Tópicos de Astronomia Galática, Extragalática e Cosmologia

Experimento de Shapley

Mateus Guimarães
Instituto de Física - UFRGS

29 de abril de 2022

Resumo

O presente relatório busca introduzir e reproduzir o experimento de Shapley para a inferência da distância do Sol ao centro Galáctico R_0. Baseando nos dados disponibilizados pelo professor, estimou-se, em primeira aproximação o valor de $R_0 = 6,36 \pm 11,69$ Kpc; depois de ajustarmos os dados das posições X, Y, Z considerando uma distribuição gaussiana na intenção de diminuir a incerteza associada aos dados. Considerando a aproximação gaussiana dos dados chegou-se ao valor de $R_0 = 5,814 \pm 17,72$ Kpc sendo que o resultado para pesquisas [3] do ano de 2006 calcularam $R_0 = 7.2 \pm 0.3$Kpc.

1 Introdução

Desde seus primórdios, a astronomia sempre sofreu muito em suas tentativas de medir as distâncias relacionadas a objetos astronômicos, um exemplo de como essa medições movimentavam a área no século XX é o Grande Debate [1] em 1920 onde Curtis[1] e Shapley[2] defendiam divergentes posições sobre a localização de nebulosas espirais, enquanto Shapley defendia que todas as nebulosas pertenciam a Via Láctea, Curtis defendia que as nebulosas poderiam ser objetos extragalácticos e até outras galáxias (posteriormente, Edwin Hubble (1889 – 1953) conseguiu provar que a nebulosa em questão no debate estava fora da Via Láctea, confirmando então a tese defendida por Curtis).
Este relatório aborda um outro *debate* da mesma época que conta também com a participação de Shapley, porém agora vamos analisar antiquíssimos objetos astronômicos: os aglomerados globulares. Estes objetos são datados do início da formação da nossa galáxia e estudá-los corroborou para a tese apresentada por Shapley acerca da posição do Sol em relação ao Centro da Galáxia, em função disso, temos como objetivo repetir, de certa forma, alguns dos procedimentos que levaram Shapley ao seu resultado.

[1] Heber Curtis (1872 – 1942)
[2] Harlow Shapley (1885 –1972)

2 Embasamento Teórico

Considerando as coordenadas de um sistema de coordenas galáctico seguindo a imagem a seguir:

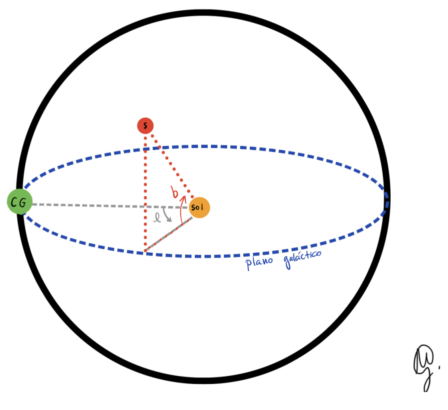

Figura 1: Sistema de coordenas galático.

Temos que $b : [-90^o, 90^o]$ graus, é o ângulo que o objeto faz com o plano galáctico sabendo que objetos ao norte possuem $b > 0^o$; $l : [0^o, 360^o]$, também medido em graus, nos dá a distância angular do objeto com relação ao centro galáctico com sentido positivo na direção leste.

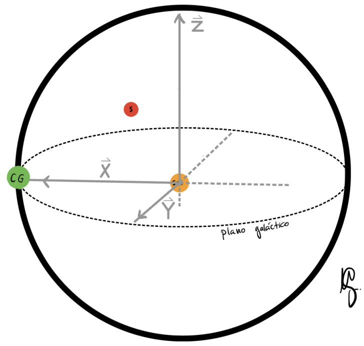

Figura 2: Sistema de coordenas galático reestruturado.

