

Cœlum Australe

Jornal Pessoal de Astronomia, Física e Matemática - Produzido por Irineu Gomes Varella

Criado em 1995 – Retomado em Junho de 2012 – Ano VI – Nº 37 - Março de 2015

CENTRO DE MASSA DO SISTEMA SOLAR

Prof. Irineu Gomes Varella

© 2003 - Direitos autorais reservados - Proibida a reprodução.

(Texto produzido originalmente para a apostila Astronomia do Sistema Solar - 2002)

Embora as massas dos planetas em muitos casos possam ser consideradas desprezíveis em relação à massa do Sol, o centro de massa do Sistema Solar não coincide com o centro geométrico do Sol. Por incrível que possa parecer, em muitas situações, ele encontra-se localizado externamente ao globo solar podendo estar afastado até quase $2 R_{\odot}$ (dois raios solares) do centro do Sol. A posição do centro de massa do Sistema Solar depende das massas e das posições dos planetas, isto é, como elas estão distribuídas ao redor do Sol. O procedimento para se determinar a posição do centro de massa do Sistema Solar encontra-se adiante descrito. Para determinar a posição do centro de massa do Sistema Solar, vamos utilizar um sistema de coordenadas heliocêntricas retangulares, adiante descrito.

1 – Coordenadas esféricas eclípticas heliocêntricas

As posições dos astros do Sistema Solar ficam determinadas pelas suas coordenadas esféricas heliocêntricas, isto é, referidas ao centro do Sol. Adota-se como plano fundamental o plano da órbita da Terra ou plano da eclíptica. A posição de um planeta, por exemplo, fica determinada por três valores (figura 1):

r – distância do centro do Sol ao centro do planeta;

β – latitude celeste heliocêntrica – indica o afastamento angular de um astro em relação ao plano da eclíptica, contado positivamente para o norte e negativamente para o sul da eclíptica;

λ – longitude celeste heliocêntrica – ângulo entre a direção do ponto vernal (Υ) e a projeção de \mathbf{r} sobre o plano da eclíptica, contado no sentido da regra da mão direita.

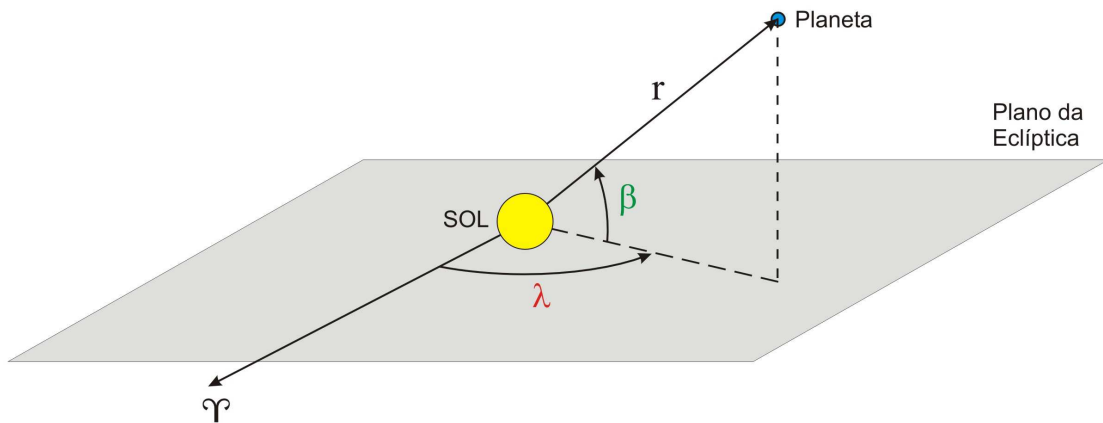


Fig. 1 – Sistema de coordenadas esféricas eclípticas heliocêntricas. A posição de um planeta fica determinada pela sua latitude celeste (β), pela sua longitude celeste (λ) e pela sua distância ao Sol (r).

2 – Coordenadas heliocêntricas retangulares

Utiliza-se um sistema cartesiano tri-ortogonal convencional, com origem no centro do Sol, com o eixo X coincidindo com a direção do ponto vernal e o eixo Z perpendicular ao plano da Eclíptica. O eixo Y encontra-se, evidentemente, no plano da Eclíptica e situado a 90° do eixo X, obedecendo a chamada "regra da mão direita".

