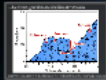


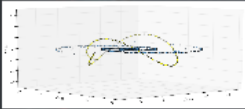


Simulação de órbitas estelares na Galáxia: Uma aplicação de modelos semi-empíricos à Gravitação Universal

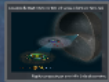
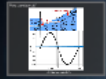
Rafael Domingues* ; Artur Justiniano



Agora, vamos voltar no tempo...
220 milhões de anos atrás



Quantas vezes o Sol cruza o disco da Galáxia?



Conteúdo:
1. Modelagem gravitacional
2. Dinâmica Universal
3. Distribuição de velocidades
4. Modelagem semi-empírica
5. Modelagem gravitacional
6. Distribuição de velocidades



QR Code

Lei de Gauss para a Gravitação

$$\nabla \cdot \vec{g} = -4\pi G \rho$$

Accleração Radial

$$a_r = -\frac{GM(r)}{r^2}$$


Accleração Zênital

$$a_z = -\frac{GM(r)}{r^2} \frac{z}{r}$$

Ângulo Polar

$$\theta = \arccos\left(\frac{z}{r}\right)$$

Gravitação Universal


$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$
$$-\frac{GMm}{r^2} \hat{r} = -\frac{mv^2}{r} \hat{r}$$
$$v = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$

Modelagem para os braços espirais

$$\frac{F}{m} = -\nabla\Phi = -\frac{\partial\Phi}{\partial r} \hat{r} - \frac{1}{r} \frac{\partial\Phi}{\partial\phi} \hat{\phi}$$

Integrando o potencial gravitacional assimétrico

$$\int [v^2(r)a_w - v^2(r)\omega_w + v^2(r)\omega_w] dt = \Phi$$

O potencial assume a forma uma onda

$$\Phi(r, \phi, t) = De^{i[\Psi(r) - (\Omega t - \phi)]}$$

A posição dessa onda é:

$$\Psi(s) = \frac{k}{\tan \alpha} \ln\left(\frac{s}{s_0}\right)$$

Sumário

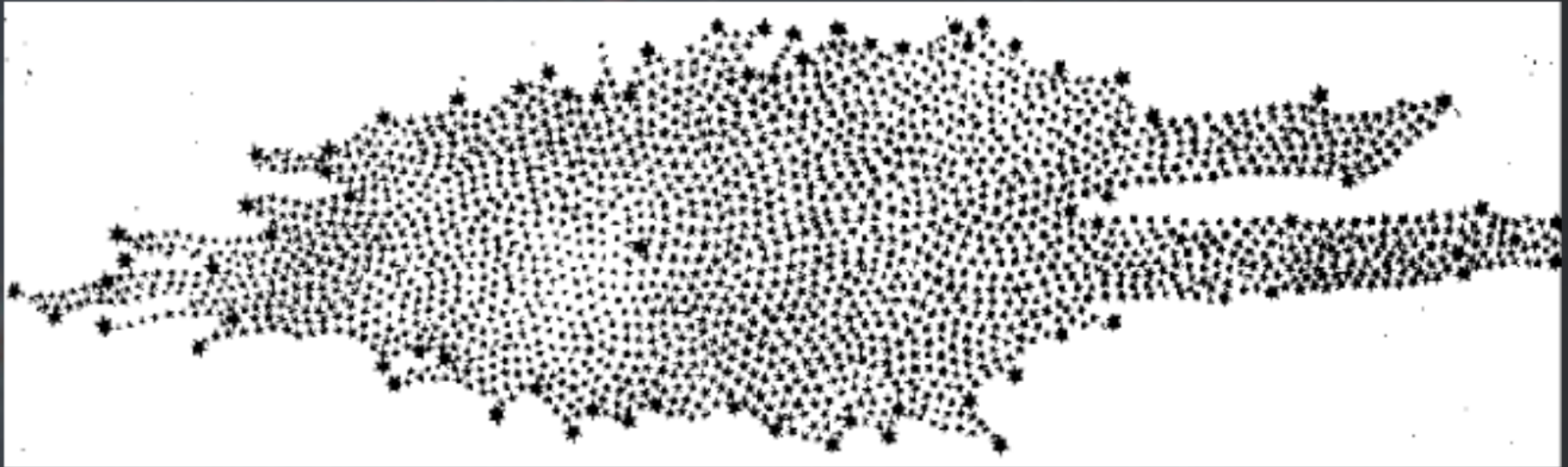
1. A estrutura da nossa Galáxia
2. Gravitação Universal
3. Distribuição de velocidades
4. Modelagem para os braços espirais
5. Modelagem para as órbitas estelares
6. Uma consequência interessante

Almagesto, Ptolomeu: Séc. II

O Firmamento das estrelas fixas



William Herschell, Séc. XVIII



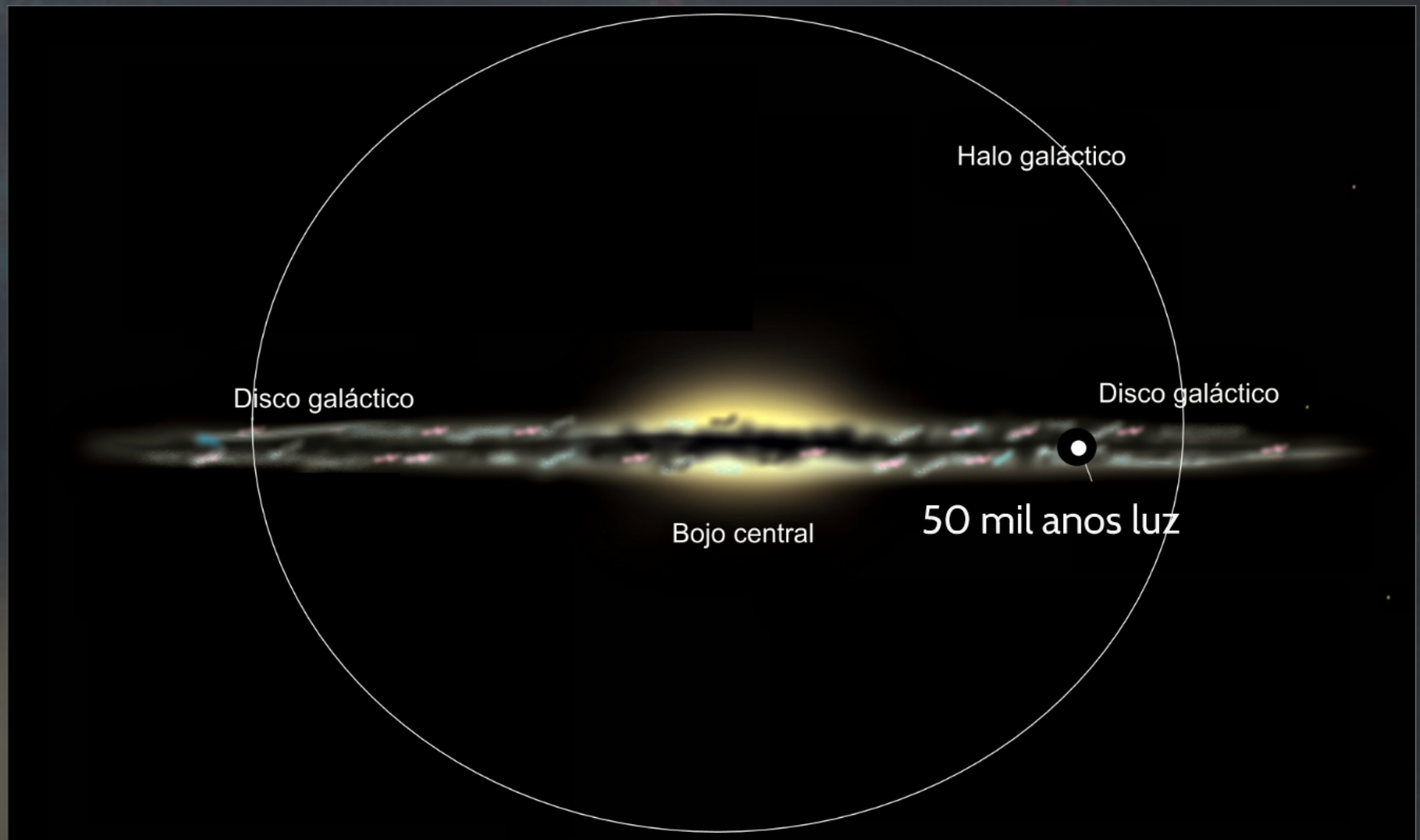
Mapeou as vizinhanças do Sistema Solar através de uma contagem sistemática de estrelas em 683 diferentes posições no céu



Ainda não havia a concepção de Galáxia



Séc. XX / XXI - Oort, et al



Galáxia de Sombrero (Messier 104, NGC 4594)

Distância: 28 milhões de anos-luz da Terra.



Créditos: **José Carlos Silva** - Observatório Astronômico da UNIFAL/MG

Imagem obtida em 20-Julho/2017



Galáxia do Cata-Vento do Sul (Messier 83, NGC 5236).

Distância: 15 milhões de anos-luz da Terra



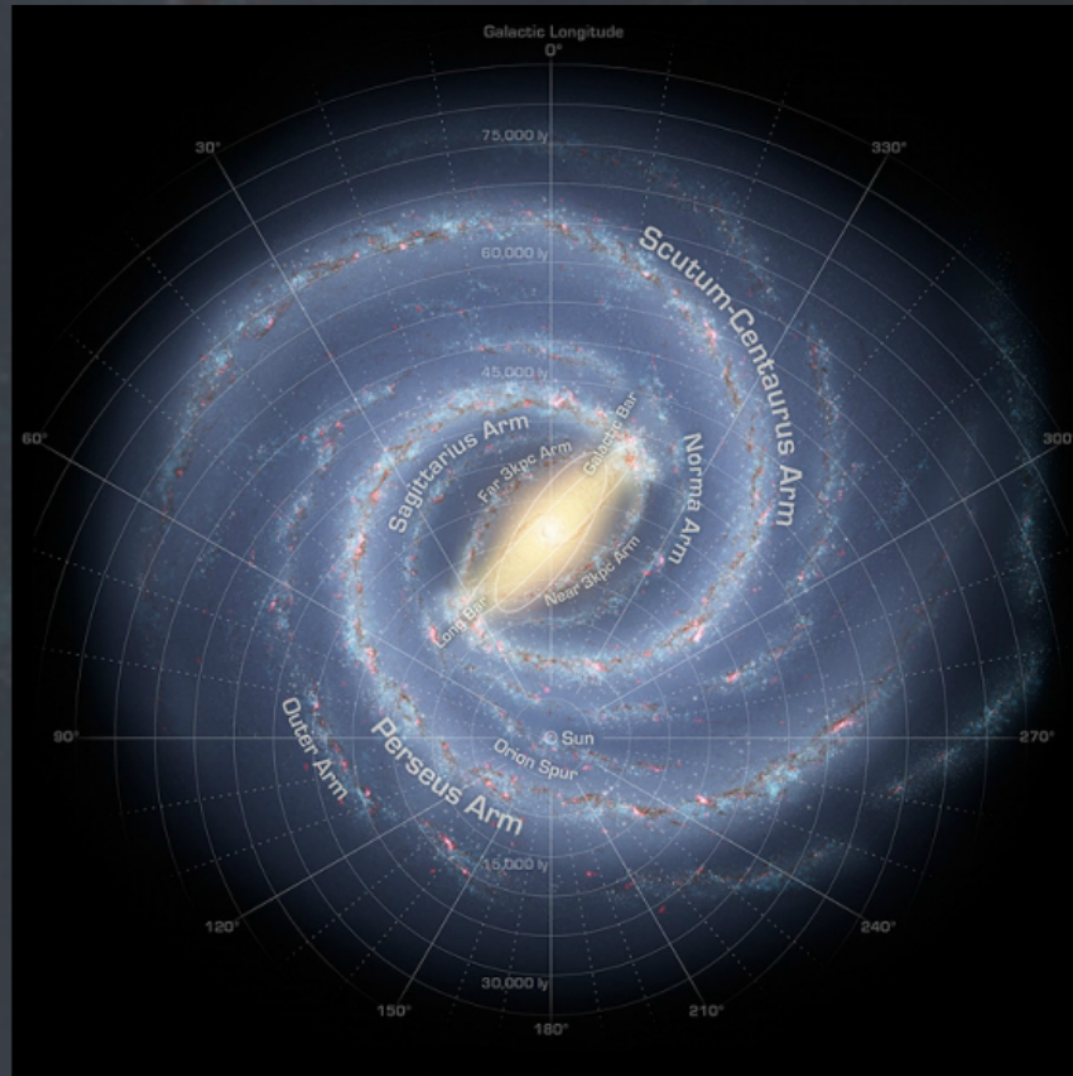
Créditos: José Carlos Silva - Observatório Astronômico da UNIFAL/MG

