF, M. J.; WOLFIRE, M. G.; BENJAMIN, R. A.; COHEN, M.; DICKEY, J. M.; KOBULNICKY, H. A.; MARSTON, A. P.; MATHIS, J. S.; STAUFFER, J. R. Discovery of a Distant Star Formation Region using GLIMPSE. **apjs**, v. 154, p. 328–332, Sep. 2004.
- [91] MINNITI, D.; ZOCCALI, M. The Galactic bulge: a review. In: IAU SYMPOSIUM, v. 245 of **IAU Symposium**, p. 323–332, 2008.
- [92] MORAN, M. Observations of the radio emission from the galactic plane at a frequency of 610 Mc/s. **mnras**, v. 129, p. 447–+, 1965.
- [93] MORGAN, W. W. The Differences Among Globular Clusters: The integrated spectra of globular clusters. **AJ**, v. 64, p. 432–436, Dec. 1959.

- [94] MUNCH, L. Catalogo de nebulosas de emision EN la Via Lactea del sur. **Boletin de los Observatorios Tonantzintla y Tacubaya**, v. 2, p. 28–+, 1955.
- [95] MURPHY, D. C.; MAY, J. Molecular clouds in VELA. **aap**, v. 247, p. 202–214, Jul. 1991.
- [96] NECKEL, T.; STAUDE, H. J. A survey of bipolar and cometary nebulae - Photographic and photometric observations. **aap**, v. 131, p. 200–209, Feb. 1984.
- [97] NYMAN, L.-A.; BRONFMAN, L.; THADDEUS, P. A CO survey of the Southern Coalsack. **aap**, v. 216, p. 185–192, Jun. 1989.
- [98] ORTOLANI, S.; RENZINI, A.; GILMOZZI, R.; MARCONI, G.; BARBUY, B.; BICA, E.; RICH, R. M. Near Coeval Formation of the Galactic Bulge and Halo Inferred from Globular Cluster Ages. **Nature**, v. 377, p. 701–+, Oct. 1995.
- [99] PARSAMIAN, E. S. Catalogue of cometary nebulae discovered on Palomar maps. **Izvestiya Akademiyi Nauk Armyanskoi**, v. 18, p. 146–148, 1965.
- [100] PARSAMIAN, E. S.; PETROSIAN, V. M. Catalog of cometary nebulae and related objects -42 deg is less than δ is less than $+66$ deg/. **Soobshcheniya Byurakanskoy Observatorii Akademiyi Nauk Armyanskoy SSR Erevan**, v. 51, p. 3–16, 1979.
- [101] PRESS, W. H.; SCHECHTER, P. Formation of Galaxies and Clusters of Galaxies by Self-Similar Gravitational Condensation. **ApJ**, v. 187, p. 425–438, Feb. 1974.
- [102] REIFENSTEIN, E. C.; WILSON, T. L.; BURKE, B. F.; MEZGER, P. G.; ALTENHOFF, W. J. A Survey of H 109 α Recombination Line Emission in Galactic HN Regions of the Northern Sky. **aap**, v. 4, p. 357–+, Mar. 1970.
- [103] REIPURTH, B. Small Nebulae and Herbig-Haro Objects - Part One - a Survey of Southern Dark Clouds. **aaps**, v. 44, p. 379–+, Jun. 1981.
- [104] RIFFEL, R.; RODRIGUEZ-ARDILA, A.; PASTORIZA, M. G. A 0.8-2.4 μ m spectral atlas of active galactic nuclei. **aap**, v. 457, p. 61–70, Oct. 2006.
- [105] RINSLAND, C. P.; DIXON, R. S.; KRAUS, J. D. Ohio Survey supplement 2. **aj**, v. 80, p. 759–770, Oct. 1975.
- [106] RODGERS, A. W.; CAMPBELL, C. T.; WHITEOAK, J. B. A catalogue of H α -emission regions in the southern Milky Way. **mnras**, v. 121, p. 103–+, 1960.
- [107] ROHLFS, K.; BRAUNSFURTH, E. The galactic center - Structure and kinematics from 21-cm line measurements. **aap**, v. 113, p. 237–249, Sep. 1982.

