

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMIA

**Propriedades Estruturais do Disco Galáctico
Usando Aglomerados Abertos na Vizinhança Solar**

Gabriel Corrêa de Aguiar

Monografia realizada sob orientação do Prof. Dr. Charles J. Bonatto e apresentada ao curso de Graduação em Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Física.

Porto Alegre, RS, Brasil

02 de Junho de 2014

You may say I'm a dreamer, but I'm not the only one.

Agradecimentos

Com este trabalho encerro mais uma etapa da vida, mas não teria conseguido chegar até aqui sem o apoio das pessoas próximas de mim.

Agradeço, primeiramente, à minha família: Ao meu pai, que tanto fez para que eu chegasse onde estou, chegando aos limites físicos do ser humano para isso. À minha mãe, que sempre esteve perto para dar conselhos e broncas. E ao meu irmão, que aturou muito da minha parte, principalmente nos últimos semestres de stress no curso. Essa conquista é de vocês!

Ao meu orientador, Charles, que me deu essa incrível oportunidade e que sempre esteve disposto a ajudar durante minha formação na profissão de astrofísico. Ao Bica, pela ajuda imensurável ao projeto.

Também à Fabíola e ao Kepler, que estiveram me apoiando no começo da minha iniciação científica, mesmo sem serem meus orientadores. Foram fundamentais. À Natacha, que gastou seu tempo para me ajudar a organizar a estrutura deste trabalho.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado, apoiando, rindo e ouvindo os mais variados tipos de lamentações nos momentos mais difíceis desses últimos anos.

Muito obrigado a todos!

Resumo

Usamos aglomerados abertos (OC) localizados na vizinhança solar para derivar as propriedades relacionadas à estrutura do disco, como a escala de altura e o deslocamento do Sol sobre o disco Galáctico. Pelo consideravelmente grande número de OCs, construímos subamostras para aglomerados mais jovens e mais velhos que $200Myr$. Nós encontramos $z_h(pc) = 55.0 \pm 2.9$ para os mais jovens que $200Myr$ e $z_h(pc) = 67.3 \pm 3.5$ para os mais velhos, enquanto para a amostra completa encontramos $z_h(pc) = 61.6 \pm 2.4$. Baseado na assimetria da distribuição vertical, determinamos a posição do Sol no plano como $z_{\odot}(pc) = 4.7 \pm 2.2$. Os valores de z_h são compatíveis com os encontrados na literatura e mostram um aumento na escala de altura para aglomerados mais velhos.

Comparando as distribuições obtidas nesse estudo com as obtidas do catálogo do Kharchenko et al. (2013) pudemos confirmar a presença de um excesso (com respeito ao perfil de decaimento exponencial) dos OCs jovens na região definida por $0.075kpc < |z| < 0.2kpc$. A causa desse caroço, todavia, não foi determinada neste estudo.

Abstract

We use open clusters (OC) located in the Solar vicinity to derive properties related to the structure of the disk, such as the scale height and the displacement of the Sun over the Galactic plane. Given the relatively large number of OCs, we build subsets for clusters younger and older than $200Myr$. We find $z_h(pc) = 55.0 \pm 2.9$ for the OCs younger than $200Myr$ and $z_h(pc) = 67.3 \pm 3.5$ for the older ones, while for the full sample we find $z_h(pc) = 61.6 \pm 2.4$. Based on the asymmetry on the vertical distribution of OCs, we determine the position of the Sun on the plane as $z_{\odot}(pc) = 4.7 \pm 2.2$. The values of z_h are compatible with those found in the literature and show an increase in the scale height for older clusters.

Comparing the distributions obtained in this study with those obtained from the catalog of Kharchenko et al. (2013) we were able to confirm the presence of an excess (with respect to the overall exponential-decay profile) of young OCs in the region defined by $0.075kpc < |z| < 0.2kpc$. The cause of this lump, however, was not determined in this study.

Capítulo 1

Introdução

Compreender a forma real da galáxia em que vivemos depende basicamente de possuímos informações sobre diversas componentes de sua estrutura espacial. Para isso é importante haver pesquisas sobre estrelas, aglomerados estelares, nuvens moleculares, etc. Atualmente a Via-Láctea é descrita como sub-dividida em um centro e bojo nuclear, um disco fino, um disco espesso e um halo. No disco fino encontra-se a maior parte dos aglomerados abertos (OC), principalmente os essencialmente mais jovens. O disco espesso deve conter OC's velhos. Já o halo é formado por aglomerados globulares, anãs brancas e estrelas velhas. A densidade de gás e estrelas na Via-Láctea pode ser descrita como um conjunto de perfis de decaimento exponencial, um ao longo do disco e outro na direção perpendicular do mesmo, $\rho(z, r) \propto e^{(-r/R_D)} \times e^{(-|z+z_\odot|/z_h)}$, Bonatto et al. (2006), onde R_D é a escala de comprimento e z_h é a escala de altura, r é a distância do aglomerado, z_\odot é a posição vertical do sol no disco Galáctico e z é a posição vertical do OC no disco Galáctico. Esta equação supõe que a maior concentração dos OCs se dá no centro do disco, porém os dados são baseados em observações do ponto de vista da posição Solar, por isso o pico da distribuição em z deve apresentar um deslocamento. Esse deslocamento pode ser calculado e indica a posição do Sol no disco Galáctico.

1.1 Aglomerados Abertos

Open Clusters (OC) são conjuntos de estrelas com morfologia difusa e pouca simetria aparente. Esses aglomerados são mais concentrados no plano Galáctico e, por isso, também são chamados de Aglomerados Galácticos (*Galactic Clusters*). Por sua baixa concentração central e aparência irregular, eles são mais dificilmente identificados numa inspeção visual de imagens do que os aglomerados globulares.

Isso e o fato de os OCs ocorrerem no disco Galáctico, onde podem ser obscurecidos pela poeira e dificilmente distinguidos dentro da alta densidade de estrelas de campo.

A densidade de estrelas em um OC pode variar de $\sim 0.1 \text{estrelas} \times \text{pc}^{-3}$ até $\sim 10^3 \text{estrelas} \times \text{pc}^{-3}$ no centro de OCs ricos, como mostrado no livro *Galactic Astronomy*. Os OCs com baixa densidade geralmente só são diferenciados das estrelas de campo por eles possuírem uma grande fração de estrelas de tipos incomuns.

Os OCs são formados e distribuídos no disco. As interações gravitacionais com o disco, Bojo e nuvens moleculares, entretanto, tendem a destruí-los, principalmente os menos populosos, em uma escala de tempo de poucos 10^8Myr . Esse efeito é mais crítico para os OCs mais próximos ao Centro Galáctico (CG). Os que sobrevivem a essas interações alcançam maiores distâncias verticais, abrangendo o disco espesso. Embora o número de OCs conhecidos seja pequeno se comparado com o de estrelas, é relativamente simples e preciso de se determinar distância e idade para esses objetos. Assim, pode-se dizer que OCs são sondas diretas para se examinar a estrutura do disco.

1.2 Estudos Anteriores

Resultados obtidos por Cohen (1995) geraram $z_{\odot} = 15.5 \pm 0.7 \text{pc}$. Hammersley et al. (1995), examinando a contagem de estrelas e o mapa de brilho superficial do COBE, IRAS e *Two-micron Galactic Survey*, chegou em $z_{\odot} = 15.5 \pm 3 \text{pc}$. Já Chen et al. (2001) obteve $z_{\odot} = 27 \pm 4 \text{pc}$, usando o *high-Galactic latitude data*.

Janes e Phelps (1994) encontraram $z_h \approx 55 \text{pc}$ para OCs jovens (*idade* $\leq 800 \text{Myr}$) e $z_h \approx 375 \text{pc}$ para OCs velhos (*idade* $> 800 \text{Myr}$). Bonatto et al. (2006) encontraram $z_h = 47.9 \pm 2.8 \text{pc}$ para OCs com idades inferiores a 200Myr e $z_h = 149.8 \pm 26.3 \text{pc}$ para OCs com idades entre 200Myr e 1Gyr . Quando analisando todos os aglomerados da base de dados, foi encontrado $z_h = 57.2 \pm 2.8 \text{pc}$. Bonatto et al. (2006) calcularam um $z_{\odot} = 14.8 \pm 2.4 \text{pc}$.

1.3 Objetivos

Neste trabalho construímos uma base de dados com os catálogos do WEBDA e Dias et al. (2002) atualizado no site, onde usamos métodos de seleção para excluir dados divergentes entre os catálogos. Com esses dados pretendemos fazer medidas da escala de altura do disco (z_h) e o deslocamento do Sol em relação ao plano do disco (z_{\odot}) para diferentes grupos de idade. Após realizar essas medidas, comparamos esta

amostra com os dados extraídos do catálogo de Kharchenko et al. (2013), que usam um método de aquisição de dados padronizado, enquanto os catálogos do WEBDA e Dias et al. (2002) retiram as informações da literatura, com dados adquiridos de diferentes formas.

Estamos interessados, neste trabalho, em OCs na vizinhança solar ($d_{\odot} \leq 2.0kpc$), região dentro da qual a amostra é essencialmente completa (Bonatto et al. 2006).

Capítulo 2

Metodologia

2.1 Caracterização dos Dados

Neste trabalho usamos dados de OCs da vizinhança Solar extraídos das bases de dados do WEBDA e do catálogo de Dias et al. (2002) onde os OCs representados em ambas as amostras tiveram seus parâmetros somados e posteriormente divididos, para então trabalharmos com a média dos valores. Este método de realização de médias simples só se aplicou quando os valores encontrados dos catálogos eram semelhantes entre si. Os casos em que houve discrepâncias significativas foram estudados individualmente, quando foram selecionados os dados mais confiáveis. Para selecionar os casos com grande discrepância entre as amostras, fiz um programa para padronizar o método. Se o módulo da diferença entre os valores do parâmetro dividido pela média simples do parâmetro das amostras fosse maior que 1.0, esse OC era separado dos demais para ser estudado individualmente. Ou seja $a = |c_i - c_j|/[(c_i + c_j)/2]$, onde o valor de a determina se o parâmetro c deste OC é separado e analisado individualmente ($a > 1$), ou se aceitamos as diferenças entre os valores como normais e só tomamos a média do parâmetro ($a < 1$). Os sub-índices i e j determinam se o valor vem do catálogo WEBDA (i) ou de Dias et al (2002) (j). Para fazer a junção dos catálogos, foi considerada a possibilidade de o mesmo OC ter sido classificado com nomes diferentes nas base de dados, então se os OCs possuísem posição na esfera celeste muito próxima (coordenadas l e b) eram considerados o mesmo OC. Porém, não foram encontrados casos onde esse passo tenha sido necessário. Os OCs usados neste estudo foram aqueles com coordenadas Galácticas (l e b), distância ao Sol e idade catalogados. O número de aglomerados nesta amostra nos permite estudar as propriedades dos OCs em diferentes grupos de idades separadamente. Para este trabalho os domínios de idade são

(i) $idade \leq 40Myr$ (população de OCs jovens); (ii) $40Myr < idade \leq 200Myr$ (população de OCs moderadamente jovens); (iii) $200Myr < idade \leq 600Myr$ (população de OCs moderadamente velhos); (iv) $600Myr < idade$ (população de OCs velhos). Cada grupo de idades possui, 296, 259, 279 e 285 OCs, respectivamente.