Imagem obtida em 06-Abril/2016.



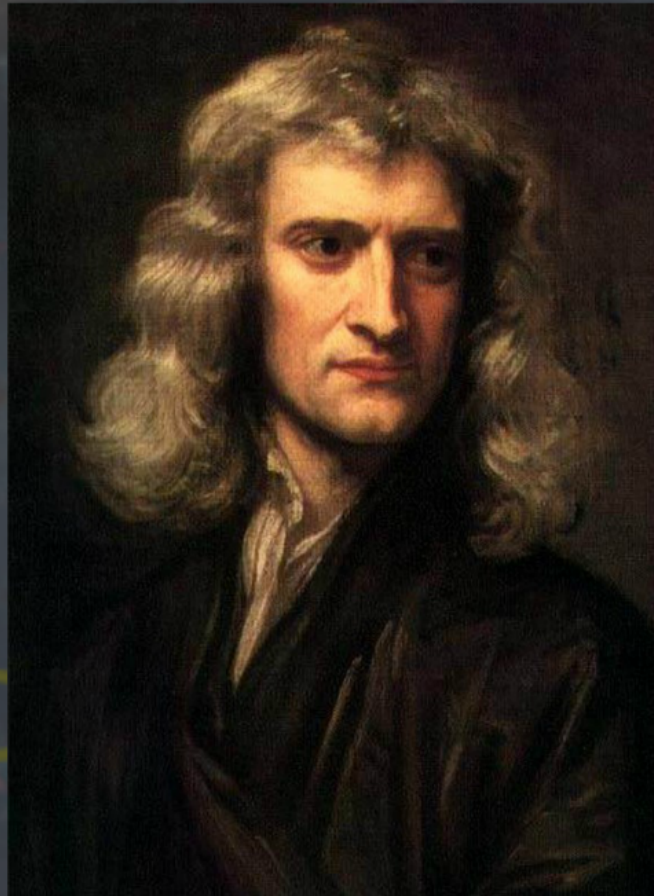
Prezi

Uma representação artística de nossa Galáxia



NASA/JPL - Caltech/R. Hurt (2008)

Gravitação Universal



$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$$

$$-\frac{GMm}{r^2} \hat{r} = -\frac{mv^2}{r} \hat{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}$$

Bojo

$$\rho_{Bojo}(r) = \frac{M_{Bojo}}{2\pi r} \frac{b_0}{(r + b_0^3)}$$

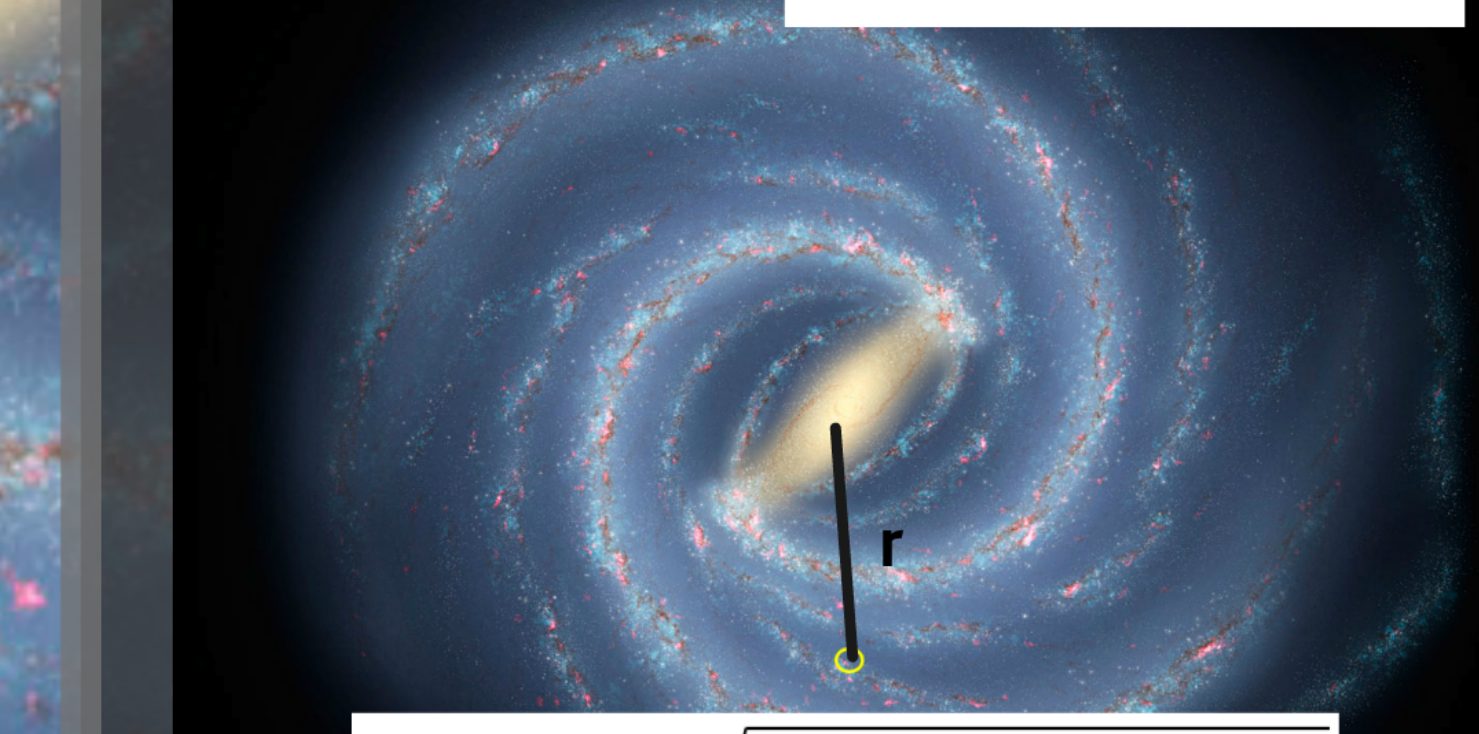
$$v(r)_{Bojo} = \frac{\sqrt{GM_{Bojo}r}}{(r + b_0)}$$

[Hernquist, 1990]



Disco

$$\sigma_{Disco}(r) = \frac{2\pi d_0^2 \sigma_0}{r^2}$$


$$v(r)_{Disco} = \sqrt{\frac{[G \cdot \gamma(\sigma_{Disco}(r))\pi r^2]}{r}}$$

[Binney & Tremaine, 2008]

Halo

$$\rho_{Halo}(r) = \rho_{cg} \cdot \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{h_0}\right)^2\right]}$$

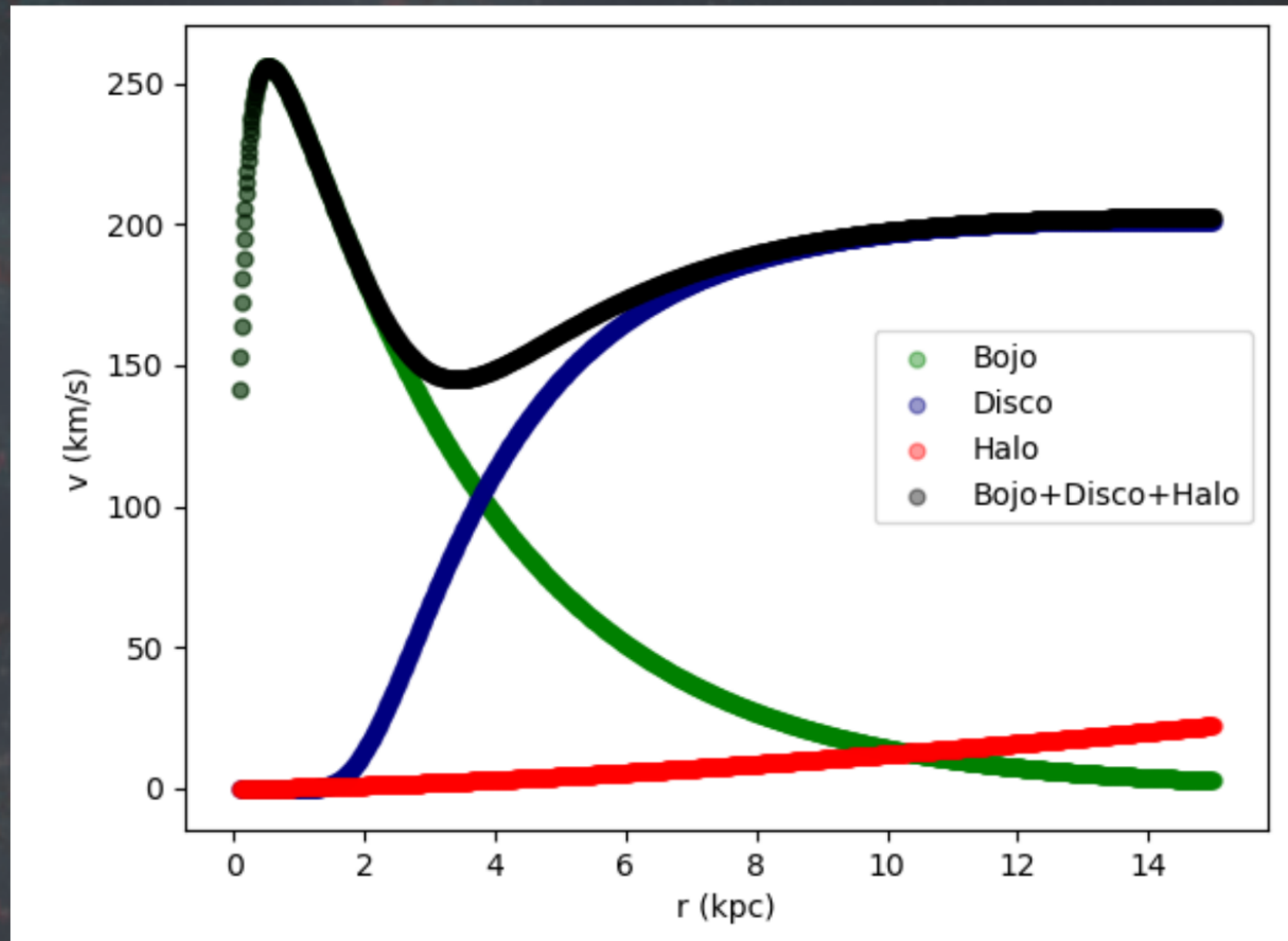
$$v(r)_{Halo} = \sqrt{4\pi G \rho_{cg} h_0^2} \left[1 - \frac{h_0}{r} \arctan\left(\frac{r}{h_0}\right)\right]$$