- [108] RUSSEIL, D. H α detection of a clump of distant HII regions in the Milky Way. **aap**, v. 319, p. 788–795, Mar. 1997.
- [109] RUSSEIL, D. Star-forming complexes and the spiral structure of our Galaxy. **aap**, v. 397, p. 133–146, Jan. 2003.
- [110] SAITO, M. Explosive origin of molecular clouds in the Galactic center region. **pasj**, v. 42, p. 19–38, Feb. 1990.
- [111] SEARLE, L.; ZINN, R. Compositions of halo clusters and the formation of the galactic halo. **APJ**, v. 225, p. 357–379, Oct. 1978.
- [112] SHAPLEY, H. Globular Clusters and the Structure of the Galactic System. **pasp**, v. 30, p. 42–+, Feb. 1918.
- [113] SHARPLESS, S. A Catalogue of Emission Nebulae Near the Galactic Plane. **apj**, v. 118, p. 362–+, Nov. 1953.
- [114] SHARPLESS, S. A Catalogue of H II Regions. **apjs**, v. 4, p. 257–+, Dec. 1959.
- [115] SIVAN, J. P. A new look at the interstellar hydrogen through a very-wide-field photographic H α survey of the whole Milky Way. **aaps**, v. 16, p. 163–172, 1974.
- [116] SODROSKI, T. J. The physical properties of giant molecular cloud complexes in the outer Galaxy - Implications for the ratio of H₂ column density to (C-12)O intensity. **apj**, v. 366, p. 95–106, Jan. 1991.
- [117] STARK, A. A.; BANIA, T. M. Clump 2 - an inner spiral arm? **apjl**, v. 306, p. L17–L20, Jul. 1986.
- [118] STROMEIER, W. Rote Nebel in der Wintermilchstraße. Mit 1 Textabbildung. **Zeitschrift für Astrophysik**, v. 27, p. 49–+, 1950.
- [119] TERNDROP, D. M. The structure and stellar population of the Galactic nuclear bulge. **aj**, v. 96, p. 884–908, Sep. 1988.
- [120] TORRELLES, J. M.; RODRIGUEZ, L. F.; CANTO, J.; MARCAIDE, J.; GYULBUDAGHIAN, A. L. A Search for Molecular Outflows Associated with Peculiar Nebulosities and Regions of Star Formation. **Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica**, v. 8, p. 147–+, Dec. 1983.
- [121] VAN DEN BERGH, S. A study of reflection nebulae. **aj**, v. 71, p. 990–998, Dec. 1966.

- [122] VAN DEN BERGH, S.; HERBST, W. Catalogue of southern stars embedded in nebulosity. **aj**, v. 80, p. 208–211, Mar. 1975.
- [123] VOLDERS, L. M. J. S. Neutral hydrogen in M 33 and M 101. **bain**, v. 14, p. 323–+, Sep. 1959.
- [124] WENDKER, H. J. The Cygnus X Region. VI. A New 2695 MHz Continuum Survey. **aap**, v. 4, p. 378–+, Mar. 1970.
- [125] WENDKER, H. J.; HIGGS, L. A.; LANDECKER, T. L. The Cygnus X region. XVIII - A detailed investigation of radio-continuum structure on large and small scales. **aap**, v. 241, p. 551–580, Jan. 1991.
- [126] WESTERHOUT, G. A survey of the continuous radiation from the Galactic System at a frequency of 1390 Mc/s. **bain**, v. 14, p. 215–+, Dec. 1958.
- [127] WHITE, S. D. M.; FRENK, C. S. Galaxy formation through hierarchical clustering. **APJ**, v. 379, p. 52–79, Sep. 1991.
- [128] WHITE, S. D. M.; REES, M. J. Core condensation in heavy halos - A two-stage theory for galaxy formation and clustering. **MNRAS**, v. 183, p. 341–358, May 1978.
- [129] WILSON, R. W. Catalogue of radio sources in the galactic plane. **aj**, v. 68, p. 181–+, Apr. 1963.
- [130] WILSON, R. W.; BOLTON, J. G. A Survey of Galactic Radiation at 960 Mc/s. **pasp**, v. 72, p. 331–+, Oct. 1960.
- [131] WILSON, T. L.; MEZGER, P. G.; GARDNER, F. F.; MILNE, D. K. A Survey of H 109cc Recombination Line Emission in Galactic H N Regions of the Southern Sky. **aap**, v. 6, p. 364–+, Jul. 1970.
- [132] WRAY, J. D. **A Study of (h - Objects in the Southern Milky way.** 1966. Tese de Doutoramento – AA(NORTHWESTERN UNIVERSITY.).
- [133] ZINN, R. The globular cluster system of the galaxy. IV - The halo and disk subsystems. **ApJ**, v. 293, p. 424–444, Jun. 1985.