Os dados de Kharchenko et al. (2013) foram extraídos dos catálogos *all-sky* PPMXL e 2MASS, tendo os valores de idade e distância calculados uniformemente, ou seja, usando a mesma técnica para todos os OCs catalogados. No catálogo de Kharchenko et al. (2013) foram analisados OCs e possíveis OCs contidos nos catálogos COCD, Dias et al. (2002), Melnik e Dambis (2009), Bica et al. (2003b), Dutra et al. (2003), Froebrich et al. (2007). A base de dados WEBDA-Dias resultou em 1119 OCs catalogados na vizinhança Solar. Já a base de Kharchenko et al. (2013) contém 1447 OCs para a mesma região da Galáxia.

As estatísticas dessa amostra WEBDA-Dias foram comparadas com as obtidas pelo catálogo de Kharchenko et al. (2013). Esses resultados são apresentados nas figuras 2.1 (longitude), 2.2 (latitude), 2.3 (distância Solar), 2.4 (posição vertical) e 2.5 (idade), onde n é o número parcial de OCs e N é o número total de OCs da amostra. Com essas comparações queremos determinar possíveis diferenças nos resultados obtidos nos catálogos. Podemos ver pela figura 2.3 podemos ver uma diferença nas amostras no cálculo das distâncias dos OCs, onde a amostra de Kharchenko et al. (2013) encontra OCs mais distantes do Sol, enquanto a amostra WEBDA-Dias possui mais OCs com distância ao Sol inferior a $1kpc$. Também é interessante observar a ausência de OCs com latitude Galáctica entre 45° e 75° (figura 2.2) em ambas as amostras. Pelos histogramas, notamos que as amostras concordam quanto a longitude Galáctica (figura 2.1), latitude Galáctica (figura 2.2), distância ao plano Galáctico (figura 2.4) e idade dos OCs (figura 2.5).

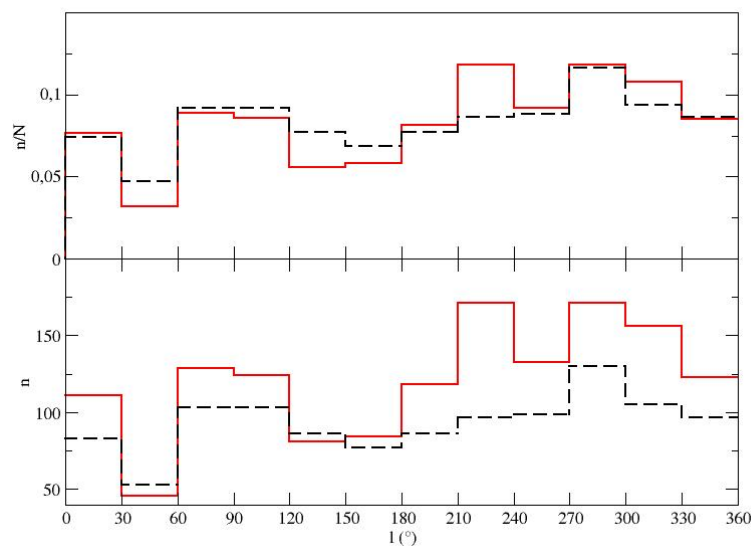


Figura 2.1: Histograma de longitude galáctica. A linha preta tracejada representa os dados do catálogo WEBDA-Dias, já a linha vermelha representa os dados do catálogo de Kharchenko et al.

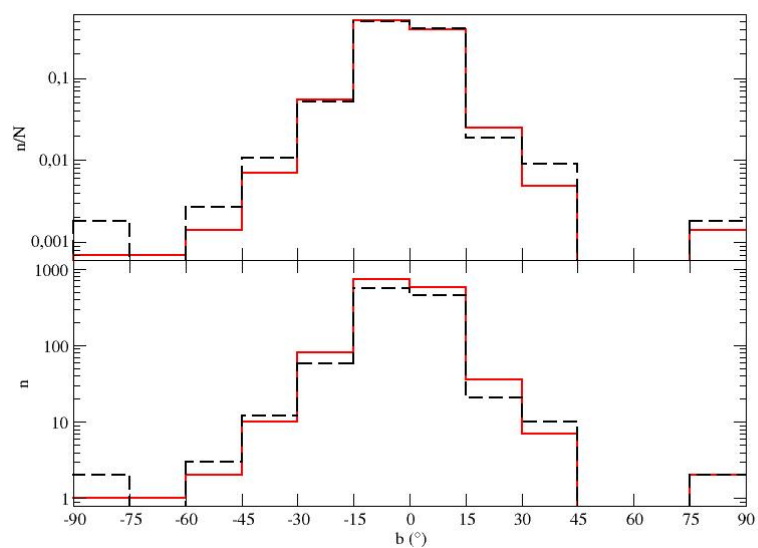


Figura 2.2: Histograma de latitude galáctica. A linha preta tracejada representa os dados do catálogo WEBDA-Dias, já a linha vermelha representa os dados do catálogo de Kharchenko et al.

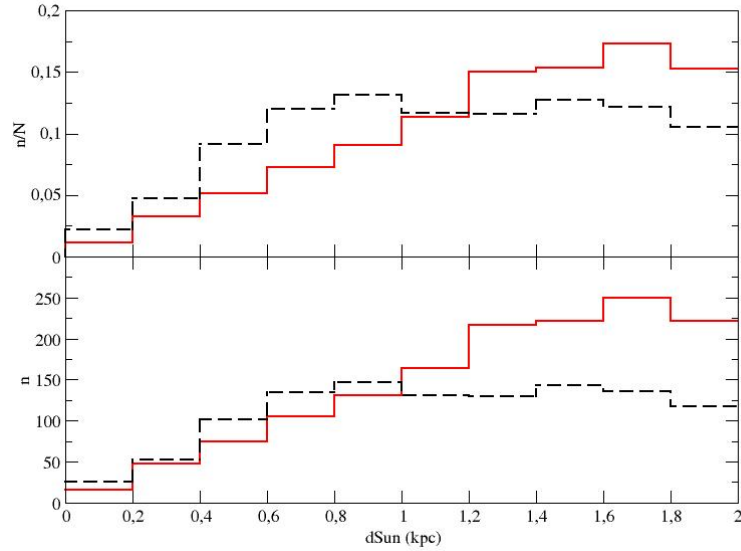


Figura 2.3: Histograma de distância do OC ao Sol. A linha preta tracejada representa os dados do catálogo WEBDA-Dias, já a linha vermelha representa os dados do catálogo de Kharchenko et al.

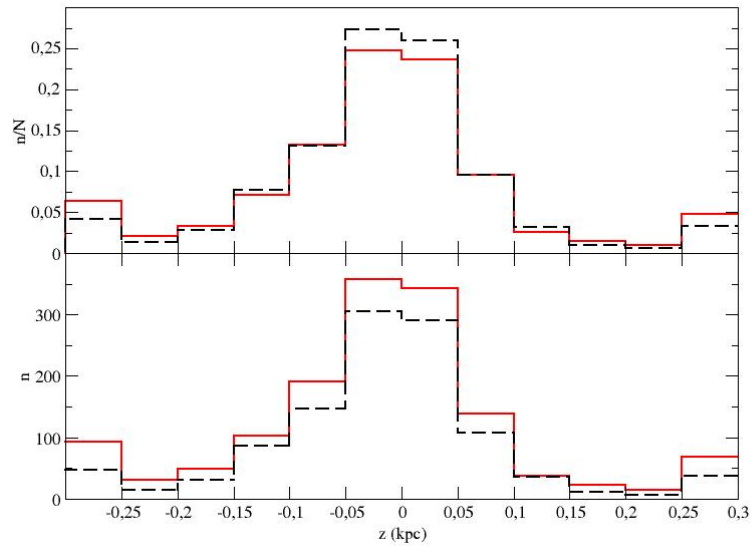


Figura 2.4: Histograma de distância ao plano Galáctico. A linha preta tracejada representa os dados do catálogo WEBDA-Dias, já a linha vermelha representa os dados do catálogo de Kharchenko et al. As duas colunas maiores nas pontas dos histogramas representam todos os OCs com $|z| > 0.25kpc$.

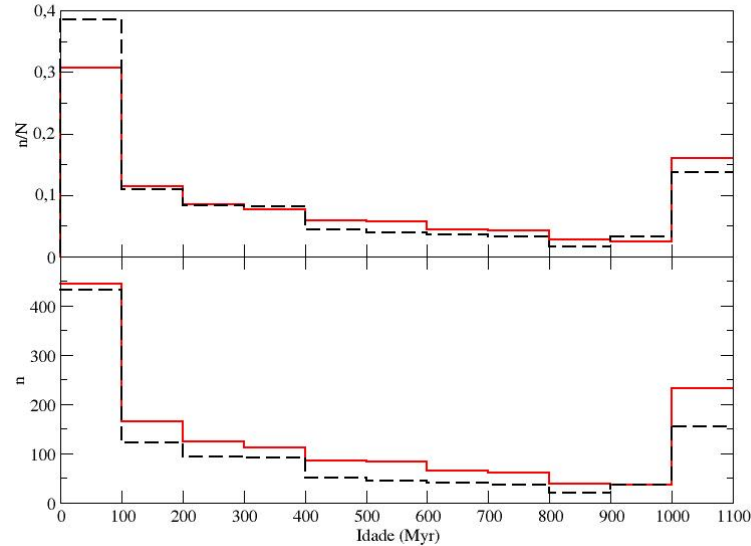


Figura 2.5: Histograma de idade. A linha preta tracejada representa os dados do catálogo WEBDA-Dias, já a linha vermelha representa os dados do catálogo de Kharchenko et al. A coluna mais à direita nos histogramas representam todos os OCs com $idade > 1Gyear$.

Dividimos os OCs em grupos de idade, para melhor caracterizar os dados e aumentar a significância estatística dos resultados. Em sequência temos a distribuição espacial (X, Y) dos OCs, tanto os obtidos de Kharchenko et al. quanto os obtidos de WEBDA-Dias. Nestes gráficos de posição dos OCs, definimos o eixo Y a direção do Sol ao CG e o eixo X a direção perpendicular a Y dentro do plano do disco, crescendo no sentido do movimento solar. Dessa forma, a posição (X, Y) do Sol nestes gráficos é $(0, -8.5)$, em kpc. O eixo Z é perpendicular aos demais e crescendo para o sentido do Polo Norte Galáctico. Usamos, neste trabalho, $8.5kpc$ como a distância do Sol ao CG.

As figuras 2.6 - 2.15 mostram a distribuição dos OCs no plano Galáctico, onde podemos comparar possíveis diferenças entre as amostras usadas neste estudo. Essas figuras, assim como os histogramas, mostram que as duas bases de dados são consistentes entre si, pois obtêm parâmetros semelhantes em uma visão geral da amostra, mesmo com a diferente forma de obtenção dos valores dos parâmetros.