[Sofue et al, 2009]

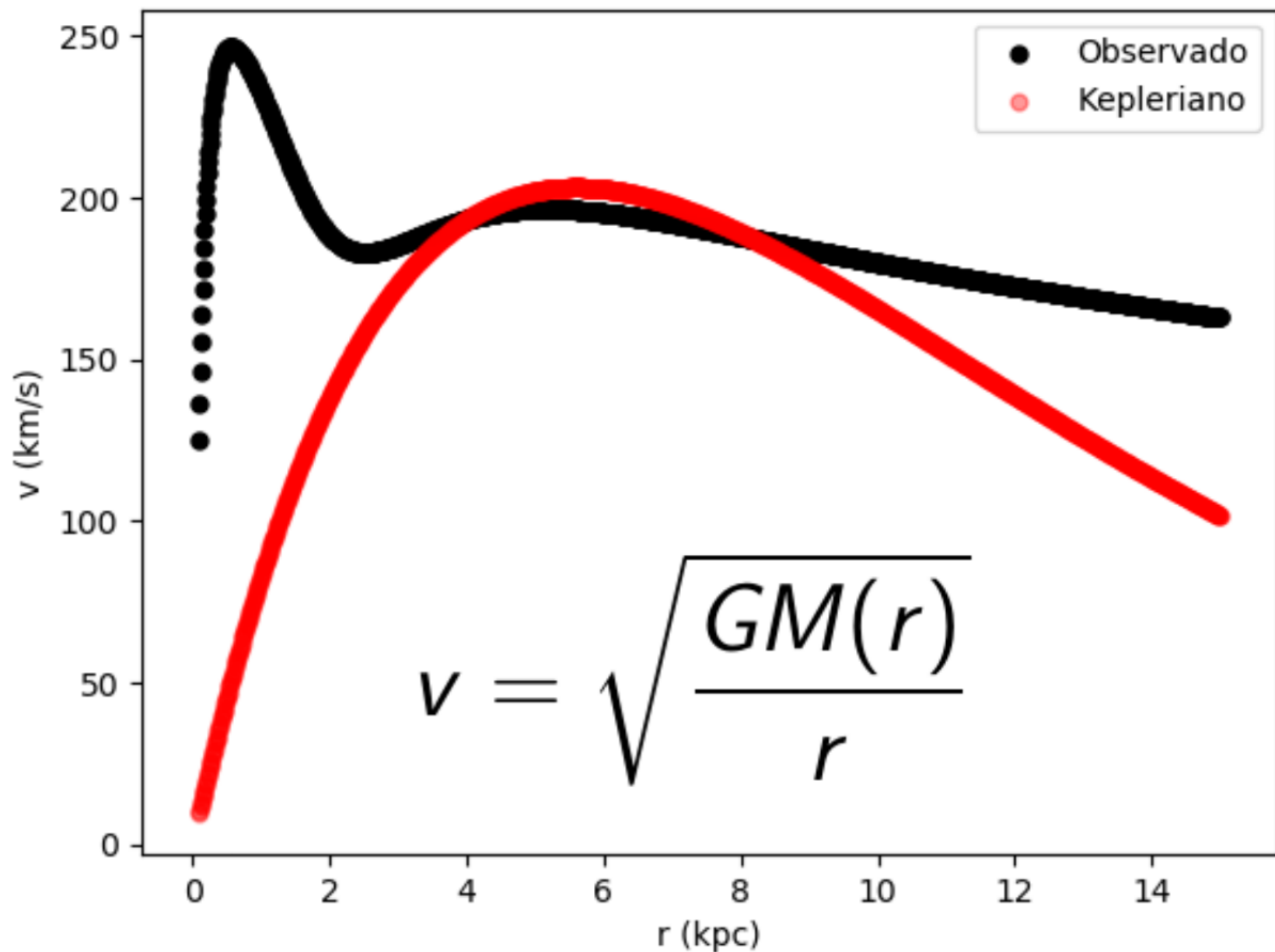
Dispersão de velocidades total

$$v = \sqrt{v^2(r)_{Bojo} + v^2(r)_{Disco} + v^2(r)_{Halo}}$$

Curva de rotação: Dados observacionais + Gravitação



Postulado: Está faltando massa...



Modelagem para os braços espirais

$$\frac{\vec{F}}{m} = -\vec{\nabla}\Phi \quad \int \frac{v^2}{r} dr = \int \frac{d\Phi}{dr} dr$$

Integrando o potencial gravitacional axissimétrico

$$\int \frac{[v^2(r)_{Bojo} + v^2(r)_{Disco} + v^2(r)_{Halo}]}{r} dr = \Phi$$

O potencial assume a forma uma uma onda

$$\Phi(r, \phi, t) = D e^{i[\Psi(r) - (\Omega t + \phi)]}$$

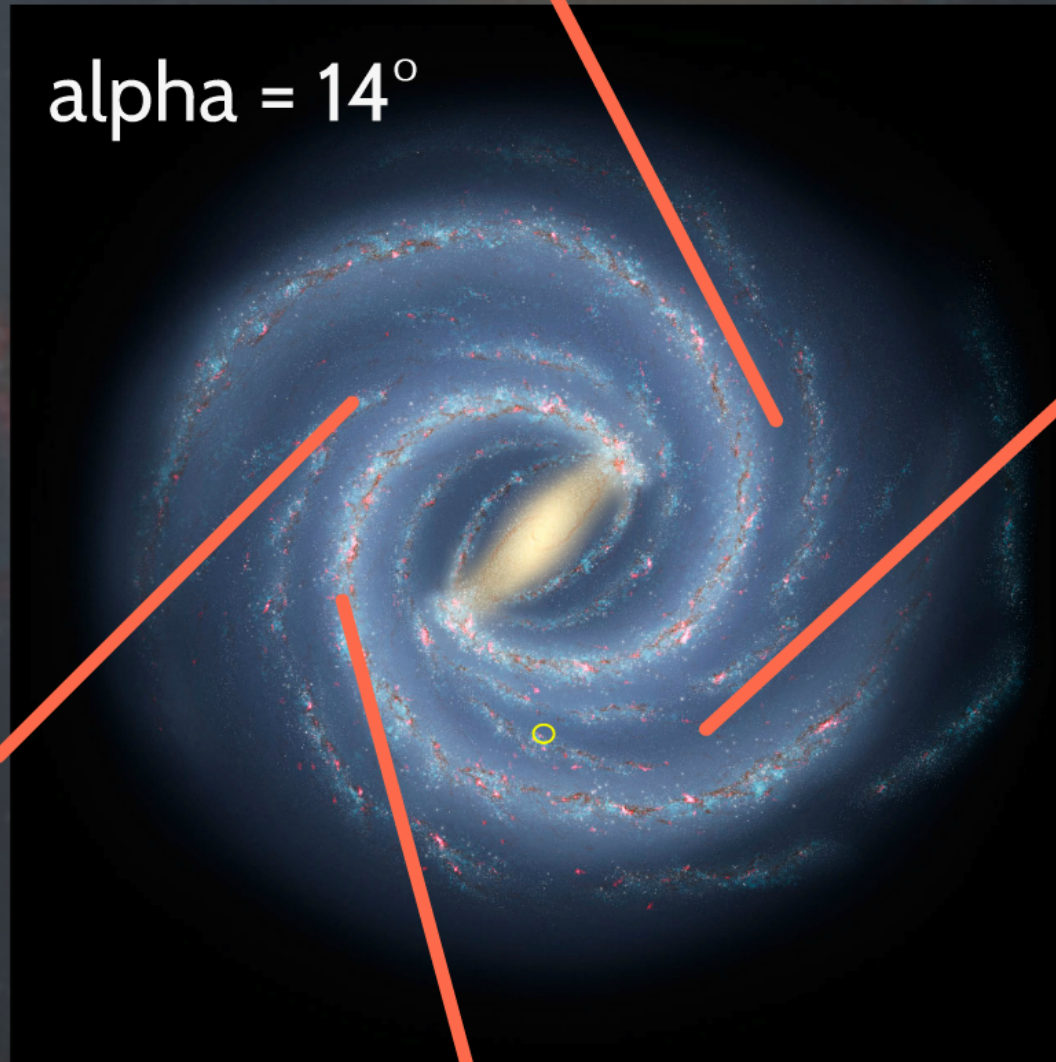
A posição dessa onda é:

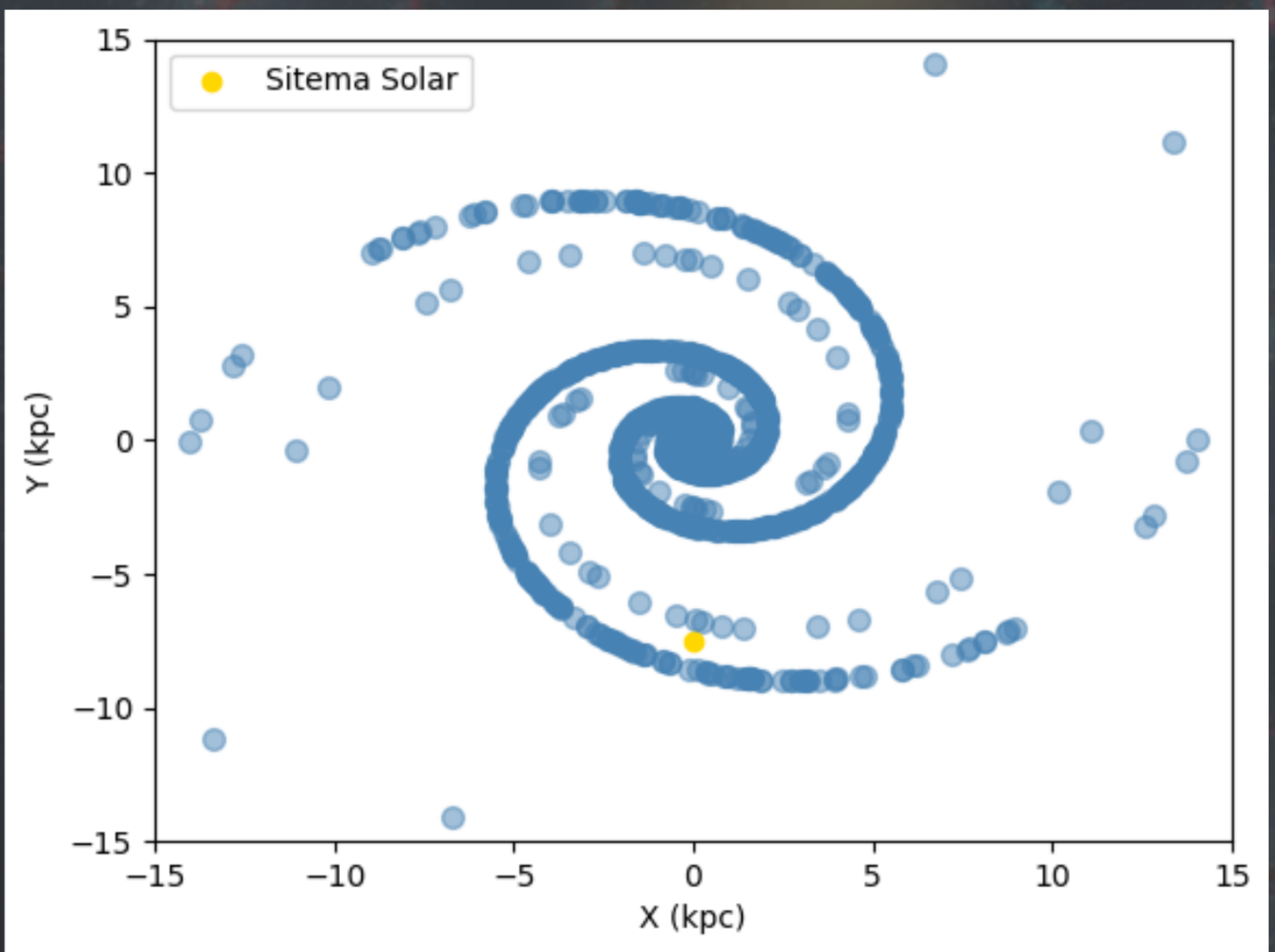
Binney e Tremaine, 2008

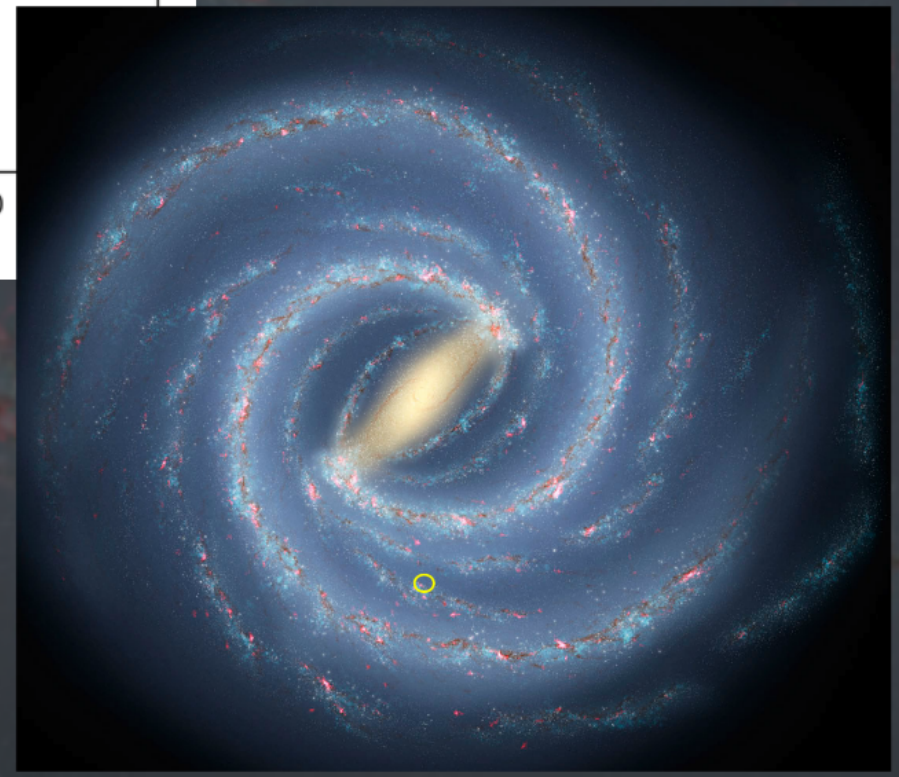
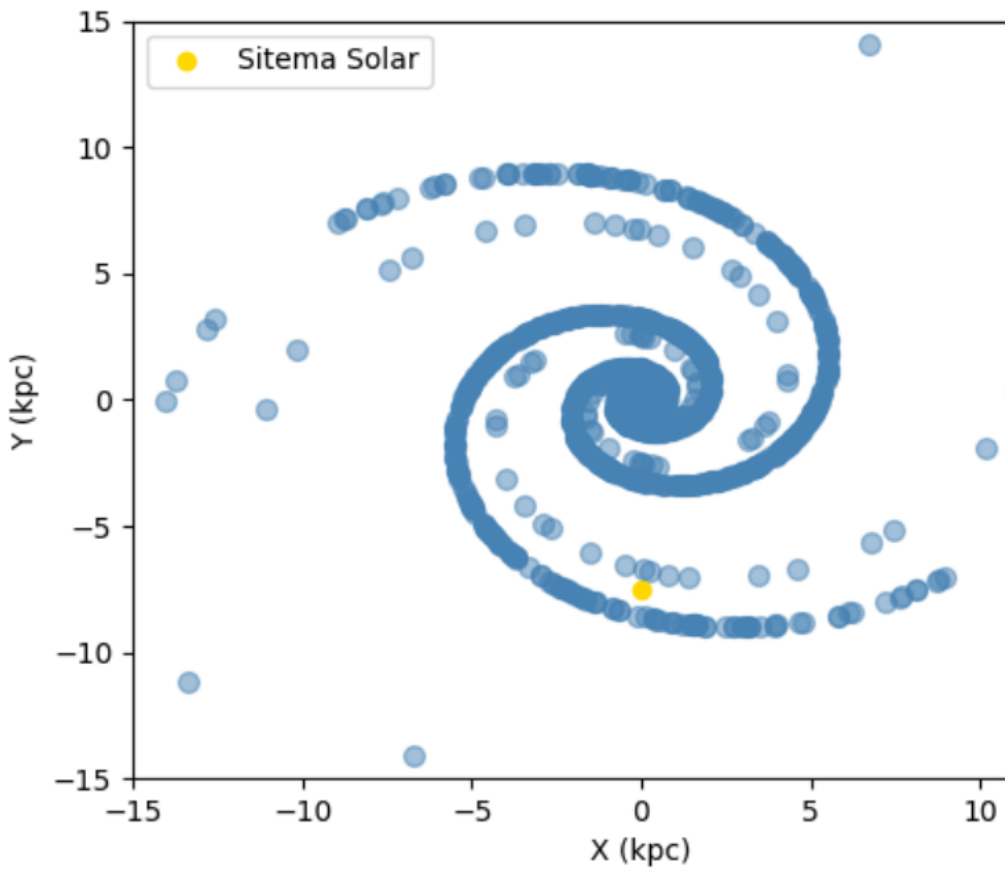
$$\Psi(s) = \frac{k}{\tan \alpha} \ln \left(\frac{s}{d_0} \right)$$

Pitch Angle: Ângulo de Arremesso dos braços espirais

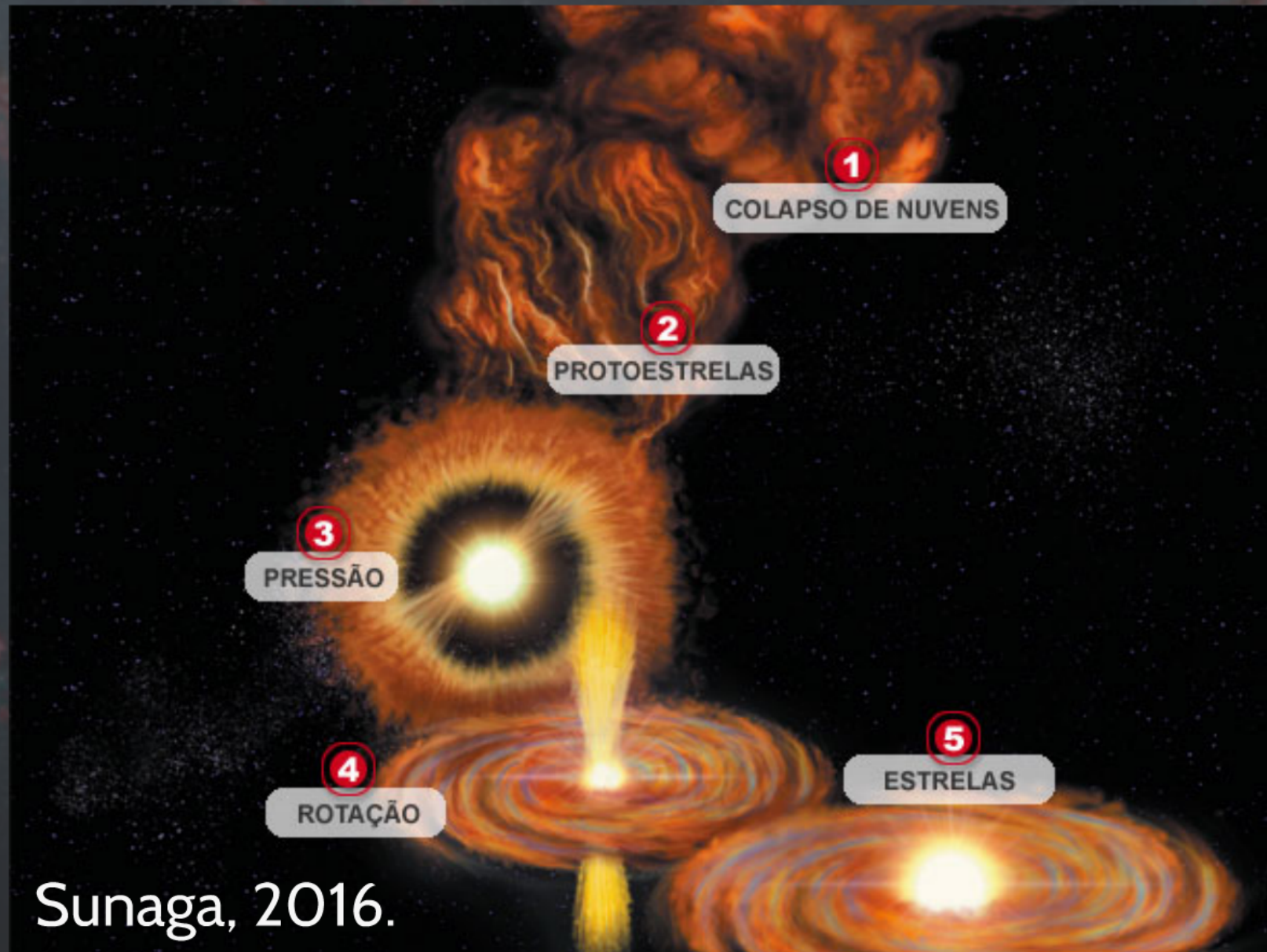
$\alpha = 14^\circ$







A região dos braços espirais é um berçário de estrelas!