Considerando o sistema de coordenadas apresentado na figura 2 juntamente com o sistema da figura 1, podemos relacionar X, Y e Z com b e l tais que:

$$X^2 + Y^2 = R_{sol}^2 cos^2(b) \tag{1}$$

Tal que R_{sol} seria distância do sol a um objeto posicionado em b e l, segue-se então que:

$$X = (\sqrt{X^2 + Y})cos(l) \tag{2}$$

Substitui-se (2) em (1) tal que:

$$X = R_{sol}cos(b)cos(l) \tag{3}$$

Substituindo (3) em (1):

$$(R_{sol}cos(b)cos(l))^2 + Y^2 = R_{sol}^2 cos^2(b)$$

$$Y^2 = R_{sol}^2 cos^2(b)(1 - cos^2(l))$$

$$Y = R_{sol}cos(b)sen(l) \tag{4}$$

Precisamos ainda escrever uma expressão para Z em função das variáveis usadas acima. Segue-se então que, ao considerarmos o vetor dado pela distância do Sol ao objeto astronômico e sua relação com o eixo Z, temos:

$$Z = R_{sol}sen(b) \tag{5}$$

[3] O código utilizado está disponível em [2]

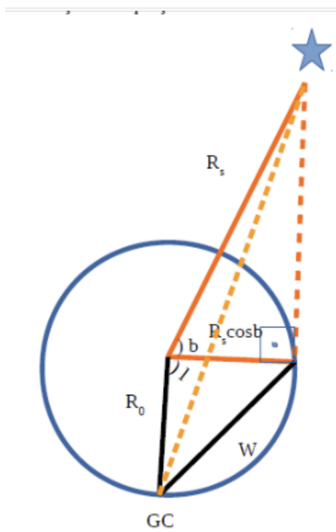

Figura 3: Coordenadas de um aglomerado.

Buscamos agora encontrar uma expressão para a distância entre um aglomerado qualquer e o centro da Via Láctea baseando-se na figura 3. Seguindo o apresentado na figura 3, temos R_{sol} na notação de R_s e o centro da galáxia dado por R_0. Com algumas observações trigonométricas da figura 3, obtém-se as seguintes expressões:

$$R_s = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \tag{6}$$

$$R_{CG} = \sqrt{AB^2 + BC^2} \tag{7}$$

$$AB = R_s sen(b) \tag{8}$$

Usando a lei de cossenos para calcularmos BC através do do triângulo BCO têm-se:

$$BC^2 = CO^2 + OB^2 - 2CO(OB)cos(l) \tag{9}$$

Uma vez que $R_0 = CO$ e $OB = R_s$, pode-se resolver a expressão (7) tal que:

$$R_{CG} = \sqrt{R_s^2 + R_0^2 - 2R_0 R_s cos(b)cos(l)} \tag{10}$$

Com a expressão (10) faz-se possível o cálculo da distância de um aglomerado ao centro da Via Láctea apenas em função dos observáveis b e l.

3 Metodologia

Utilizando o arquivo disponibilizado pelo professor contendo dados de 157 aglomerados globulares, incluindo alguns dados faltantes, vamos tratar estes dados com o objetivo de calcularmos a distância do Sol ao centro galáctico e ainda a posição do centro galáctico. Depois de corrigir[3] os dados faltantes no arquivo disponibilizado a partir das equações (3), (4) e (5) fizeram-se possíveis os resultados autoexplicativos apresentados na seção **4 Resultados**.

4 Resultados

Para calcularmos a possível distância do Sol ao centro galáctico, vamos calcular as médias das colunas X, Y e Z do arquivo disponibilizado, segue-se então:

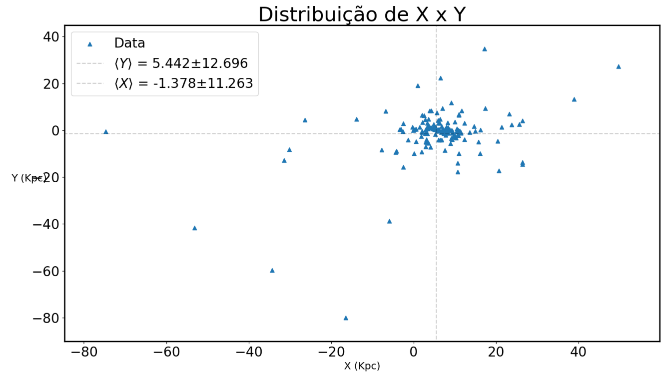

Figura 4: Dispersão das distâncias X e Y.