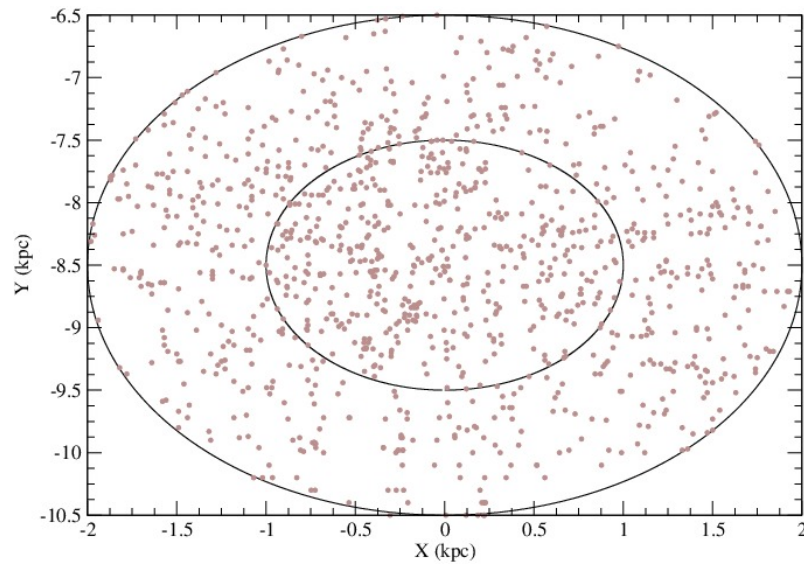


Figura 2.6: Gráfico de X vs Y para os dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs de todas as idades. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$.

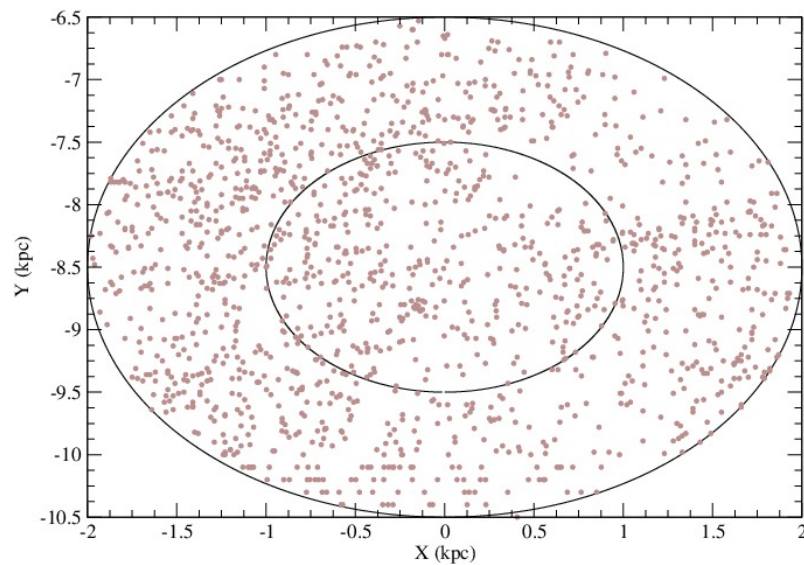


Figura 2.7: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs de todas as idades. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$.

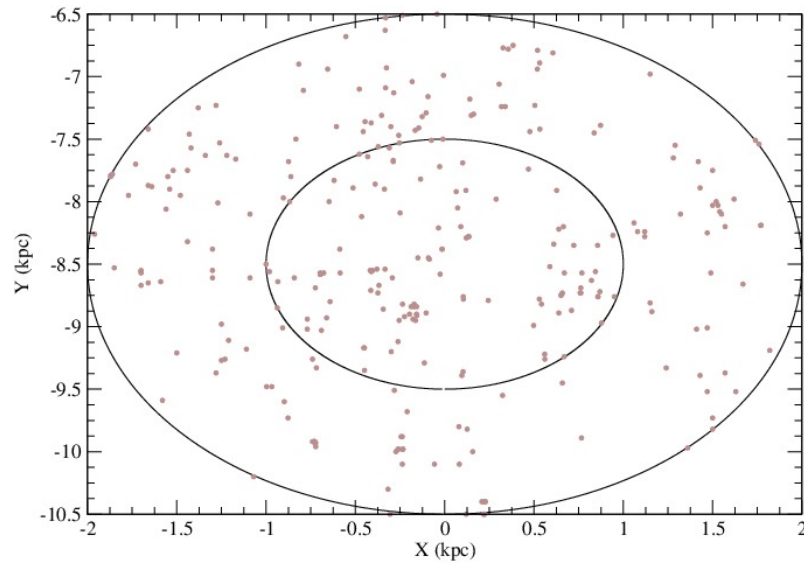


Figura 2.8: Gráfico de X vs Y para os dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idades inferiores a 40 Myr . Temos o círculo mais interno com raio de 1 kpc e o mais externo com raio de 2 kpc .

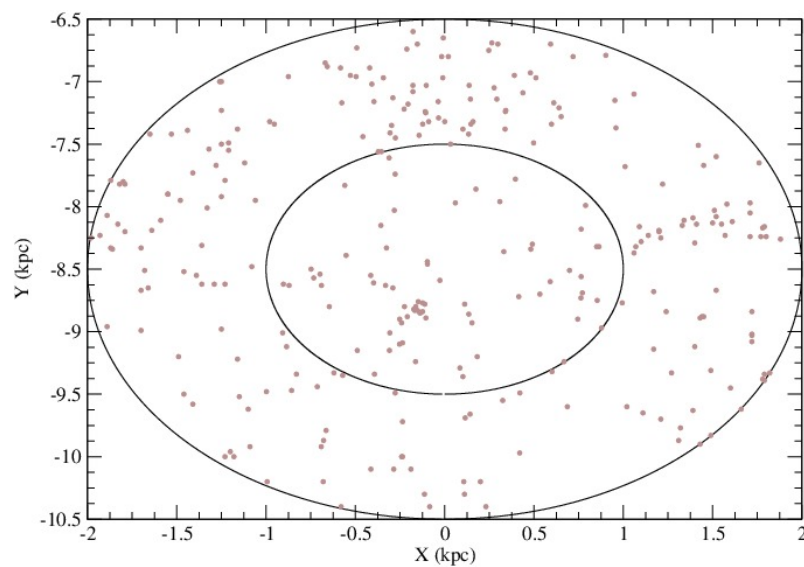


Figura 2.9: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idades inferiores a 40 Myr . Temos o círculo mais interno com raio de 1 kpc e o mais externo com raio de 2 kpc .

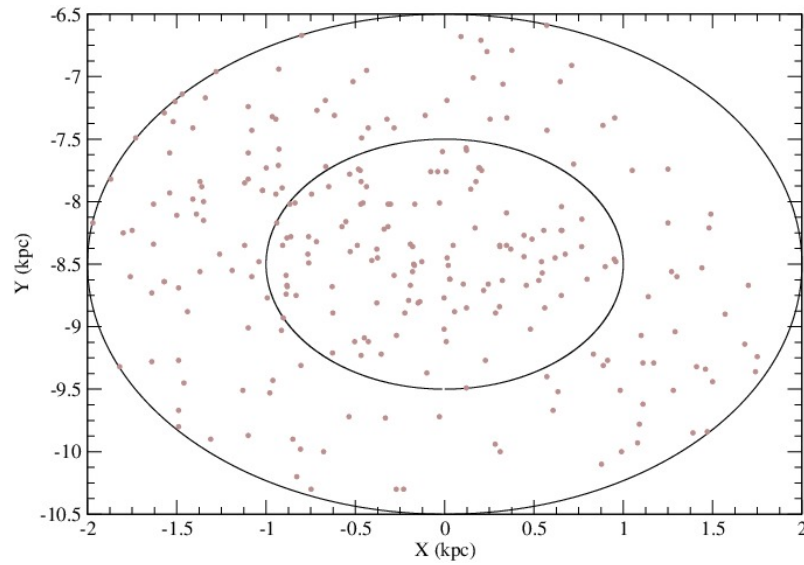


Figura 2.10: Gráfico de X vs Y para os dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idades maiores que $40Myr$ e menores que $200Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$.

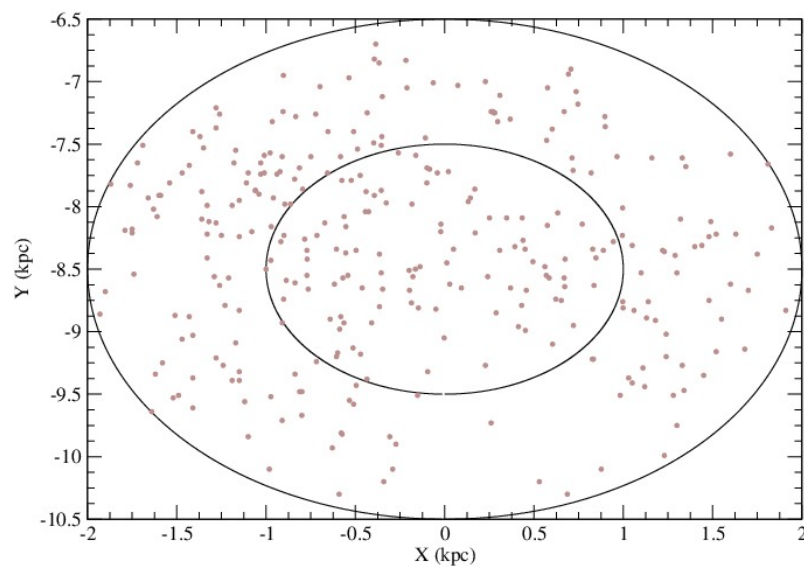


Figura 2.11: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idades maiores que $40Myr$ e menores que $200Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$.

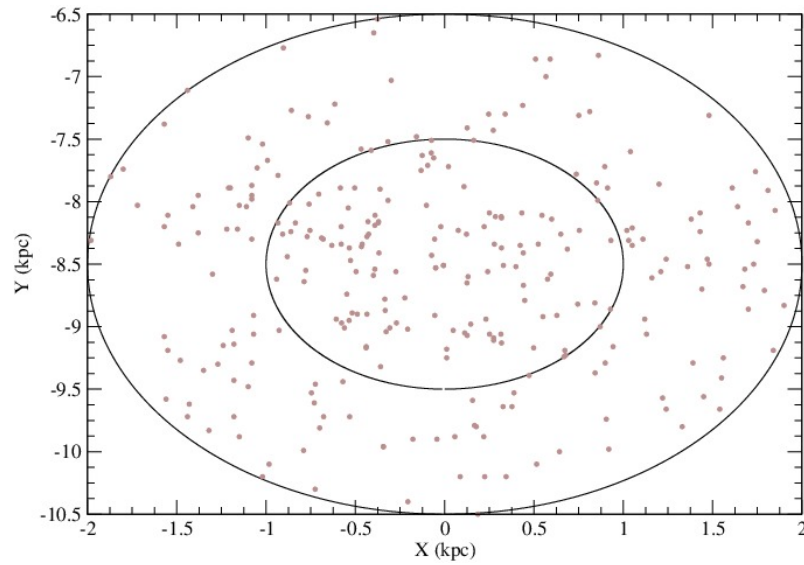


Figura 2.12: Gráfico de X vs Y para os dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idades maiores que $200Myr$ e menores que $600Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$.

