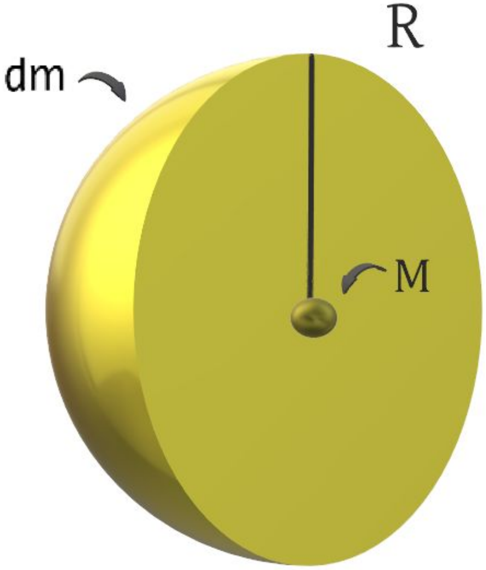
Distâncias Galácticas

Determinação da distância à Pequena Nuvem de Magalhães através de Estrelas Variáveis - Kevin Mota da Costa

Introdução

Protótipo de Estrela Variável



$$m\ddot{r} = 4\pi P r^2 - \frac{GMm}{r^2}$$

Solução Via Teoria Linear

Defina-se o deslocamento relativo da superfície de uma esfera de raio:

$$\zeta = \frac{\delta r}{r_0}$$

Para uma estrela de raio r, densidade ρ e massa m temos:

$$\frac{\partial r}{\partial m} = \frac{1}{4\pi \rho r^2}$$

Solução Via Teoria Linear

Simplificadamente, tomamos a variação lagrangeana à equação anterior fazendo a permutação com o operador δ com o operador de derivada parcial

$$\frac{\delta\rho}{\rho_0} = -3\zeta - r_0\frac{\partial\zeta}{\partial r_0}$$

No formalismo euleriano, a conservação da massa pode ser expressa da forma

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\mathbf{v}) = 0$$

Solução Via Teoria Linear

Usando a equação anterior com a representação de $\nabla \cdot \mathbf{v}$ em simetria esférica, transformando a variável r em a - e mudando a ordem das derivadas $\frac{\partial}{\partial a}$ e $\frac{\partial}{\partial t}$ (considerando a e t como independentes) - e integrando com respeito a t (escolhendo uma constante de integração tal que $\rho(r = a) = \rho_0$) se obtém

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{a^2}{r^2} \frac{\partial a}{\partial r}$$

Solução Via Teoria Linear

A formulação euleriana do principio da conservação do momento linear para um fluido pode ser representada da forma

$$\frac{\partial(\rho\mathbf{v})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\mathbf{v}\mathbf{v} + \mathbf{P}) = \rho\mathbf{f}$$

Solução Via Teoria Linear

No formalismo lagrangeano, as variáveis independentes são os parametros a_i e o tempo t onde $\mathbf{P} = \mathbf{P}(a_1, a_2, ..., a_n, t)$ então

$$\nabla \mathbf{P} = \sum_i \hat{e}_i \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial x_i} = \sum_{i,j} \hat{e}_i \frac{\partial a_j}{\partial x_i} \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial a_j} = \sum_j \nabla a_j \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial a_j}$$

Solução Via Teoria Linear

Consequentemente, a relação entre a densidade e o raio da estrela toma a forma

$$\ddot{r} = \mathbf{f} - \frac{1}{\rho} \sum_j \nabla a_j \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial a_j}$$

Solução Via Teoria Linear

Se faz o tratamento análogo para a Equação da conservação da energia

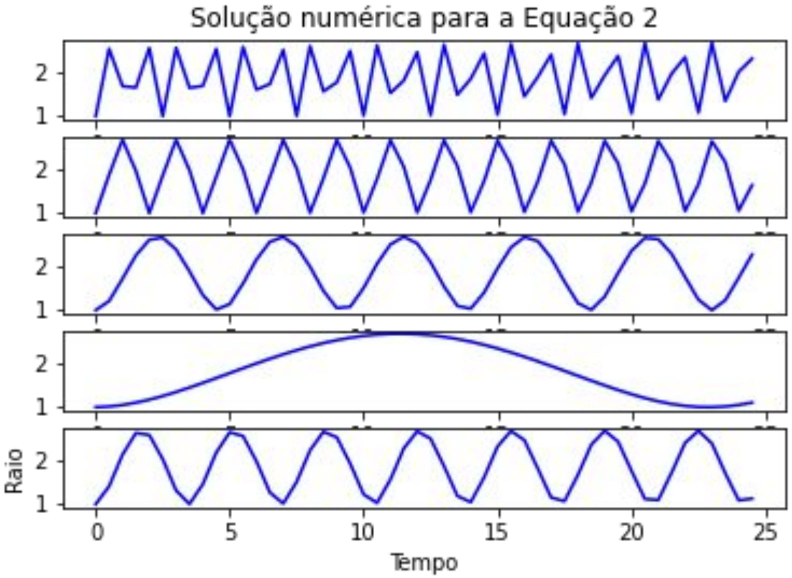
$$\frac{dq}{dt} = \frac{dE}{dt} + P\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{\rho}\right)$$