Lei de Gauss para a Gravitação

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{g} = -4\pi G \rho$$

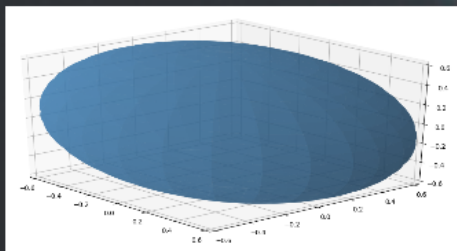


Aceleração Radial

$$a_s = -4\pi \frac{\sqrt{1-\epsilon^2}}{\epsilon^3} \rho_{cg} \cdot s_0 \int_0^{\arcsen(\epsilon')} \sin^2(\beta) \cdot e^{\left(-\frac{\frac{1}{\epsilon} \sqrt{s^2 \sin^2 \beta + z^2 \tan^2 \beta}}{a_0}\right)} d\beta$$

Aceleração Zenital

$$a_z = -4\pi \frac{\sqrt{1-\epsilon^2}}{\epsilon^3} \rho_{cg} \cdot z_0 \int_0^{\arcsen(\epsilon')} \tan^2(\beta) \cdot e^{\left(-\frac{\frac{1}{\epsilon} \sqrt{s^2 \sin^2 \beta + z^2 \tan^2 \beta}}{a_0}\right)} d\beta$$



Ângulo Polar

$$\beta = \arcsen \frac{s\epsilon}{\sqrt{s^2 + \lambda}}$$



Enfim, o resto é cinemática!

Posições Radiais

$$s = s_0 + v_s t + \frac{1}{2} a_s t^2$$

Posições Azimutais

$$\psi = \psi_0 + \frac{l}{s^2} t$$

Conservação
de momento angular

$$l = s_0^2 v$$

Posições Zenitais

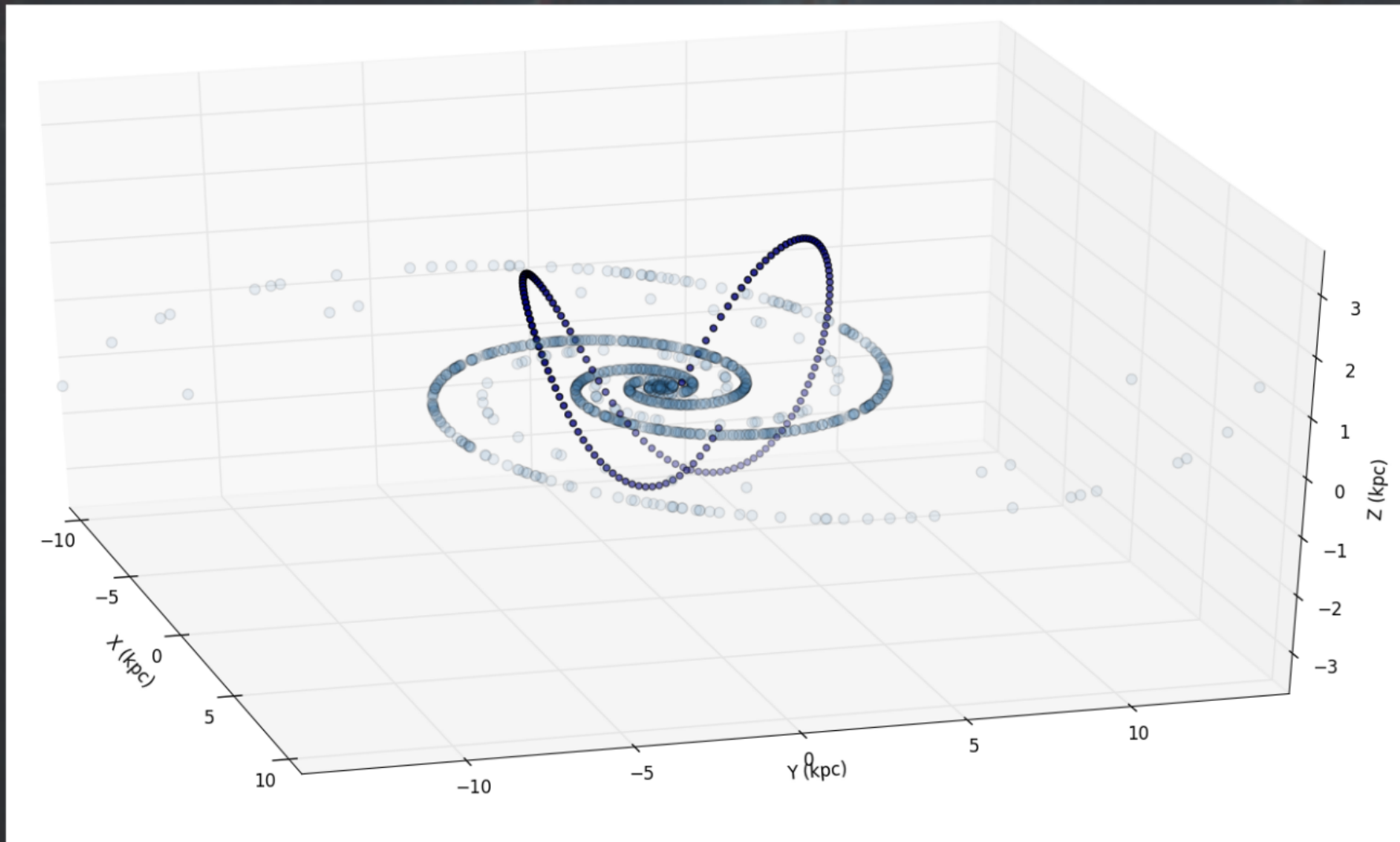
HELLINGS, P.

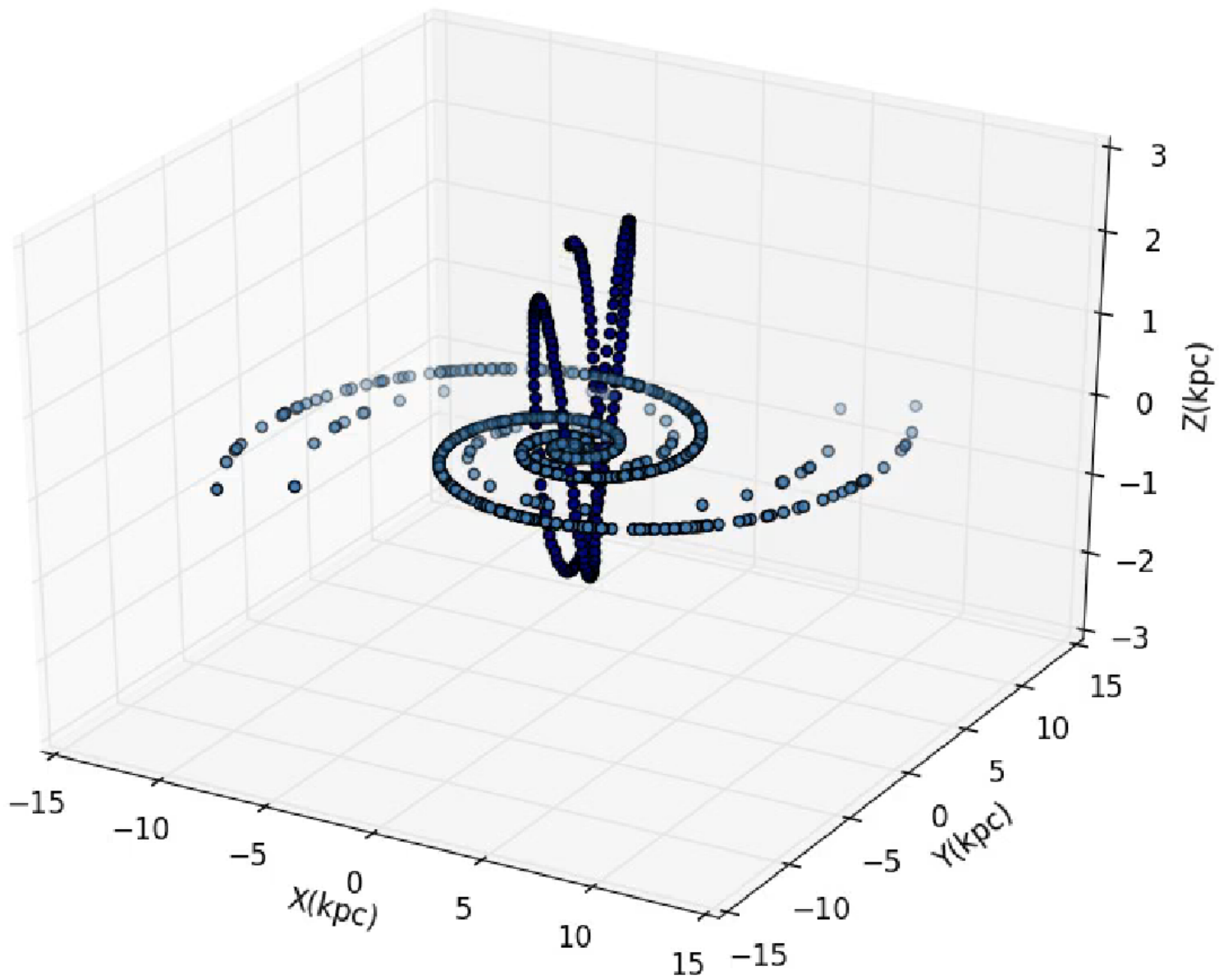
$$z = z_0 + v_z t + \frac{1}{2} a_z t^2$$