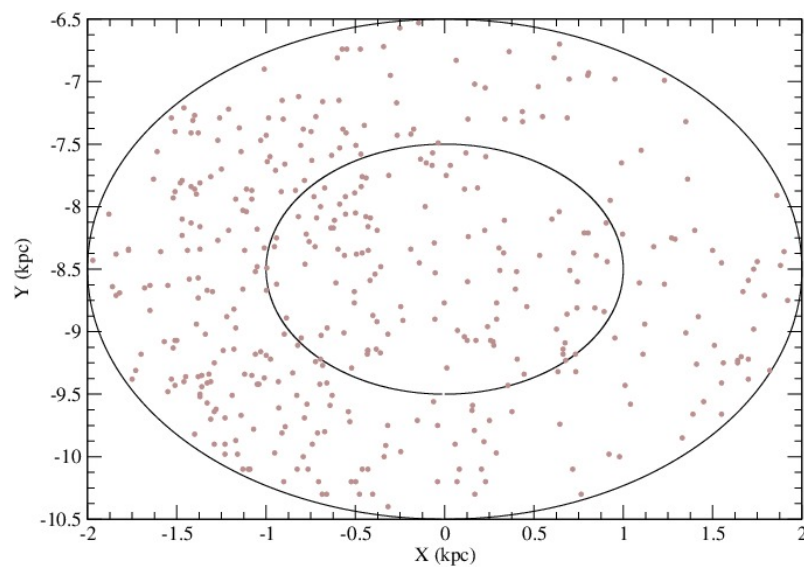


Figura 2.13: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idades maiores que $200Myr$ e menores que $600Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$.

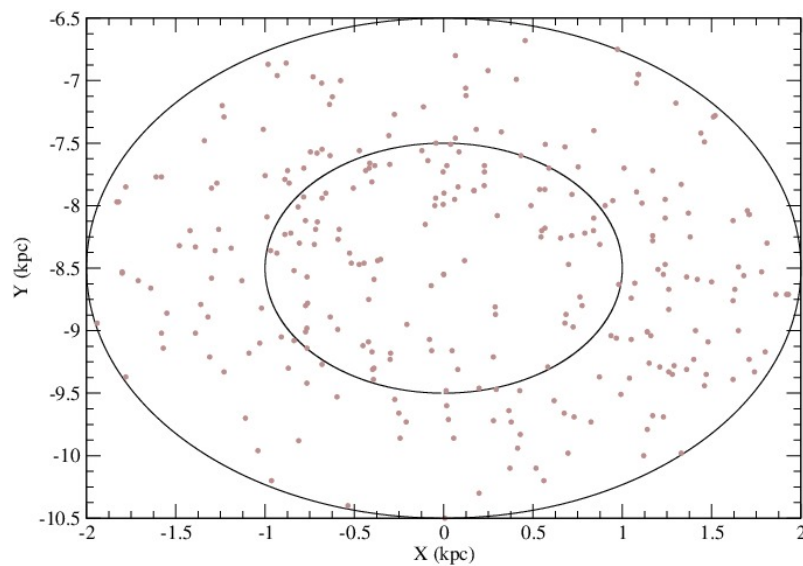


Figura 2.14: Gráfico de X vs Y para os dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idades superiores a $600 Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1 kpc$ e o mais externo com raio de $2 kpc$.

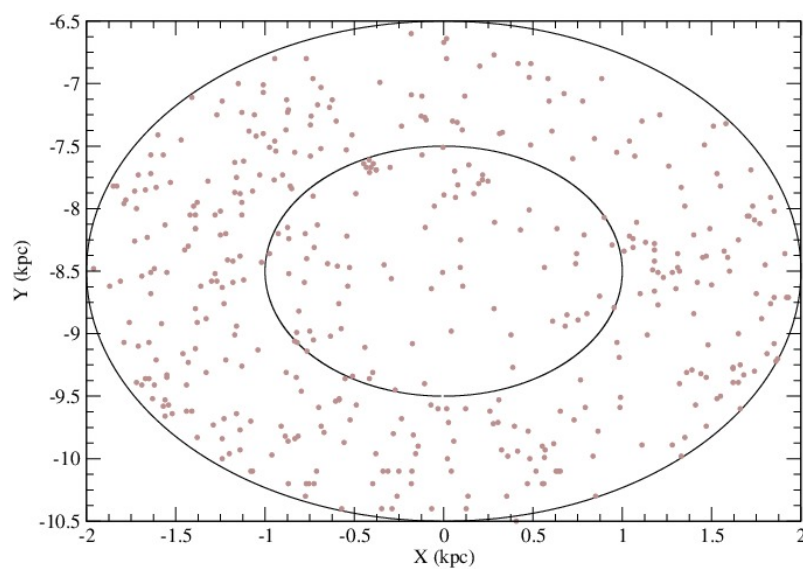


Figura 2.15: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idades superiores a $600 Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1 kpc$ e o mais externo com raio de $2 kpc$.

Capítulo 3

Resultados e Discussão

Após caracterizarmos a amostra WEBDA-Dias (gerada no presente estudo), podemos notar que a distribuição de OCs em função da respectiva distância vertical ao plano galáctico segue um padrão de decaimento exponencial (figura 2.4). Esta observação nos levou a aproximarmos uma curva à distribuição de OCs. Para aproximarmos uma curva aos pontos obtidos, foi usado um programa que utiliza o método de mínimos quadrados. Nele nós indicamos a equação que queremos aproximar aos pontos dados e definimos quais os parâmetros livres nesta equação. A equação usada foi a mesma apresentada em Bonatto et al. (2006) para a densidade de OC.

$$\phi(z) = \phi_0 e^{-|z+z_\odot|/z_h} \quad (3.1)$$

Na equação, z_\odot é a posição vertical solar e z_h é o fator de escala vertical e ϕ_0 é uma constante. O termo z_\odot foi calculado a partir da distribuição dos OCs de todas as idades, onde ele indica o deslocamento do pico da distribuição. Neste estudo, encontramos um valor de $z_\odot = 4.7 \pm 2.2pc$, o que quer dizer que o pico da $\phi(z)$ vai estar em $z = -4.7pc$, e não em $z = 0pc$. Deixando este valor fixo para os grupos de idade, calculamos os fatores de escala vertical.

A tabela 3.1 apresenta os valores obtidos. As figuras 3.1 - 3.5 mostram as curvas aproximadas em cada grupo de idade para a base de dados WEBDA-Dias.

Escala de Idade (Myr)	ϕ_0 (pc^{-1})	z_{\odot} (pc)	z_h (pc)
Todas as Idades	7.7 ± 0.2	4.7 ± 2.2	61.6 ± 2.4
≤ 40	9.5 ± 0.7	$4.7 \pm 2.2^{\dagger}$	58.3 ± 7.9
40 – 200	9.2 ± 0.9	$4.7 \pm 2.2^{\dagger}$	55.5 ± 10.2
200 – 600	7.7 ± 0.4	$4.7 \pm 2.2^{\dagger}$	72.4 ± 8.2
> 600	5.7 ± 0.5	$4.7 \pm 2.2^{\dagger}$	62.9 ± 9.7

Tabela 3.1: Parâmetros observados da estrutura do disco.

† : Parâmetro mantido fixo.

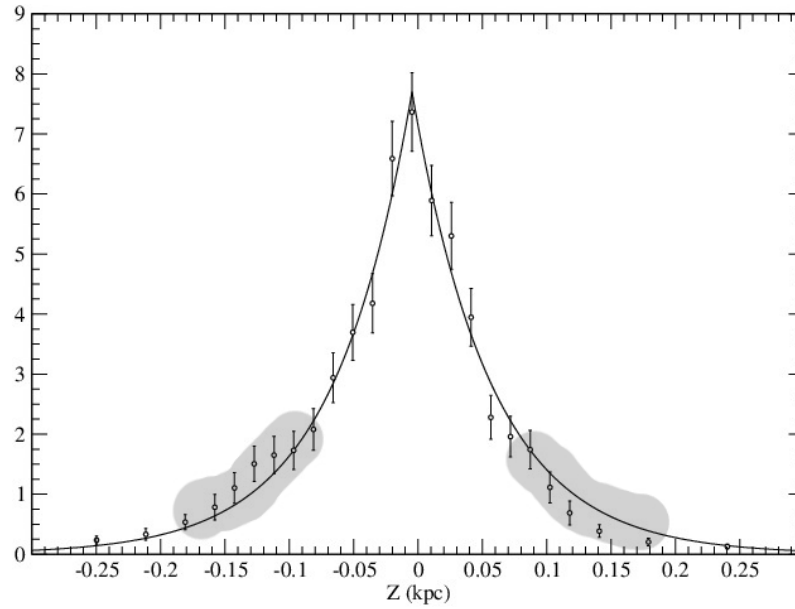


Figura 3.1: Distribuição de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados de todas as idades. A linha representa a exponencial aproximada.

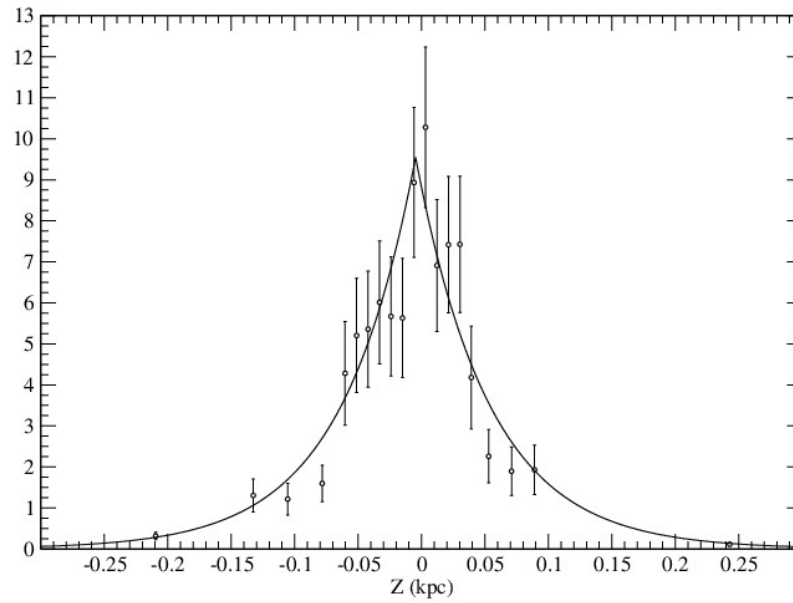


Figura 3.2: Distribuição de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados com idades inferiores a $40Myr$. A linha representa a exponencial aproximada.