Solução Via Teoria Linear

Relacionando essas equações, supondo equilibrio hidroestático e um movimento homólogo (caracterizado por manter ζ constante)

$$\frac{d^2\zeta}{dt^2} = -\zeta\left(3\Gamma_{1,0} - 4\right)\frac{Gm}{{r_0}^3} \longrightarrow \tau = \sqrt{\frac{\pi\bar{\rho}}{G\left(\Gamma_{1,0} - 4/3\right)}}$$

Solução numérica

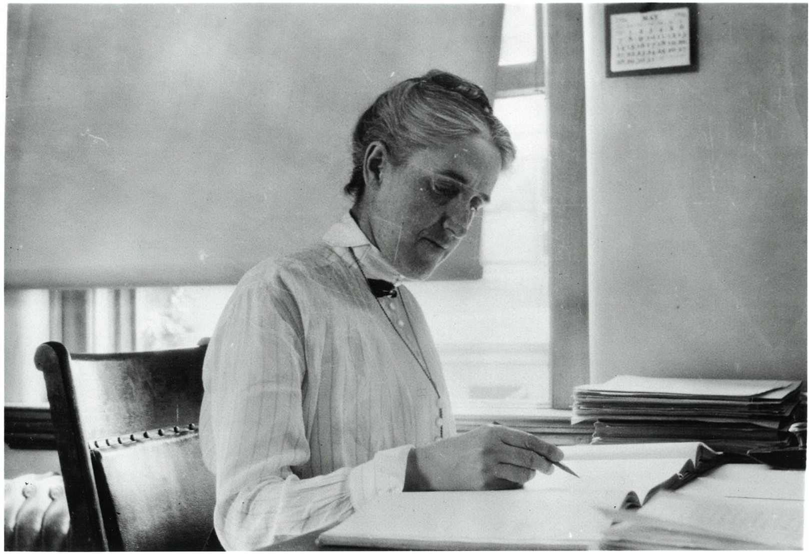


$$\ddot{r} = ar^2 - \frac{b}{r^2}$$

$$\begin{cases} r(0) = 1 \\ \dot{r}(0) = 1 \end{cases}$$

- 1º Conjunto de (a,b): $(-0.5, -5 \cdot 10^4)$, $(-0.6, -6 \cdot 10^4)$, $(-0.7, -7 \cdot 10^4)$, $(-0.8, -8 \cdot 10^4)$ e $(-0.9, -9 \cdot 10^4)$

Lei de Leavitt (1912)