A órbita de uma estrela que está no Bojo

$s = 1 \text{ kpc}$

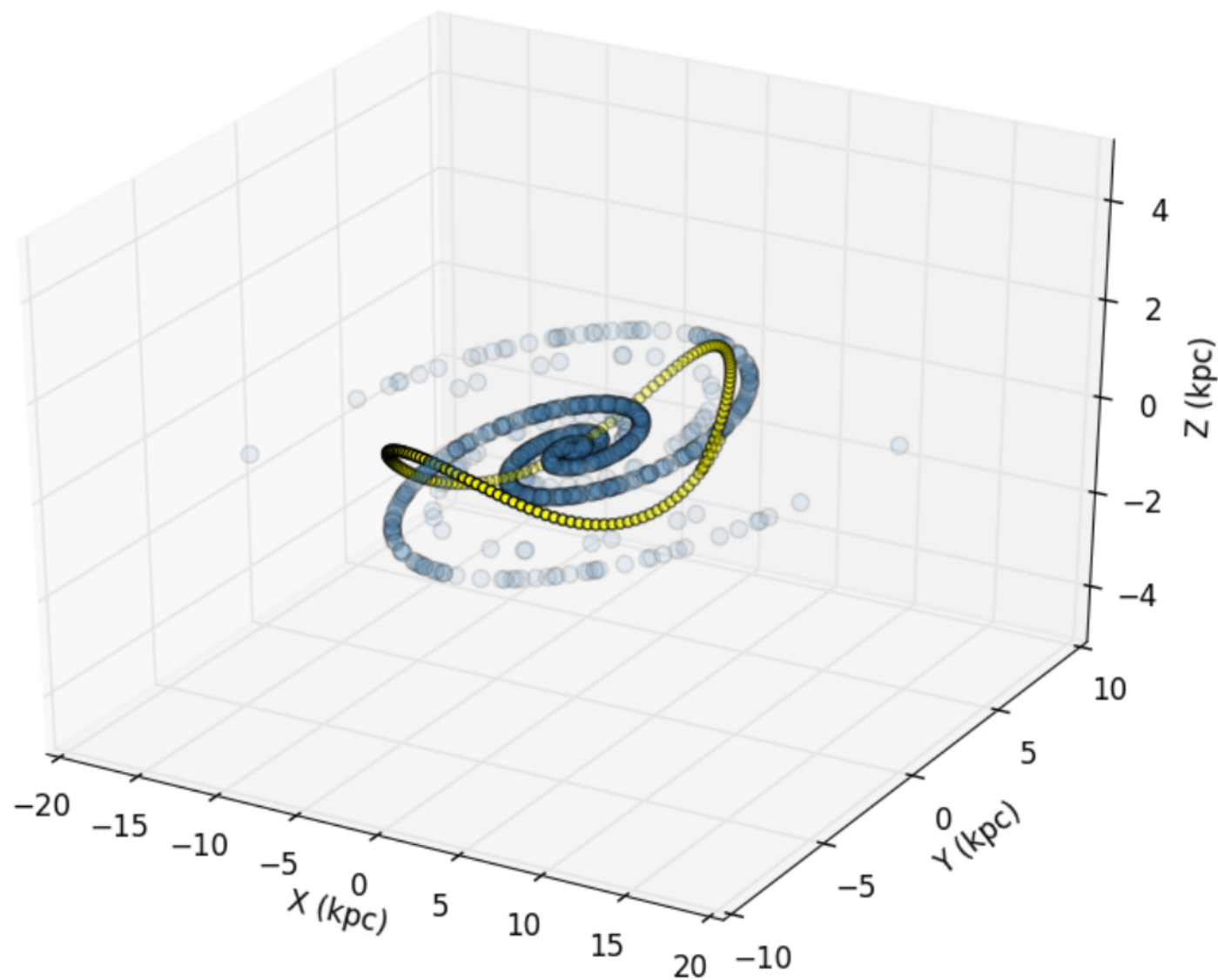
Período orbital: 100 milhões de anos

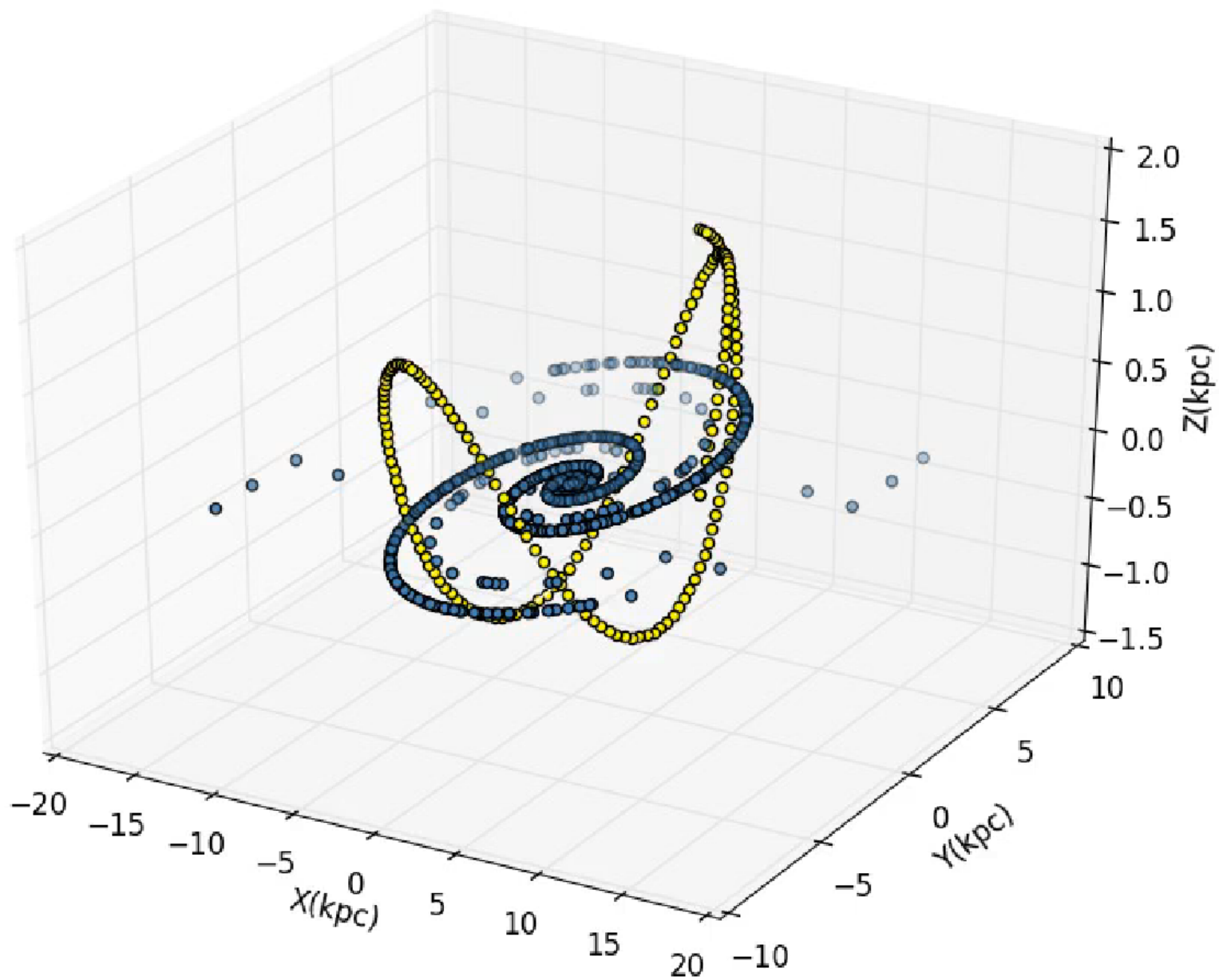




A órbita do Sol

Período orbital: 220 Milhões de anos

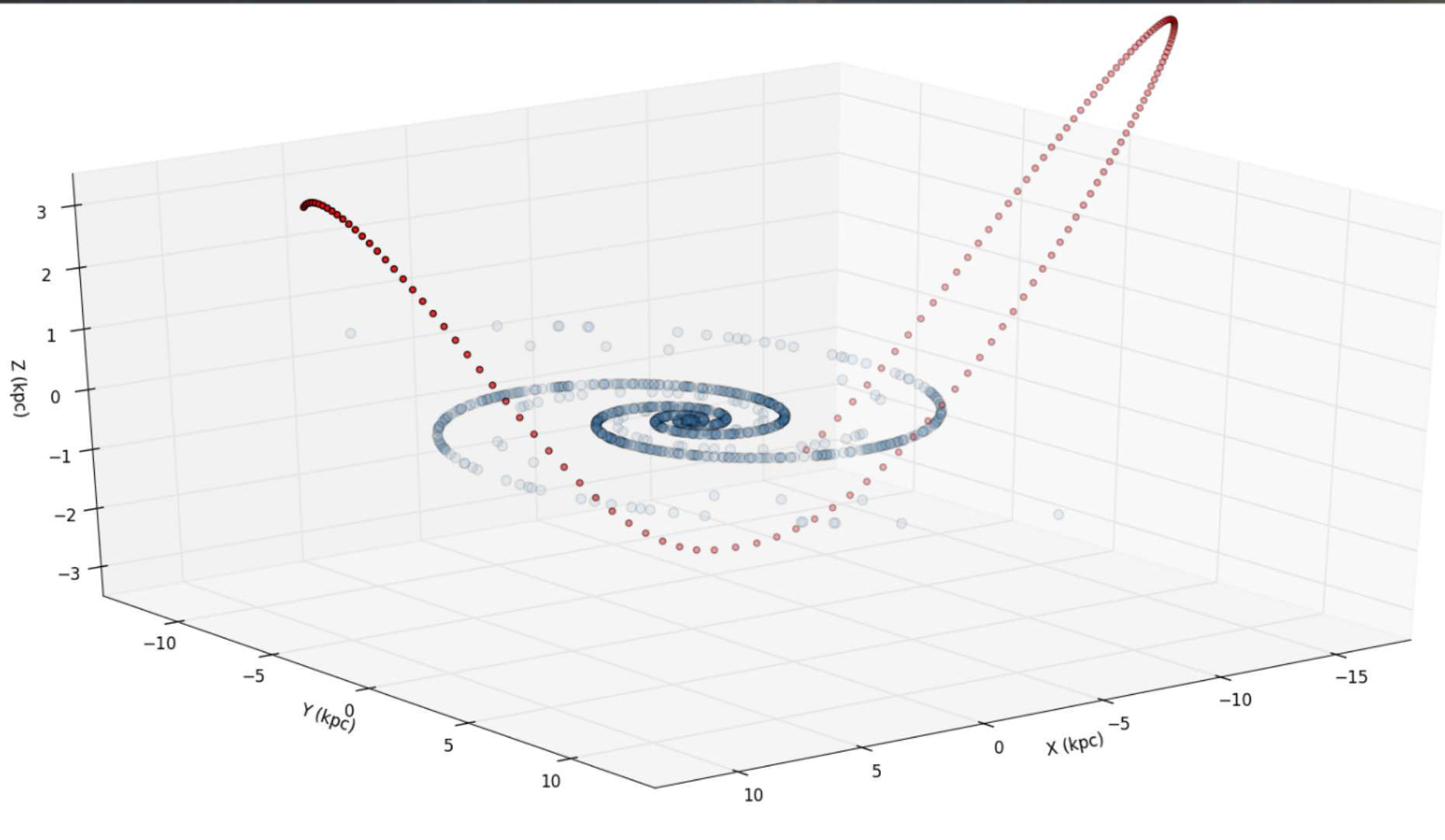


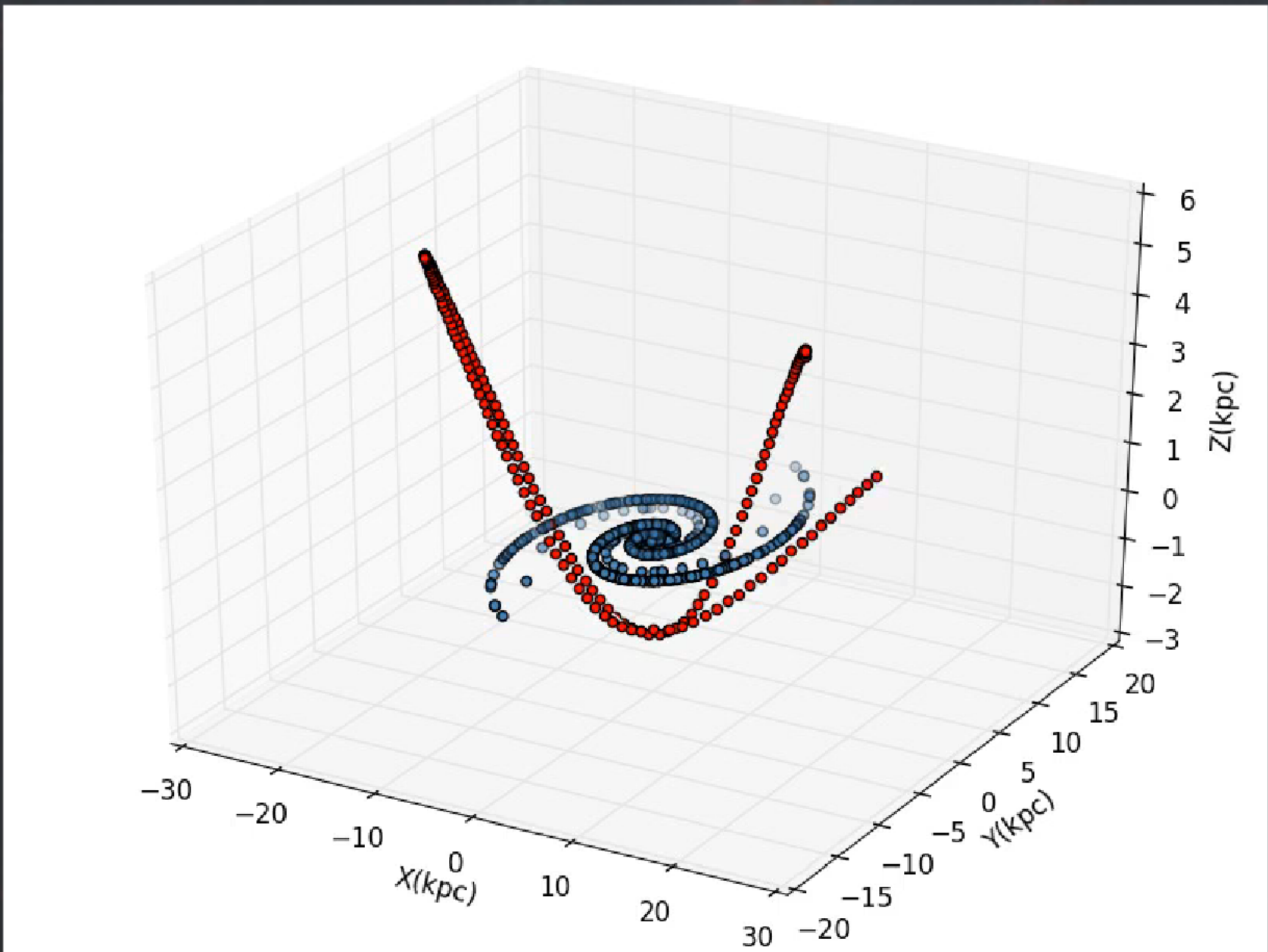


A órbita de uma estrela que está no Halo