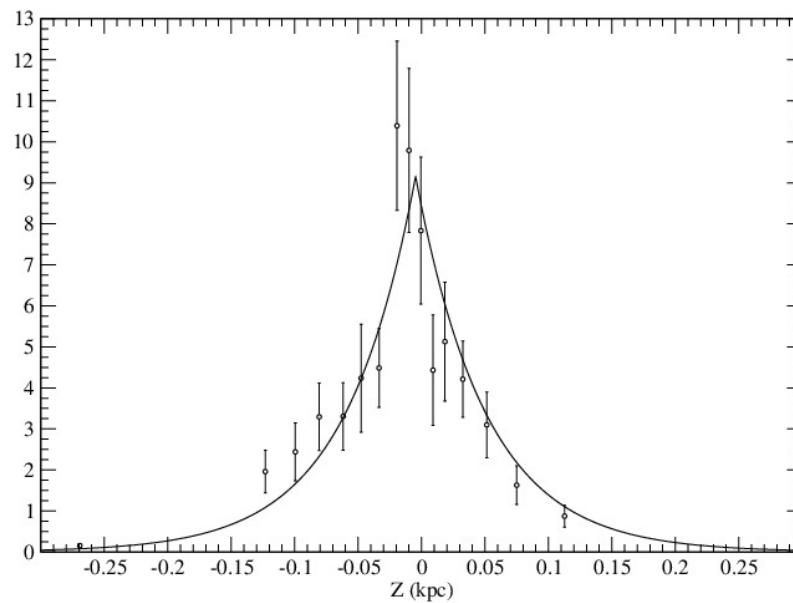


Figura 3.3: Distribuição de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados com idades no intervalo $40 - 200Myr$. A linha representa a exponencial aproximada.

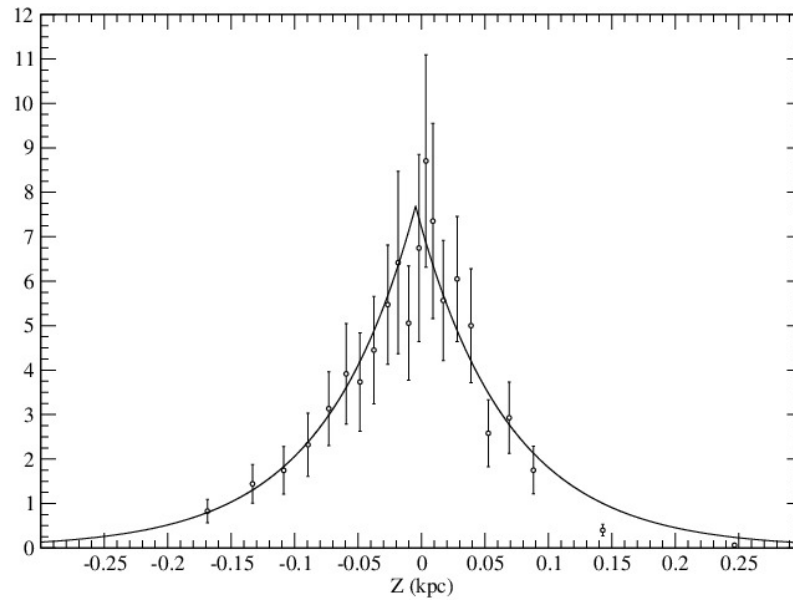


Figura 3.4: Distribuição de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados com idades no intervalo $200 - 600 Myr$. A linha representa a exponencial aproximada.

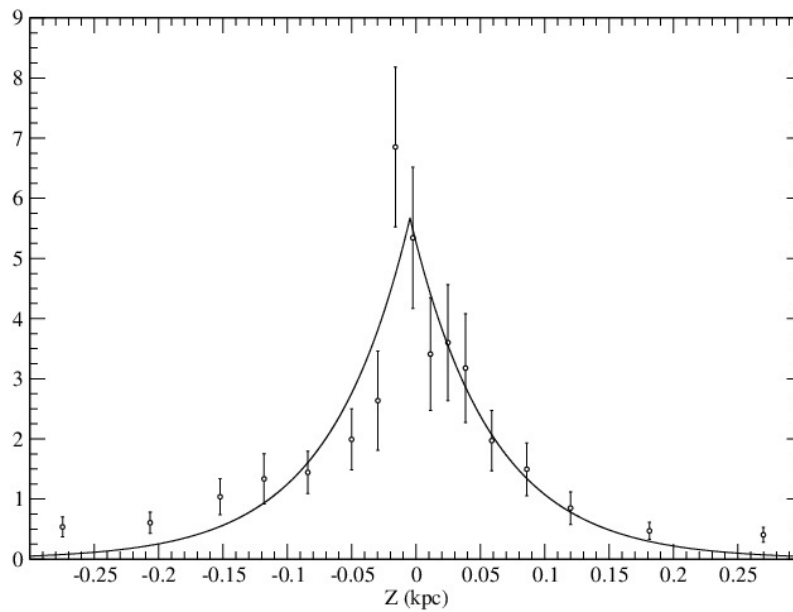


Figura 3.5: Distribuição de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados com idades superiores a $600 Myr$. A linha representa a exponencial aproximada.

Pela semelhança entre os valores de z_h entre os grupos contendo idades entre $0 - 40Myr$ e entre $40 - 200Myr$, juntamos estes grupos em um grupo com maior domínio de idades. O mesmo foi realizado para os outros dois grupos de idade. Os novos valores obtidos são apresentados na tabela 3.2. As curvas aproximadas para estes grupos de idade são mostrados nas figuras 3.6 e 3.7

Escala de Idade (Myr)	ϕ_0 (pc^{-1})	z_{\odot} (pc)	z_h (pc)
Todas as Idades	7.7 ± 0.2	4.7 ± 2.2	61.6 ± 2.4
≤ 200	9.4 ± 0.3	$4.7 \pm 2.2^{\dagger}$	55.0 ± 2.9
> 200	6.5 ± 0.2	$4.7 \pm 2.2^{\dagger}$	67.3 ± 3.5

Tabela 3.2: Parâmetros observados da estrutura do disco.

\dagger : Parâmetro mantido fixo

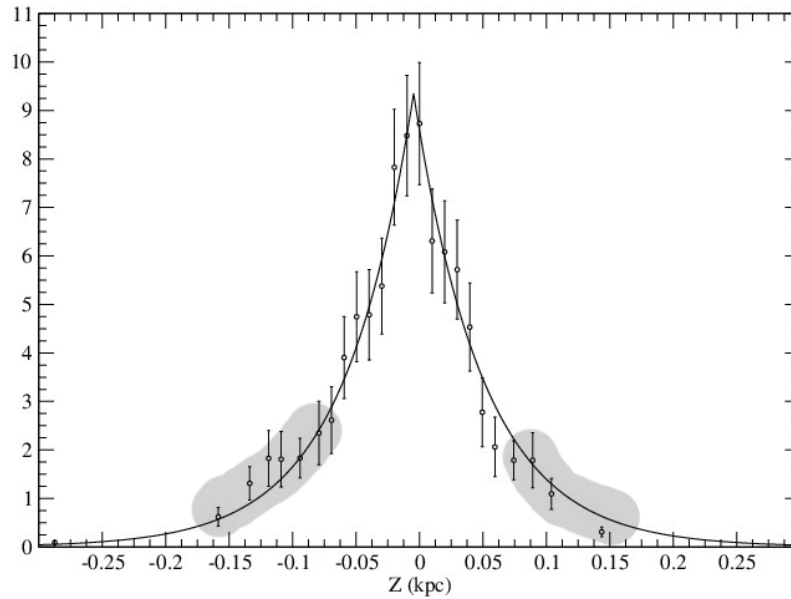


Figura 3.6: Distribuição de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados com idades inferiores a $200Myr$. A linha representa a exponencial aproximada.

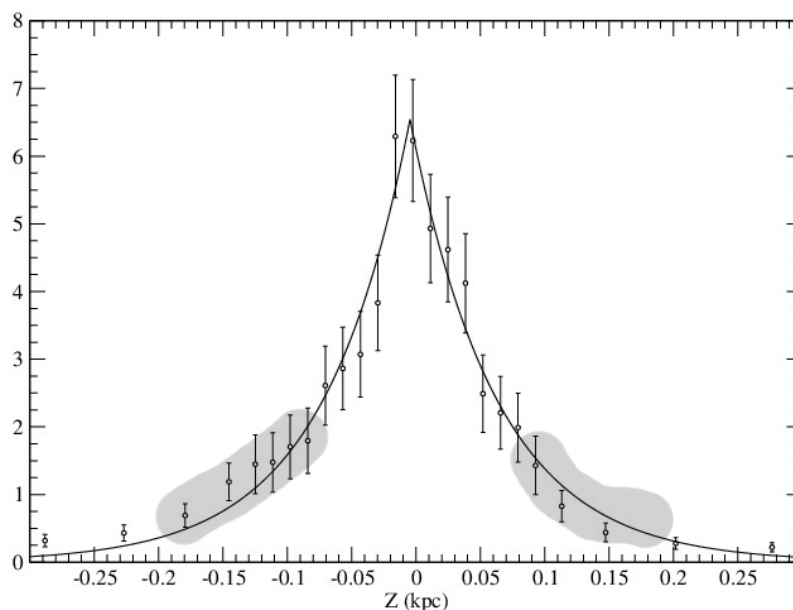


Figura 3.7: Distribuição de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados com idades superiores a $200Myr$. A linha representa a exponencial aproximada.

Os valores destes fatores de escala concordam com a teoria de que os OCs alcançam maiores deslocamentos verticais com o tempo.

Ao olharmos mais atentamente para as distribuições dos OCs mais jovens (*idade* $< 200Myr$) notamos uma anomalia nas curvas. Nas regiões $z(pc) = [-200; -75]$ (região 1) e $z(pc) = [75; 200]$ (região 2) existe um desvio da curva esperada, dada pela equação exponencial. Isso é notado para os OCs mais jovens que $200Myr$ e na distribuição contendo os OC de todas as idades. Porém, o baixo número de pontos nas regiões 1 e 2 para os OCs com idade inferior a $40Myr$ dificulta qualquer afirmação baseada somente nesta base de dados.

Estas anomalias nos incentivaram a buscar uma segunda base de dados para procurarmos estas anomalias e concluir se elas são reais ou não. Para isso, sobreposemos as distribuições de OCs em função de z obtidas do catálogo de Kharchenko et al. (2013) e as provenientes do catálogo WEBDA-Dias. As distribuições em z dos dois catálogos sobrepostos são apresentados nas figuras 3.8 - 3.10.