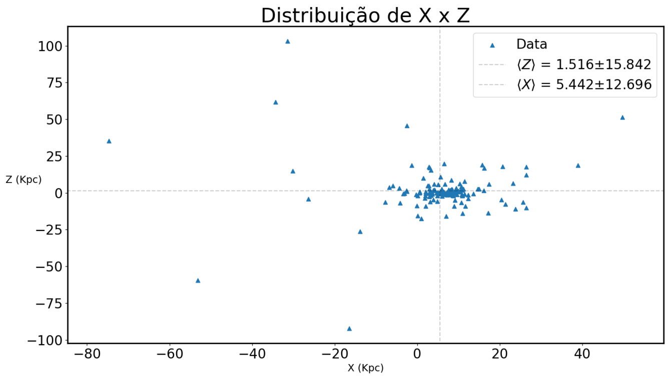

Figura 5: Dispersão das distâncias X e Z.

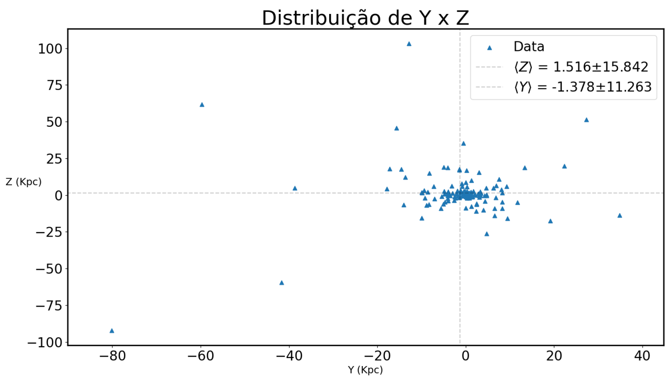

Figura 6: Dispersão das distâncias Y e Z.

Considerando essa primeira aproximação, a posição do centro galáctico no sistema de coordenadas apresentado na figura 2 é dada por:

$$\langle CG \rangle = (5,44 \pm 12,70; -1,38 \pm 11,26; 1,51 \pm 15,84)$$

Utilizando da expressão (6) chega-se no valor da distância do Sol ao centro da Via Láctea (em Kpc), ou seja:

$$R_0 = 5,814 \pm 17,72 \tag{11}$$

Como pode-se facilmente notar, as incertezas associadas ao resultado apresentado na expressão (11) são expressivas demais para considerarmos este um resultado aceitável. Para, de certa forma, amenizar a incerteza associada, vamos considerar que os aglomerados distribuem-se com uma densidade gaussiana com media e variância associada a média e variância dadas pelos dados do arquivo disponibilizado. Faz-se então gráficos comparando a distribuição dos aglomerados (para os dados dentro de um sigma de desvio) apresentada no arquivo em comparação com a curva gaussiana que será considerada nos próximos resultados apresentados no presente relatório.

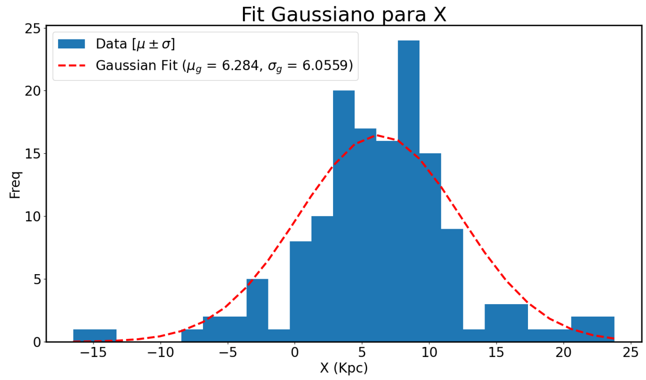

Figura 7: Fit Gaussiano para os dados de X.

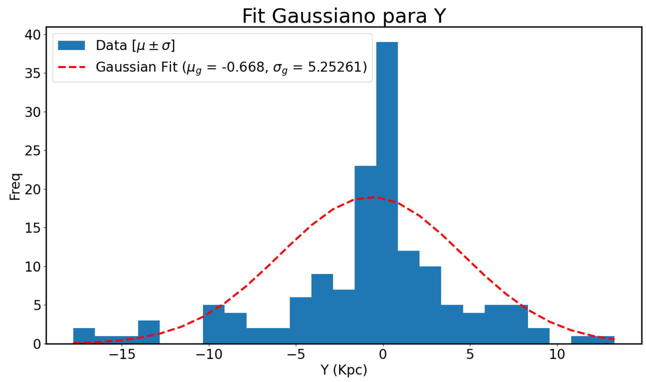

Figura 8: Fit Gaussiano para os dados de Y.