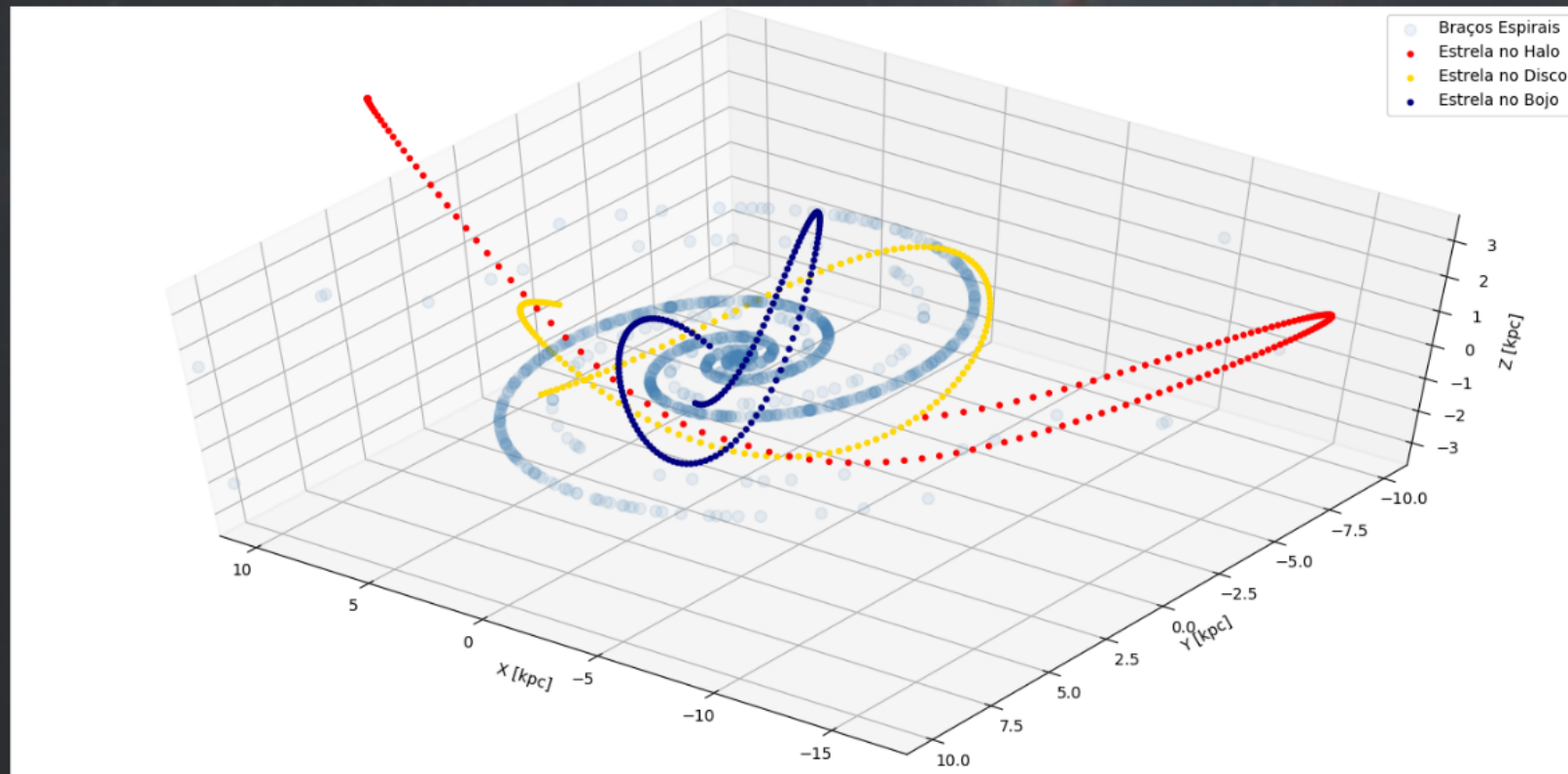
$s = 15$ kpc

Período orbital: 500 milhões de anos



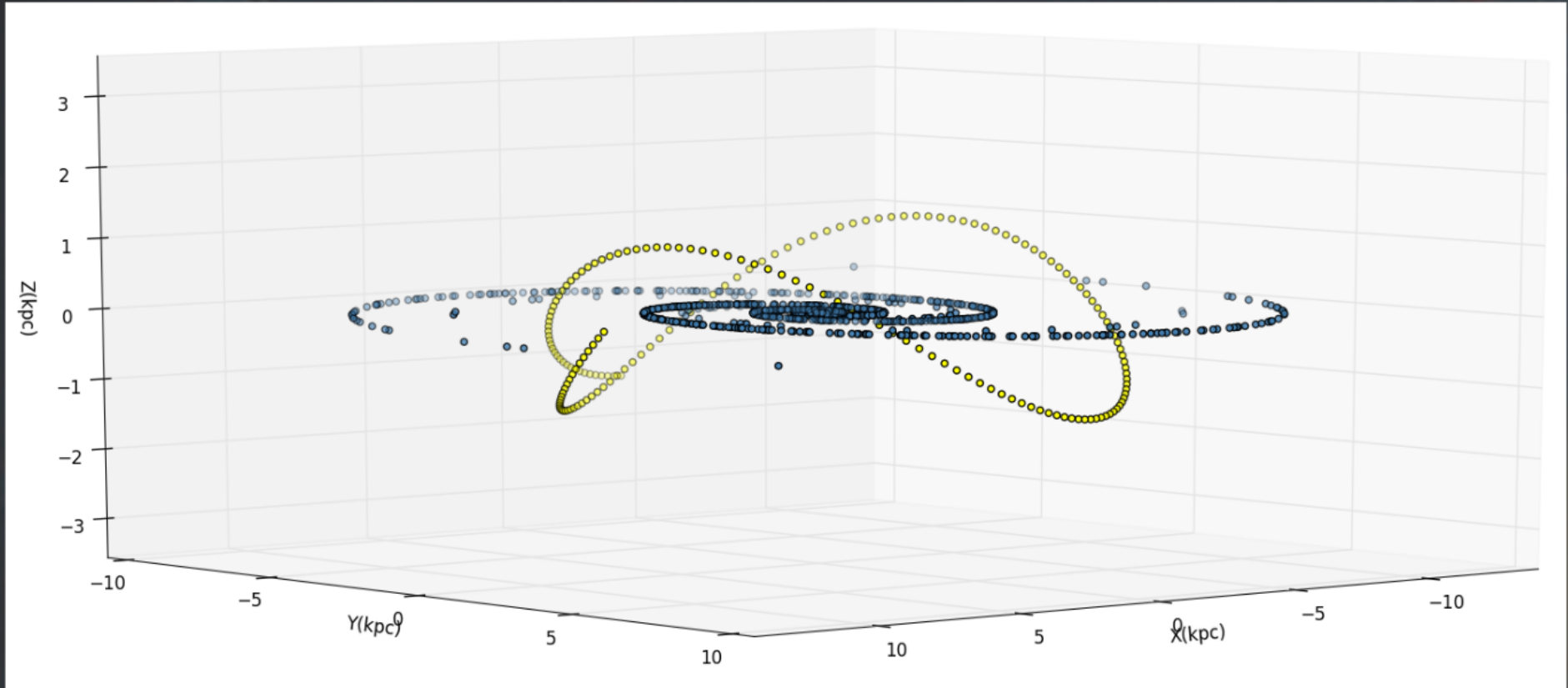


Sobreposição das órbitas nas três regiões



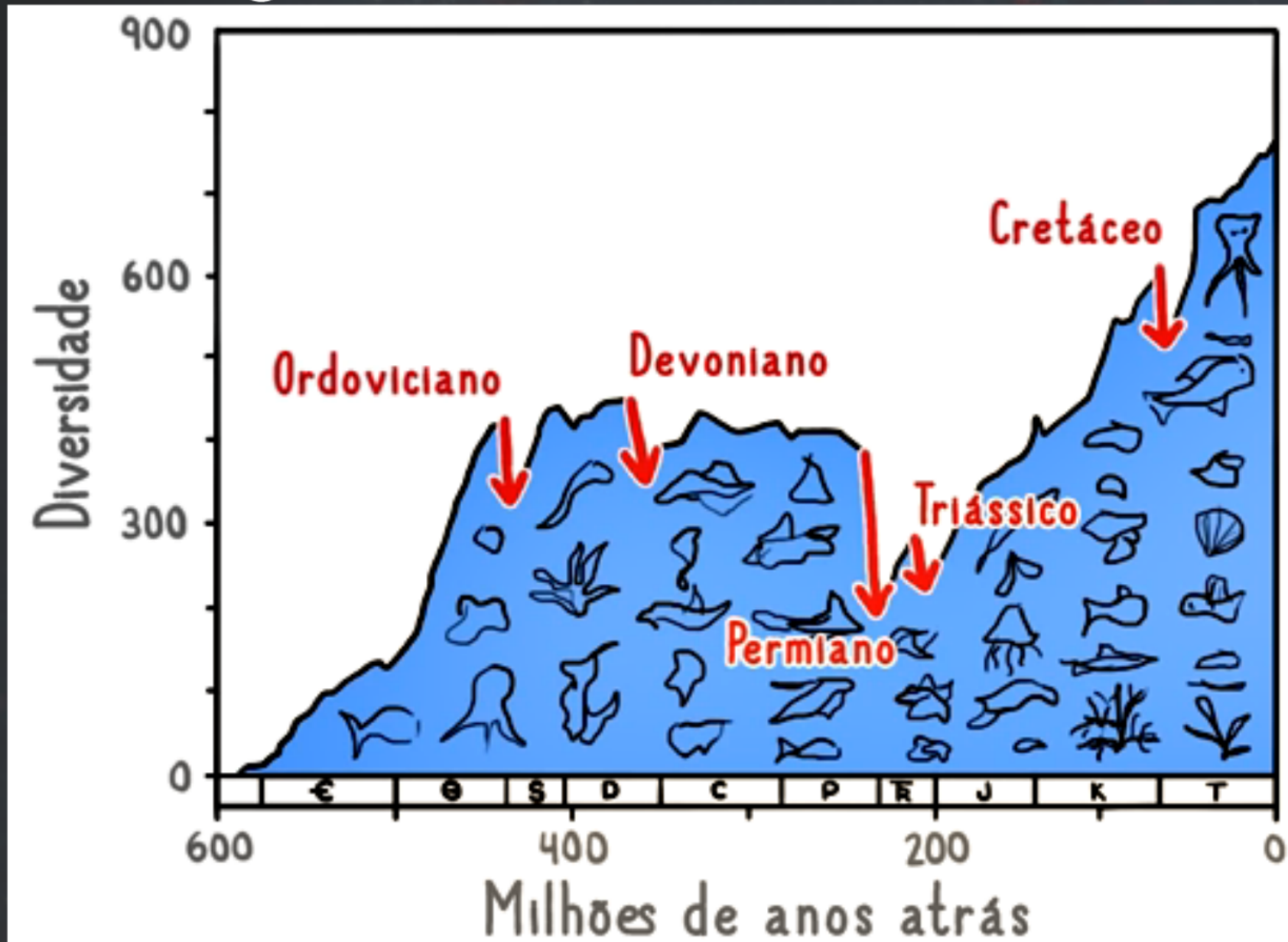
Agora, vamos voltar no tempo...

220 milhões de anos atrás



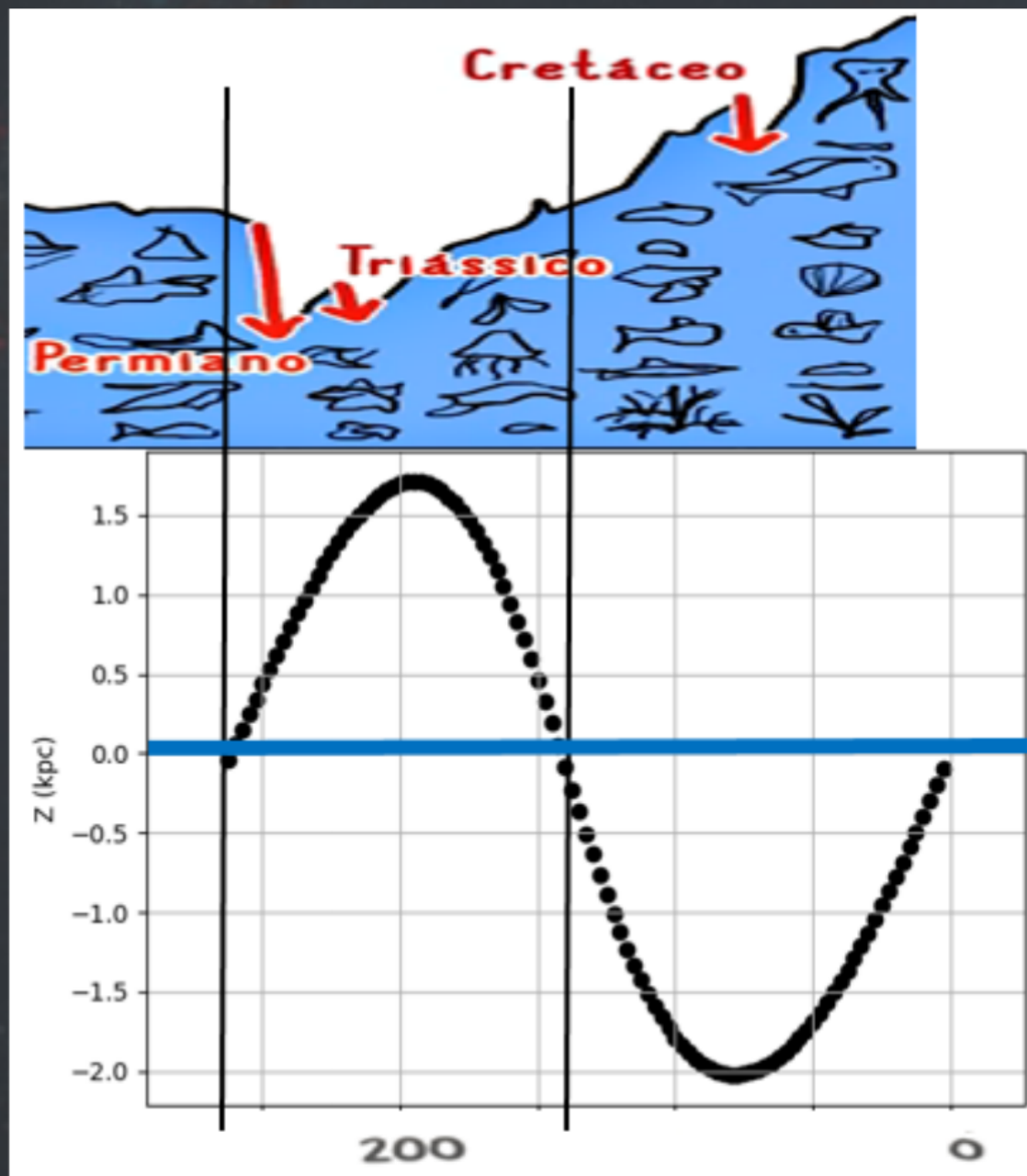
Quantas vezes o Sol cruza o disco da Galáxia?

... As cinco grandes extinções em massa