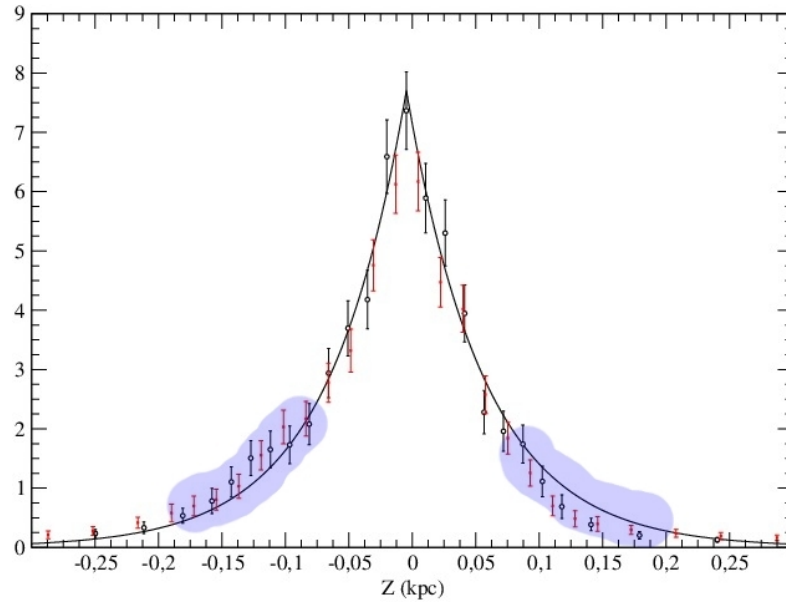


Figura 3.8: Distribuição sobreposta de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados de todas as idades dos catálogos WEBDA-Dias (preto) e Kharchenko et al. (2013) (vermelho). A linha representa a exponencial aproximada pela distribuição do catálogo WEBDA-Dias.

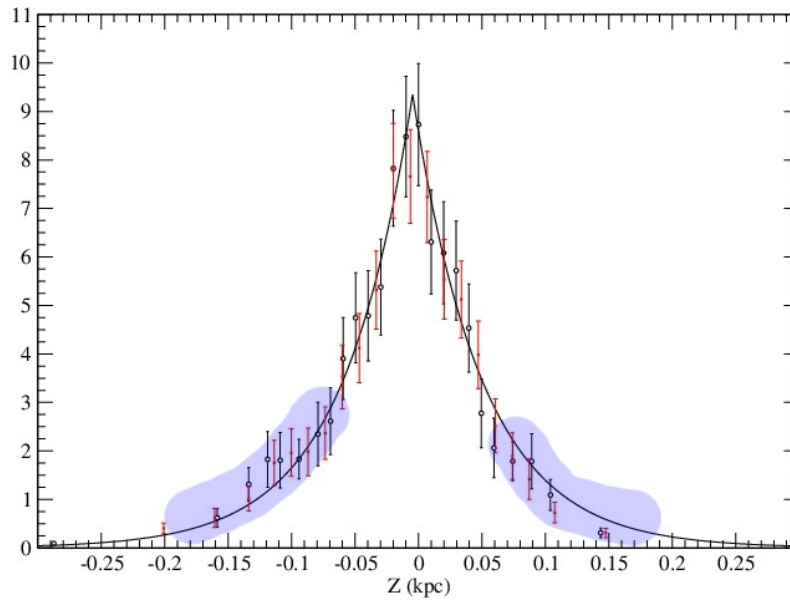


Figura 3.9: Distribuição sobreposta de OCs por $z(kpc)$ para os aglomerados com idades inferiores a $200 Myr$ dos catálogos WEBDA-Dias (preto) e Kharchenko et al. (2013) (vermelho). A linha representa a exponencial aproximada pela distribuição do catálogo WEBDA-Dias.

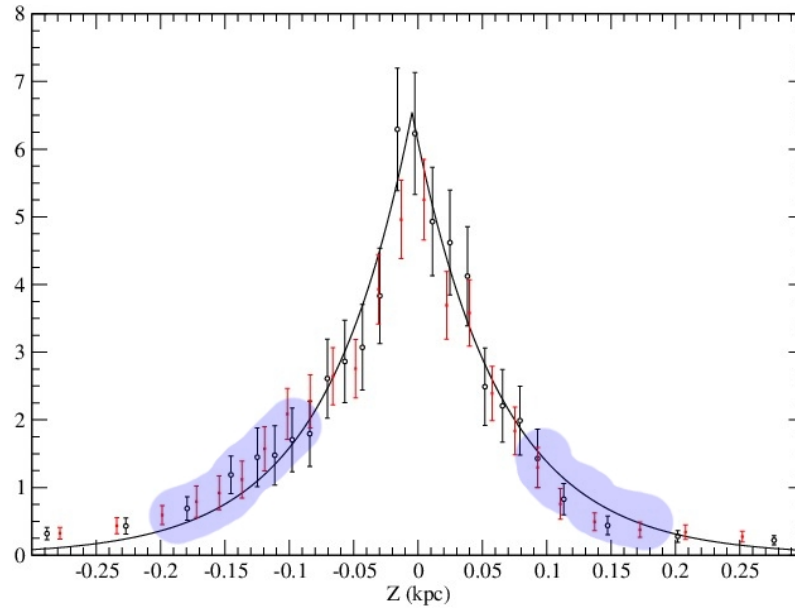


Figura 3.10: Distribuição de OCs por z (kpc) para os aglomerados com idades superiores a $200 Myr$ dos catálogos WEBDA-Dias (preto) e Kharchenko et al. (2013) (vermelho). A linha representa a exponencial aproximada pela distribuição do catálogo WEBDA-Dias.

Como vemos pelas distribuições em vermelho nas figuras, os dados de Kharchenko et al. (2013) são compatíveis com os dados da base WEBDA-Dias e também apresentam as anomalias nas regiões 1 e 2.

Nossa primeira medida para tentar identificar a causa desta diferente distribuição de OCs para estas regiões foi marcar os OCs desta pequena sub-amostra nas distribuições dos aglomerados em (X, Y) , afim de encontrarmos qualquer possível relação entre o número de OCs e suas respectivas posições no plano da Galáxia, como a possibilidade de estes OCs estarem em um braço da Via-Láctea. Isto foi feito para todos os grupos de idade em ambos os conjuntos de dados - WEBDA-Dias e Kharchenko et al. (2013) - de forma separada e são apresentados nas figuras 3.11 - 3.20.

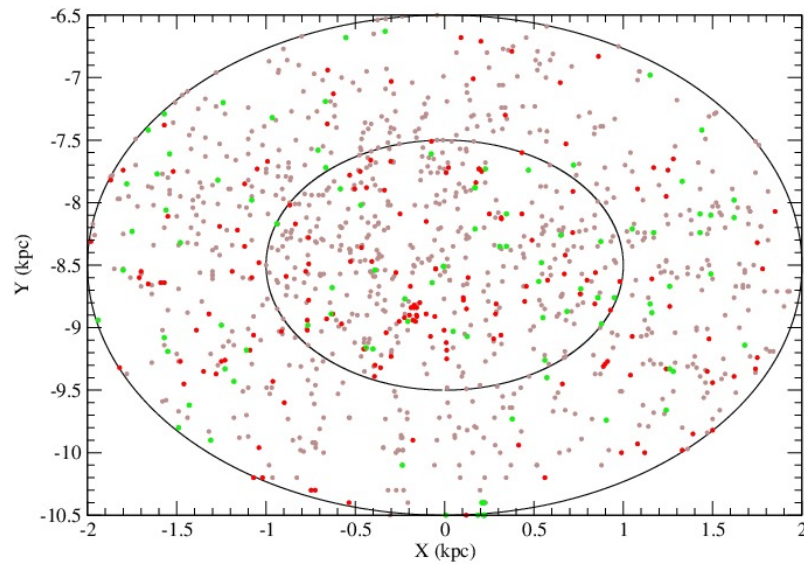


Figura 3.11: Gráfico de X vs Y para os dados da base de dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa todos os OC do catálogo. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

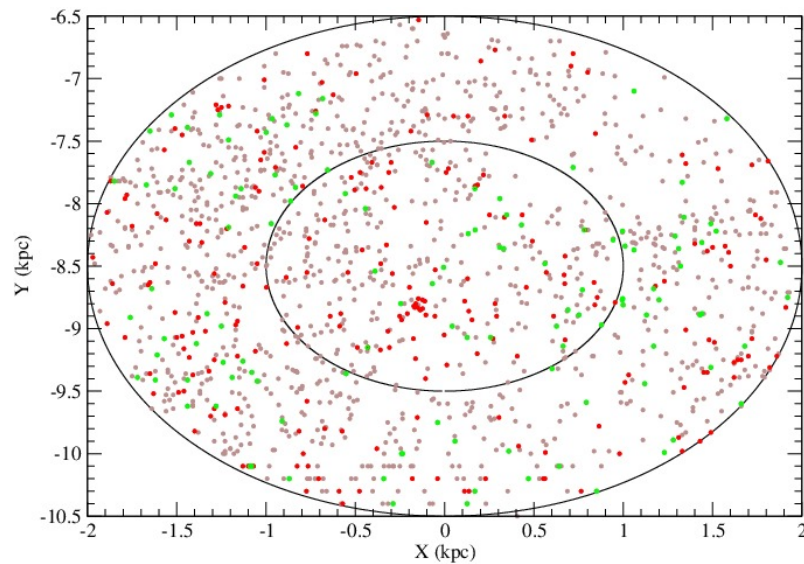


Figura 3.12: Gráfico de X vs Y para os dados de Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa todos os OC do catálogo. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

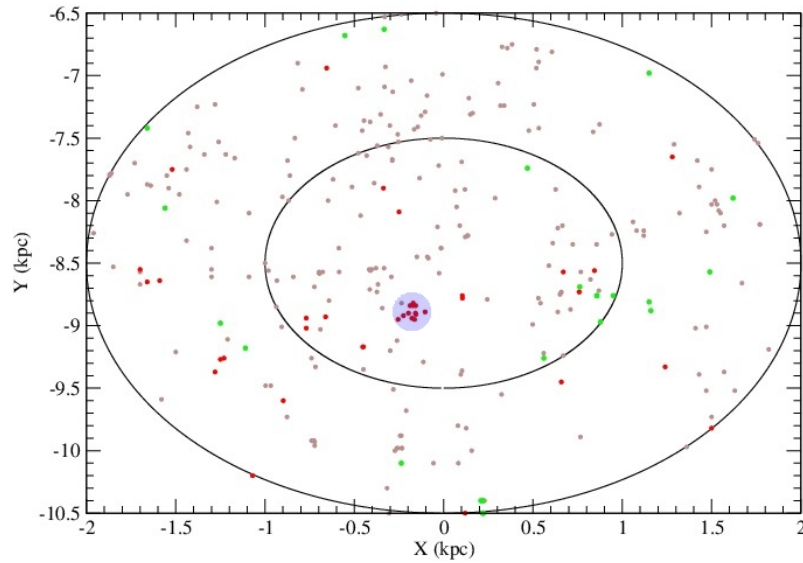


Figura 3.13: Gráfico de X vs Y para os dados da base de dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idade inferior a $40 Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1 kpc$ e o mais externo com raio de $2 kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