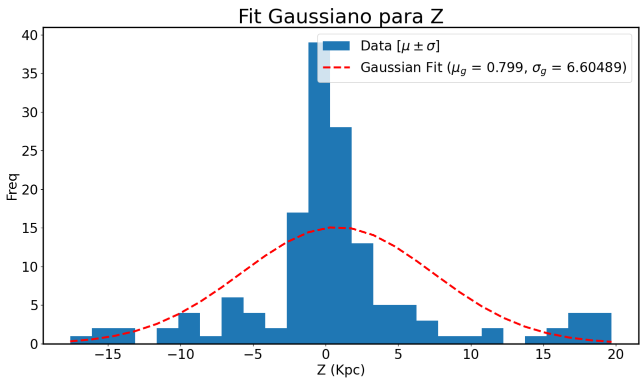

Figura 9: Fit Gaussiano para os dados de Z.

Depois desse ajuste chega-se aos seguintes valores:

$$\langle CG \rangle = (6,28 \pm 6,05; -0,67 \pm 5,25; 0,79 \pm 6,60)$$

$$R_0 = 6,36 \pm 11,69 Kpc \quad (12)$$

Para termos uma ideia de como estes dados estão distribuídos, faz-se um gráfico em três dimensões, apresentando também a possível posição do centro da galáxia (CG).

5 Conclusão

Comparando o resultado da expressão apresentado em (11) com o resultado de (12) após o ajuste gaussiano pode-se perceber uma grande melhora na determinação da distância do Sol ao CG, principalmente, em função da diminuição da incerteza associada a medição da posição do centro galáctico. Porém, quando comparamos ao resultado de $R_0 = 7.2 \pm 0.3 Kpc$ (E. Bica et al. 2006 [3]) vemos que precisamos de melhores observações ou de mais dados para melhorarmos a estatística das medidas .

6 Referências

[1] Carroll, B. W.; Ostlie, D. A. (2017). *An Introduction to Modern Astrophysics (2nd ed.)*. Cambridge University Press. ISBN 978-1-108-42216-1.
[2] Código em python usado disponível em : < https://github.com/mgteus/Astrophysics/tree/main/topics/R1 >
[3] E. Bica et al. *Globular cluster system and Milky Way properties revisited.* Disponível em: <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2006/16/aa4351-05.pdf>

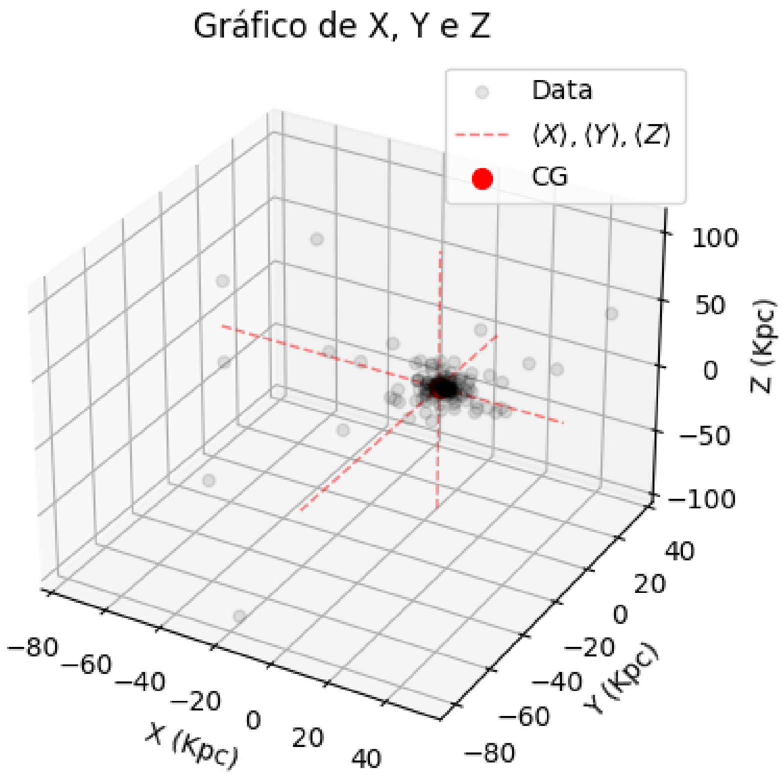

Figura 10: Plot 3D da posição dos aglomerados e CG.