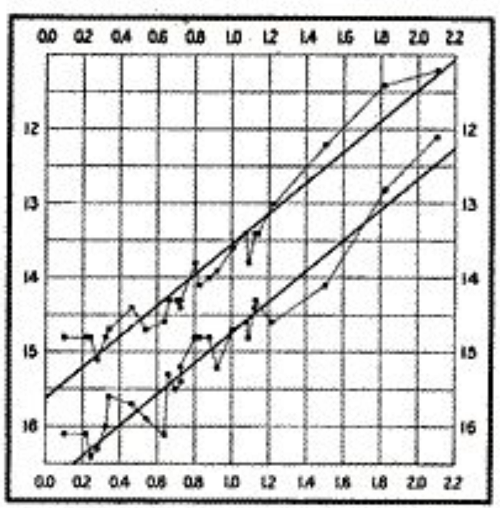
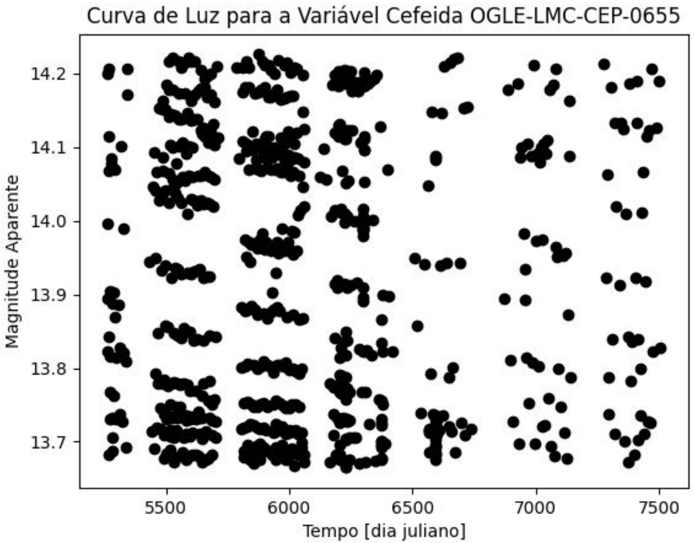
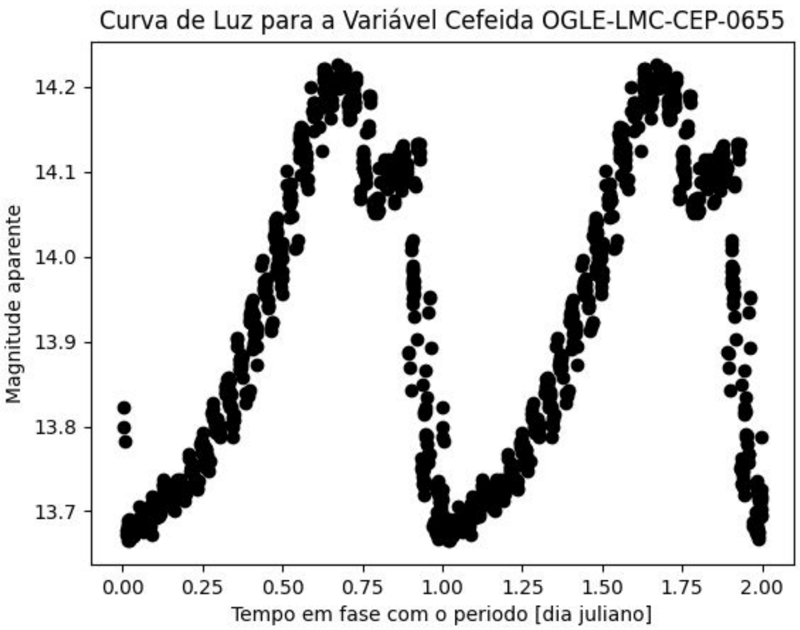


Fig. 2.