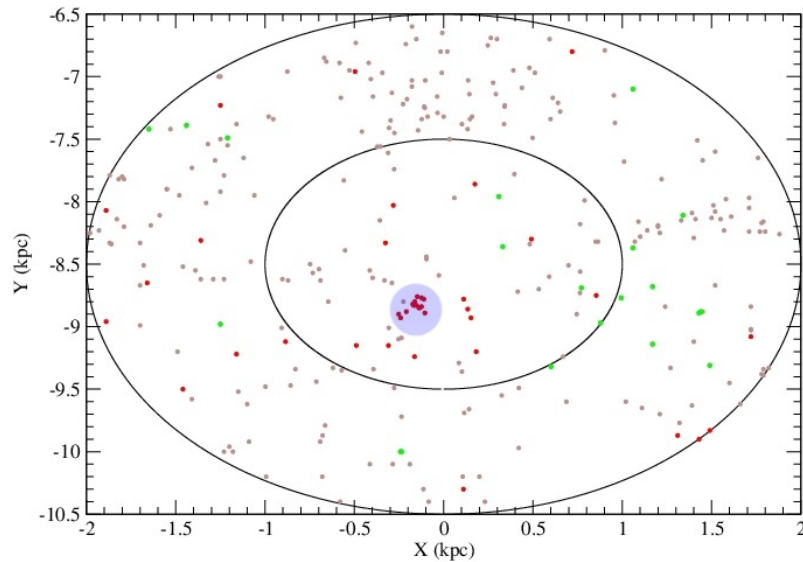


Figura 3.14: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idades inferiores a $40 Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1 kpc$ e o mais externo com raio de $2 kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

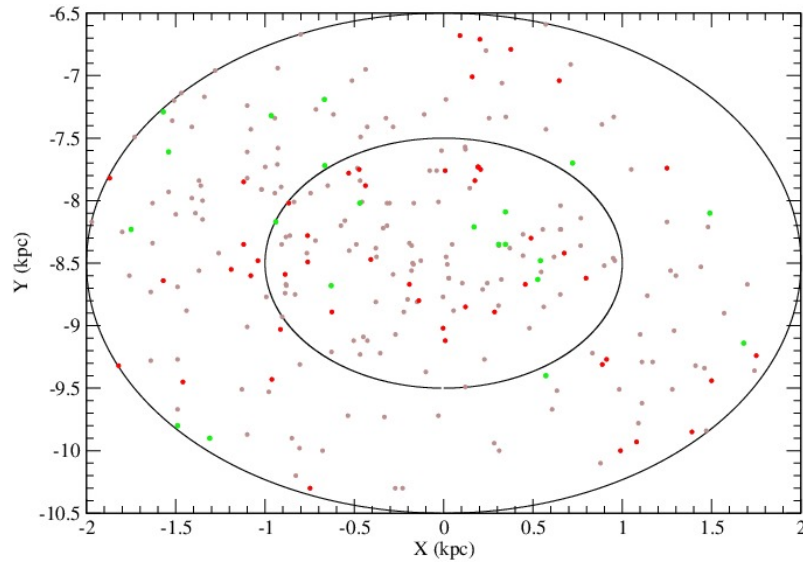


Figura 3.15: Gráfico de X vs Y para os dados da base de dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idade entre 40Myr e 200Myr . Temos o círculo mais interno com raio de 1kpc e o mais externo com raio de 2kpc . Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

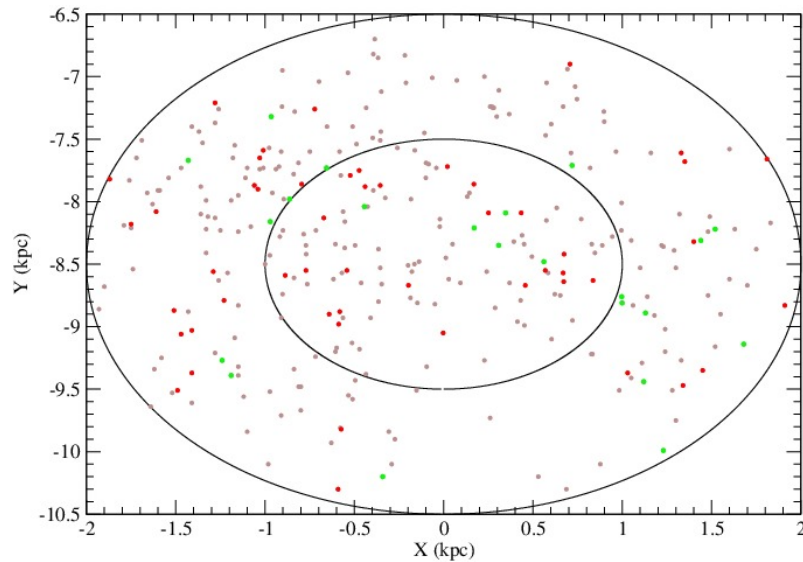


Figura 3.16: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idade entre 40Myr e 200Myr . Temos o círculo mais interno com raio de 1kpc e o mais externo com raio de 2kpc . Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

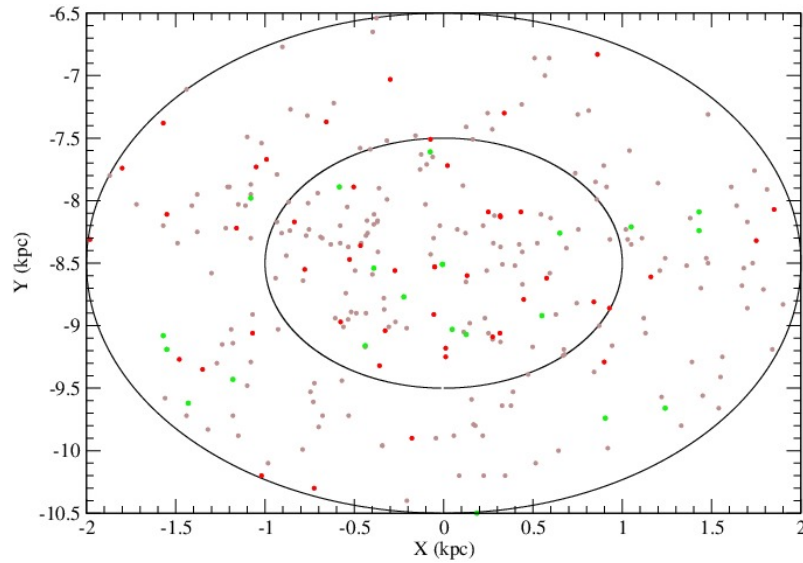


Figura 3.17: Gráfico de X vs Y para os dados da base de dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idade entre $200Myr$ e $600Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

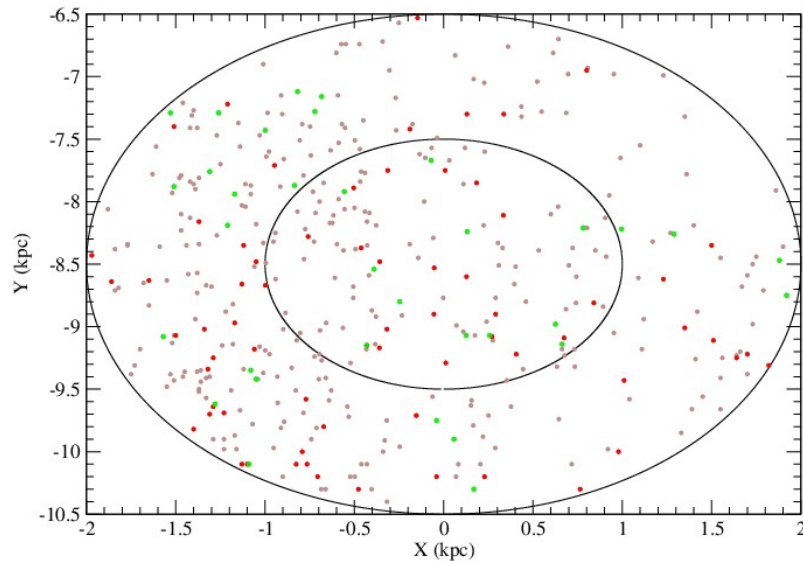


Figura 3.18: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idade entre $200Myr$ e $600Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1kpc$ e o mais externo com raio de $2kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

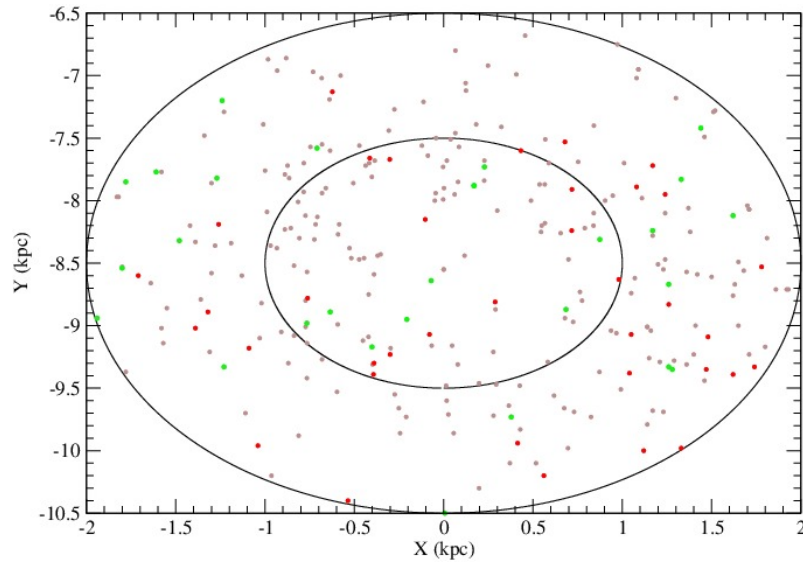


Figura 3.19: Gráfico de X vs Y para os dados da base de dados WEBDA-Dias. Este gráfico representa os OCs com idade superior a $600 Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1 kpc$ e o mais externo com raio de $2 kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

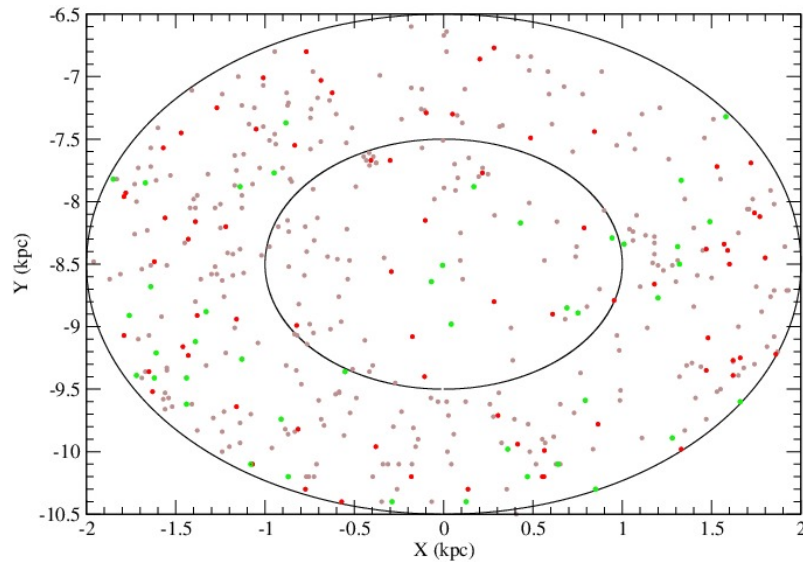


Figura 3.20: Gráfico de X vs Y para os dados Kharchenko et al. (2013). Este gráfico representa os OCs com idade superior a $600 Myr$. Temos o círculo mais interno com raio de $1 kpc$ e o mais externo com raio de $2 kpc$. Em vermelho estão os OCs da região 1 e em verde os da região 2.