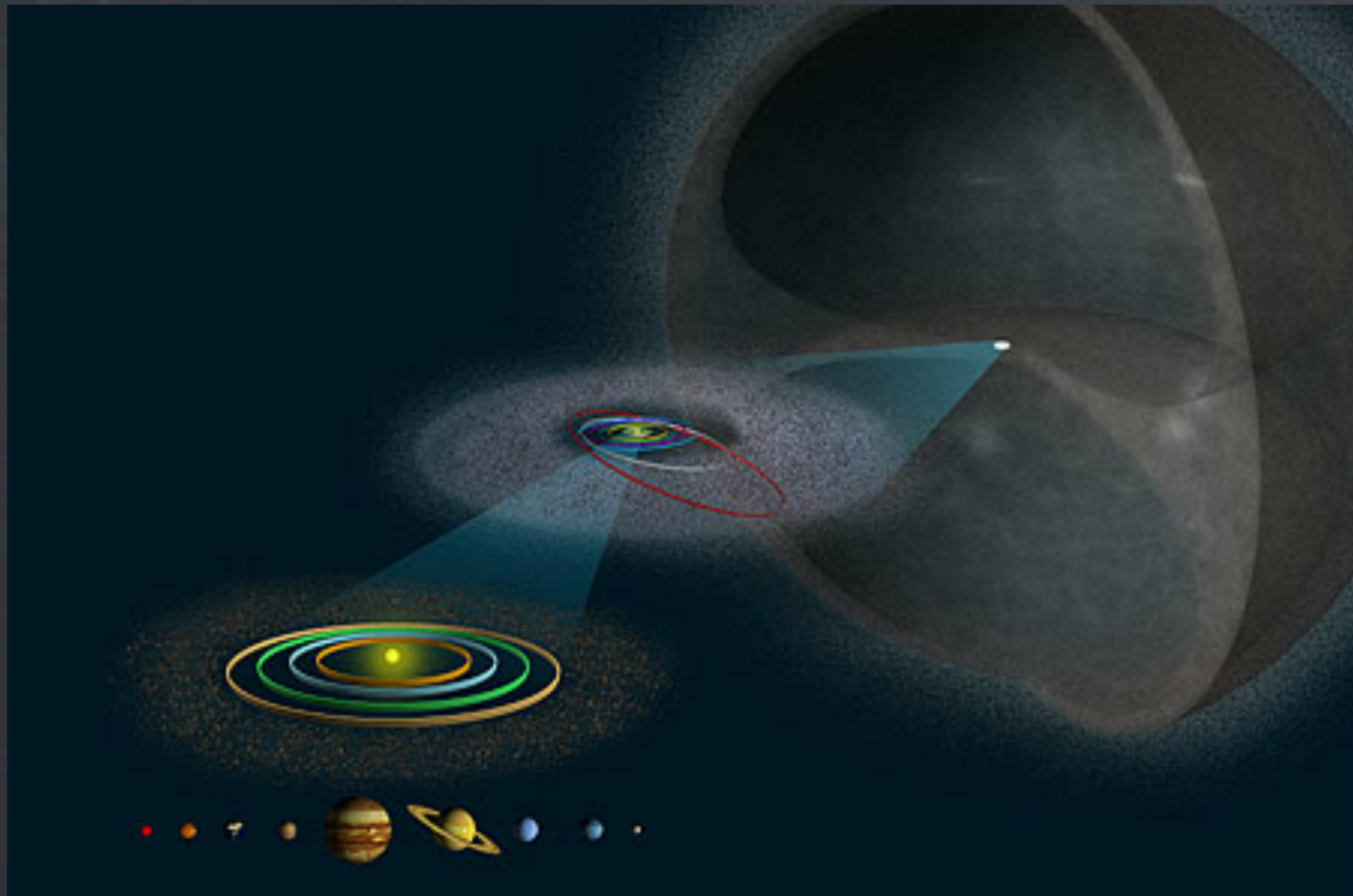
David P.G. Bonda, Stephen E. Grasby: Department of Geoscience, University of Calgary, Canada.

Mera coincidência?



(Milhões de anos atrás)

A nuvem de Oort: Distante 100 mil vezes a distância Terra-Sol



Região composta por uma infinidade de cometas

Obrigado pela atenção!



Lattes

Contato: rafaelpassosdomingues@gmail.com