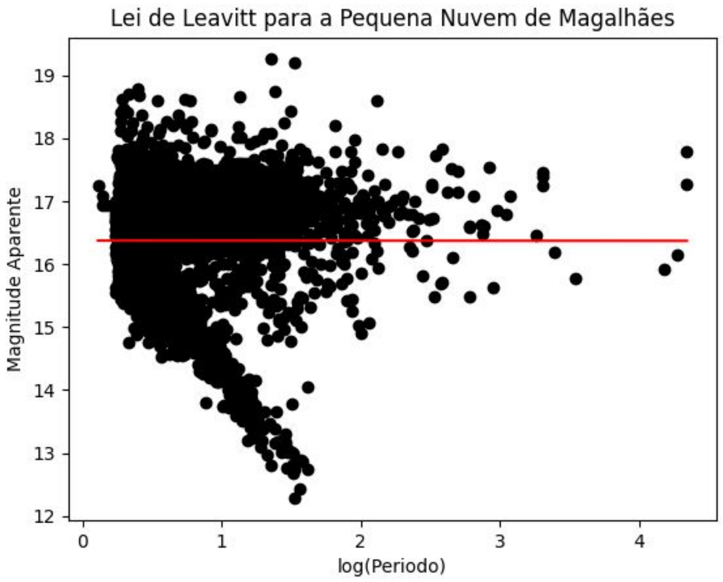
O projeto OGLE

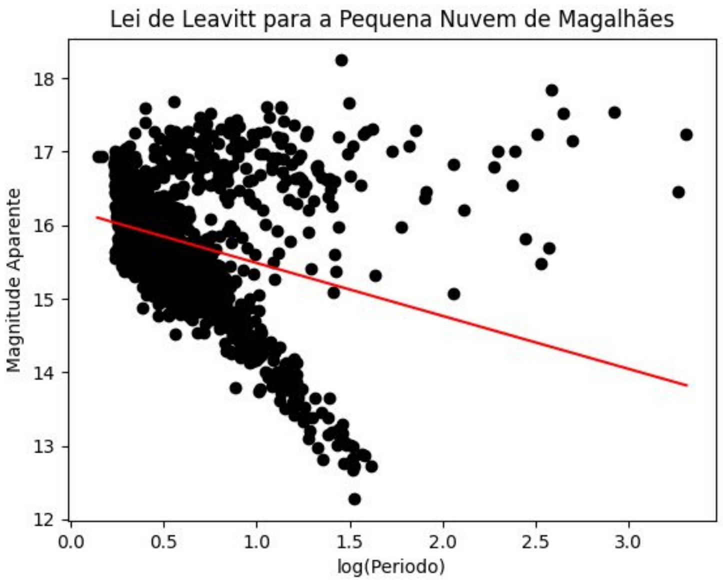


Análise dos Períodos

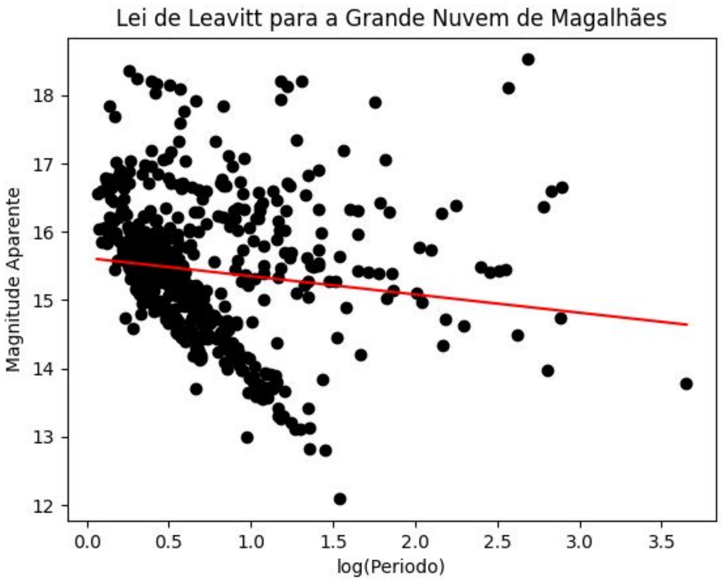


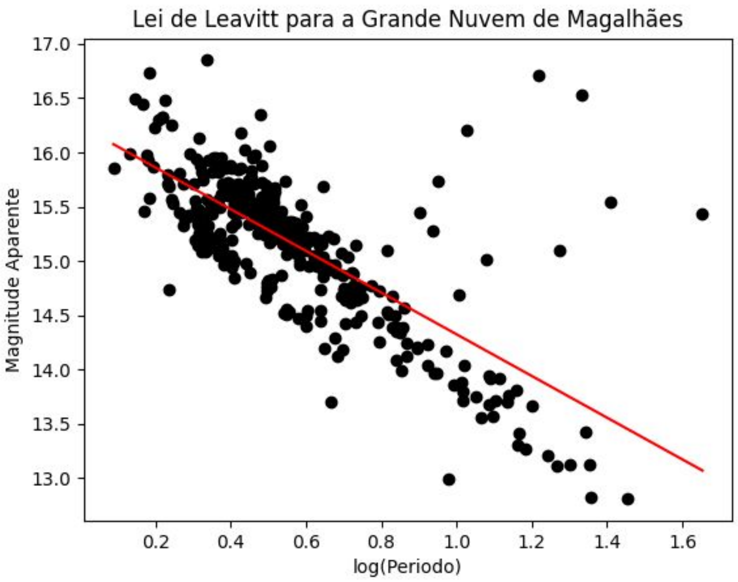
Lei de Leavitt



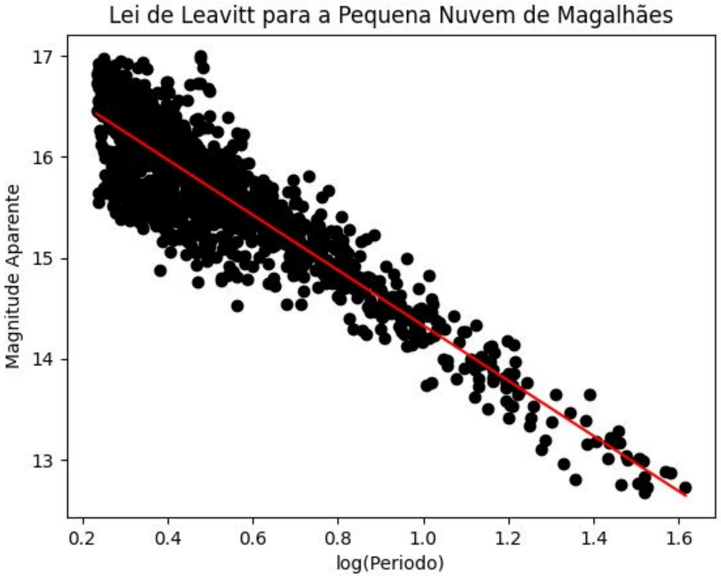


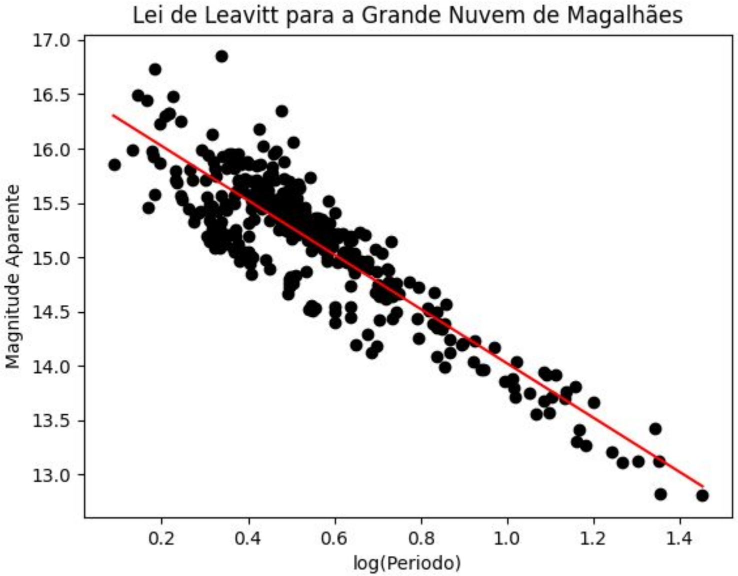
Lei de Leavitt





Lei de Leavitt

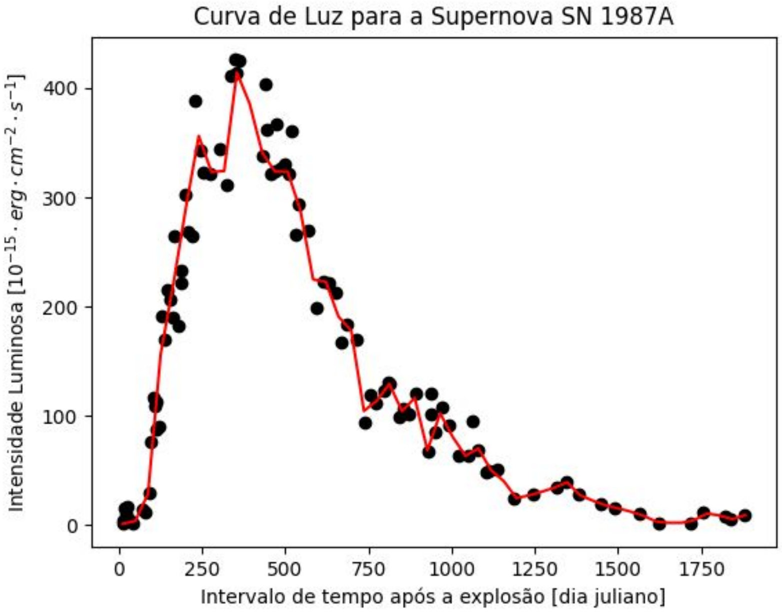




Supernovas como método de calibração

Supernova SN1987A na Grande Nuvens de Magalhães, ESA/Hubble, NASA

Supernovas como método de calibração



$$R = \frac{ct_{max}}{\tan\alpha} \frac{(t_{max} + t_0)}{(1 + 2t_{max})}$$

Após correções pelo deslocamento entre a supernova e o centro da Grande Nuvem de Magalhães

$$50.1 \pm 3.1\,kpc$$

Panagia et al. 1991

Módulo de Distância e a Lei de Leavitt

$$m = A_0 \log P + B_0$$

$$M = A_0 \log P + B_0 + 5\,(1 - \log R_0)$$

Módulo de Distância e a Lei de Leavitt

$$R\left(m, P\right) = \frac{50.1 \pm 3.1 kpc}{10^{\frac{(16.524 \pm 0.039)}{5}}} \sqrt[5]{\frac{10^m}{P^{(-2.499 \pm 0.066)}}}$$

Resultados

Resultado usando supernovas:

$$D_{SMC} = 61.53 \pm 7.67\, kpc$$

Resultado usando medidas de paralaxe do satélite GAIA III:

$$D_{SMC} = 60.77 \pm 0.76\, kpc$$

Resultado direto do GAIA III:

$$D_{SMC} = 62.60 \pm 0.58\, kpc$$