Notamos que para o grupo dos OCs jovens (figuras 3.13 e 3.14) existe uma tendência de encontrarmos OCs muito próximos uns dos outros, formando pequenos grupos. Esta característica é observada nos dados de ambos os catálogos. Porém a formação de grupos de OCs não ocorre para aglomerados mais velhos que 40Myr , como pode ser visto nas figuras 3.15 - 3.20.

A distribuição em (X, Y) de aglomerados da base de dados de Kharchenko et al. (2013) nos apresenta uma característica interessante para os OCs moderadamente velhos (idades entre 200Myr e 600Myr): uma assimetria. Há catalogados em Kharchenko et al. (2013) um número muito maior de OCs moderadamente velhos (figura 3.18) para $X < 0$ do que para $X > 0$. Esta característica não é observada na amostra WEBDA-Dias, que contém menos objetos para o mesmo domínio de idades, o que nos leva a crer que esta assimetria é causada na aquisição de dados, ao dar-se preferência à uma região do espaço, e não por efeitos reais na formação ou dinâmica de OCs.

Outra assimetria é verificada na figura 3.19, para os OCs velhos (idades maiores que 600Myr) do catálogo WEBDA-Dias. Esta é muito mais difícil de ver, se comparada com a assimetria observada na figura 3.18, e mostra um maior número de OCs velhos com $X > 0$.

Capítulo 4

Considerações Finais

Neste trabalho foram usadas duas amostras, uma com 1119 OCs (WEBDA-Dias) e outra contendo 1447 OCs (Kharchenko et al. (2013)), com valores publicados de latitude galáctica ($^{\circ}$), longitude galáctica ($^{\circ}$), distância ao Sol (kpc) e idade (Myr). Os OCs mais jovens que $200Myr$ se distribuem seguindo um perfil de decaimento exponencial com escala de altura $z_h(pc) = 55.0 \pm 2.9$. OCs com idades maiores que $200Myr$ se distribuem verticalmente com escala de altura $z_h(pc) = 67.3 \pm 3.5$. A escala de altura média dos OCs é de $z_h(pc) = 61.6 \pm 2.4$. Estes resultados confirmam a hipótese de que a escala de altura dos OCs cresce com a idade dos mesmos. O valor encontrado para a posição vertical do Sol dentro do disco obtido foi $z_{\odot}(pc) = 4.7 \pm 2.2$. Podemos ver que a escala de altura z_h para os OCs jovens e a escala de altura média dos OCs ficou dentro do esperado, mas os valores de z_h para os OCs velhos e o z_{\odot} ficaram consideravelmente abaixo dos valores encontrados na literatura. Isso pode ser resultado do baixo número de aglomerados velhos utilizados nos trabalhos anteriores, enquanto as amostras que geraram estes resultados possuem um número suficiente de OCs para se observar com mais confiança os parâmetros do disco da Galáxia.

Observamos que distribuição dos OCs possui uma anomalia na região $0.075kpc < |z| < 0.2kpc$, onde notamos uma curvatura fora do padrão exponencial esperado. A causa desta anomalia, presente nas distribuições verticais dos OCs mais jovens que $200Myr$ e também na distribuição geral dos OCs, não foi identificada neste estudo.

Os próximos passos na busca de uma resposta para as causas deste excesso de OCs na região $z(pc) \in (-200; -75)$ e para a baixa concentração na região $z(pc) \in (75; 200)$ são, primeiramente, somar as bases de Kharchenko et al. (2013) com a WEBDA-Dias, podendo assim encontrar possíveis dados pouco precisos e também criando uma base de dados maior e mais confiável. Com essa nova base, ficará

mais claro em quais grupos de idade as anomalias são mais intensas. Após esse passo, pretendo comparar o comportamento dos OCs com o comportamento de estrelas de campo, procurando na distribuição das estrelas uma anomalia de mesma característica. Essa comparação será de grande ajuda para compreender o que faz os OCs se comportarem desta forma para estas regiões. Para dar mais informações sobre as amostras, pretendo analisar as metalicidades dos OCs da amostra composta de WEBDA-Dias e Kharchenko et al. (2013).

Também pretendo analisar os OCs que formam um grande conjunto de aglomerados com idades entre 0 e 40Myr (figuras 3.16 e 3.17) em uma pequena região do espaço, destacando quais são estes OCs e que região da galáxia é esta.

Capítulo 5

Referências Bibliográficas

BAHCALL, J. N., SONEIRA, R. M. Predicted star counts in selected fields and photometric bands Applications to galactic structure, the disk luminosity function, and the detection of a massive halo. *Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 47, p. 357–403, December 1981.

BERGOND, G., LEON, S., GUIBERT, J. Gravitational tidal effects on galactic open clusters. *Astronomy and Astrophysics*, v. 377, p. 462–472, October 2001.

BICA, E., , , BONATTO, C., , , DUTRA, C. M. Does Cyg OB2 harbour any open cluster? *Astronomy and Astrophysics*, v. 405, p. 991–998, July 2003a.

BICA, E., BONATTO, C. Proper motion measurements as indicators of binarity in open clusters. *Astronomy and Astrophysics*, v. 431, p. 943–951, March 2005a.

BICA, E., BONATTO, C. Properties of five low-contrast open clusters in the third quadrant. *Astronomy and Astrophysics*, v. 443, p. 465–475, November 2005b.

BICA, E., BONATTO, C., DUTRA, C. M. Discovery of three optical open clusters in the Galaxy. *Astronomy and Astrophysics*, v. 422, p. 555–562, August 2004.

BICA, E., DUTRA, C. M., BARBUY, B. A Catalogue of infrared star clusters and stellar groups. *Astronomy and Astrophysics*, v. 397, p. 177–180, January 2003b. 30

BICA, E., DUTRA, C. M., SOARES, J., BARBUY, B. New infrared star clusters in the Northern and Equatorial Milky Way with 2MASS. *Astronomy and Astrophysics*, v. 404, p. 223–232, June 2003c.

BINNEY, JAMES, MERRIFIELD, MICHAEL. *Galactic Astronomy*: 1998.

BINNEY, JAMES, TREMAINE, SCOTT. *Galactic dynamics*: 1987.

BONATTO, C., BICA, E. Detailed analysis of open clusters: A mass function break and evidence of a fundamental plane. *Astronomy and Astrophysics*, v. 437,

p. 483–500, July 2005.

BONATTO, C., KERBER, L. O., BICA, E., SANTIAGO, B. X. Probing disk properties with open clusters. *Astronomy and Astrophysics*, v. 446, p. 121–135, January 2006.

CHEN, BING, STOUGHTON, CHRIS, SMITH, J. ALLYN, UOMOTO, ALAN ET AL. Stellar Population Studies with the SDSS. I. The Vertical Distribution of Stars in the Milky Way. *Astrophysical Journal*, v. 553, p. 184–197, May 2001.

COHEN, MARTIN. The displacement of the sun from the galactic plane using IRAS and FAUST source counts. *Astrophysical Journal*, v. 444, p. 874–878, May 1995.

DE LA FUENTE MARCOS, R. Searching for open cluster remnants. *Astronomy and Astrophysics*, v. 333, p. L27–L30, May 1998.

DE VAUCOULEURS, G., PENCE, W. D. An outsider's view of the Galaxy - Photometric parameters, scale lengths, and absolute magnitudes of the spheroidal and disk components of our Galaxy. *Astronomical Journal*, v. 83, p. 1163–1173, October 1978.

DIAS, W. S., ALESSI, B. S., MOITINHO, A., LEPINE, J. R. D. New catalogue of optically visible open clusters and candidates. *Astronomy and Astrophysics*, v. 389, p. 871–873, July 2002.

DUTRA, C. M., BICA, E., SOARES, J., BARBUY, B. New infrared star clusters in the southern Milky Way with 2MASS. *Astronomy and Astrophysics*, v. 400, p. 533–539, March 2003.

FRIEL, E. D. The Old Open Clusters Of The Milky Way. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1995.

GIRARDI, L., BERTELLI, G., BRESSAN, A., CHIOSI, C., GROENEWEGEN, M. A. T. ET AL. Theoretical isochrones in several photometric systems. I. Johnson-Cousins-Glass, HST/WFPC2, HST/NICMOS, Washington, and ESO Imaging Survey filter sets. *Astronomy and Astrophysics*, v. 391, p. 195–212, August 2002.

HAMMERSLEY, P. L., GARZON, F., MAHONEY, T., CALBET, X. The tilted old Galactic disc and the position of the Sun. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 273, p. 206–214, March 1995.

JANES, K., ADLER, D. Open clusters and galactic structure. *Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 49, p. 425–445, July 1982.

JANES, K. A., PHELPS, R. L. The galactic system of old star clusters: The development of the galactic disk. *Astronomical Journal*, v. 108, p. 1773–1785, November 1994.

KHARCHENKO, N. V. ET AL. Global survey of star clusters in the Milky Way I. *Astronomy and Astrophysics*, v. 543, July 2012.

KHARCHENKO, N. V. ET AL. Global survey of star clusters in the Milky Way. II. *Astronomy and Astrophysics*, v. 558, October 2013a.

KHARCHENKO, N. V. ET AL. Global survey of star clusters in the Milky Way: The open cluster distance scale. *Advancing the Physics of Cosmic Distances, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, v. 289, p. 394–397, February 2013b.

KING, IVAN R. The structure of star clusters. III. Some simple dynamical models. *Astronomical Journal*, v. 71, p. 64–+, February 1966.

LYNGA, G. Open clusters in our Galaxy. *Astronomy and Astrophysics*, v. 109, p. 213–222, May 1982.

MERMILLIOD, J.-C. The database for galactic clusters (BDA). *Information and On-Line Data in Astronomy*, Eds D. Egret and M.A. Albrecht (Kluwer Academic Press, Dordrecht), p. 127-138, 1995

NILAKSHI, , SAGAR, R., PANDEY, A. K., MOHAN, V. A study of spatial structure of galactic open star clusters. *Astronomy and Astrophysics*, v. 383, p. 153–162, January 2002.

PLATAIS, IMANTS, KOZHURINA-PLATAIS, VERA, VAN LEEUWEN, FLOOR. A Search for Star Clusters from the HIPPARCOS Data. *Astronomical Journal*, v. 116, p. 2423–2430, November 1998.

REID, MARK J. The distance to the center of the Galaxy. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1993.

RUPRECHT, J. Classification of open star clusters. *Bulletin of the Astronomical Institute of Czechoslovakia*, 1966.

TADROSS, A. L., WERNER, P., OSMAN, A., MARIE, M. Morphological analysis of open clusters' properties. II. Relationships projected onto the galactic plane. *New Astronomy*, v. 7, p. 553–575, December 2002.

VAN DEN BERGH, S., MCCLURE, R. D. Galactic distribution of the oldest open clusters. *Astronomy and Astrophysics*, v. 88, p. 360–362, August 1980.

<http://webda.physics.muni.cz/>

Bibliografia