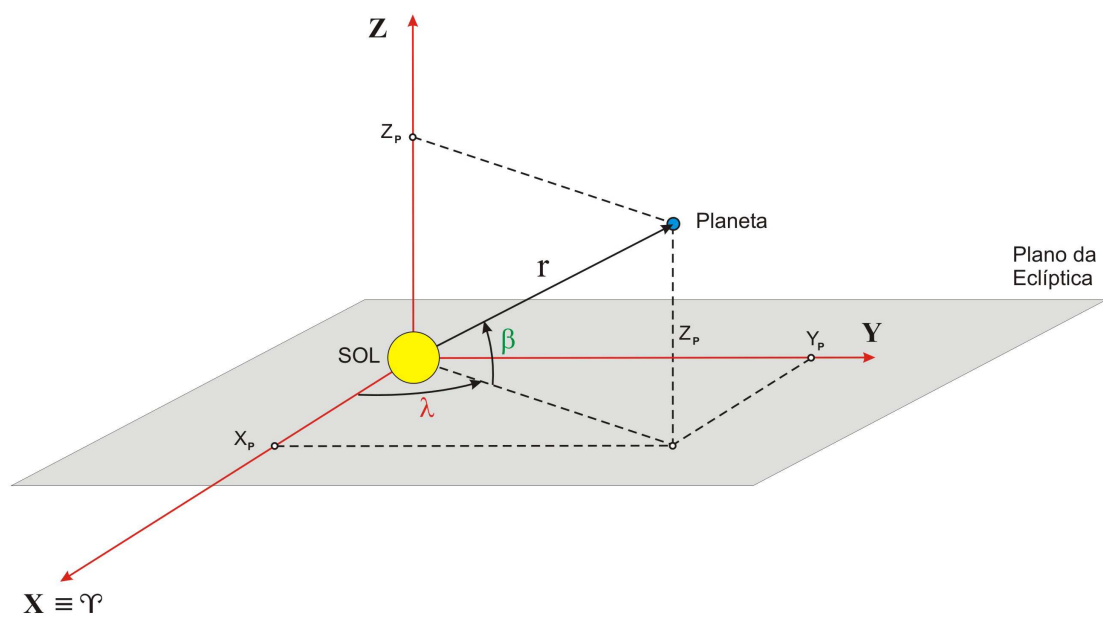


Fig. 2 - Sistema de coordenadas heliocêntricas retangulares.

As coordenadas dos astros neste sistema relacionam-se com as suas coordenadas no sistema anterior pelas fórmulas:

$$X = r \cos \beta \cos \lambda \quad Y = r \cos \beta \sin \lambda \quad Z = r \sin \beta$$

3 – Posição do Centro de Massa do Sistema Solar

Para se determinar a posição do centro de massa CM, em um determinado instante, devemos conhecer as massas m_i dos corpos que levaremos em consideração (em geral os planetas, que são os astros de maior massa) e as suas posições, no instante considerado, dadas pelas suas coordenadas esféricas eclípticas (r, β, λ). Uma vez de posse desses valores procedemos da seguinte maneira:

- Calculamos as coordenadas retangulares heliocêntricas dos planetas, utilizando, como vimos, as relações:

$$X_P = r \cos \beta \cos \lambda \quad Y_P = r \cos \beta \sin \lambda \quad Z_P = r \sin \beta$$

- Determinamos, em seguida, a posição do centro de massa em coordenadas heliocêntricas retangulares (X_{CM} , Y_{CM} e Z_{CM}) pelas expressões:

$$X_{CM} = \frac{\sum X_i m_i}{\sum m_i} \quad Y_{CM} = \frac{\sum Y_i m_i}{\sum m_i} \quad Z_{CM} = \frac{\sum Z_i m_i}{\sum m_i}$$

- A distância do baricentro ao centro do Sol fica determinada por:

$$R_{CM} = \sqrt{X_{CM}^2 + Y_{CM}^2 + Z_{CM}^2}$$

- A latitude e a longitude heliocêntricas do centro de massa (β_{CM} e λ_{CM}) ficam conhecidas pelas expressões:

$$\beta_{CM} = \arctan \left(\frac{Z_{CM}}{\sqrt{X_{CM}^2 + Y_{CM}^2}} \right) \quad \text{e} \quad \lambda_{CM} = \arctan \left(\frac{Y_{CM}}{X_{CM}} \right)$$

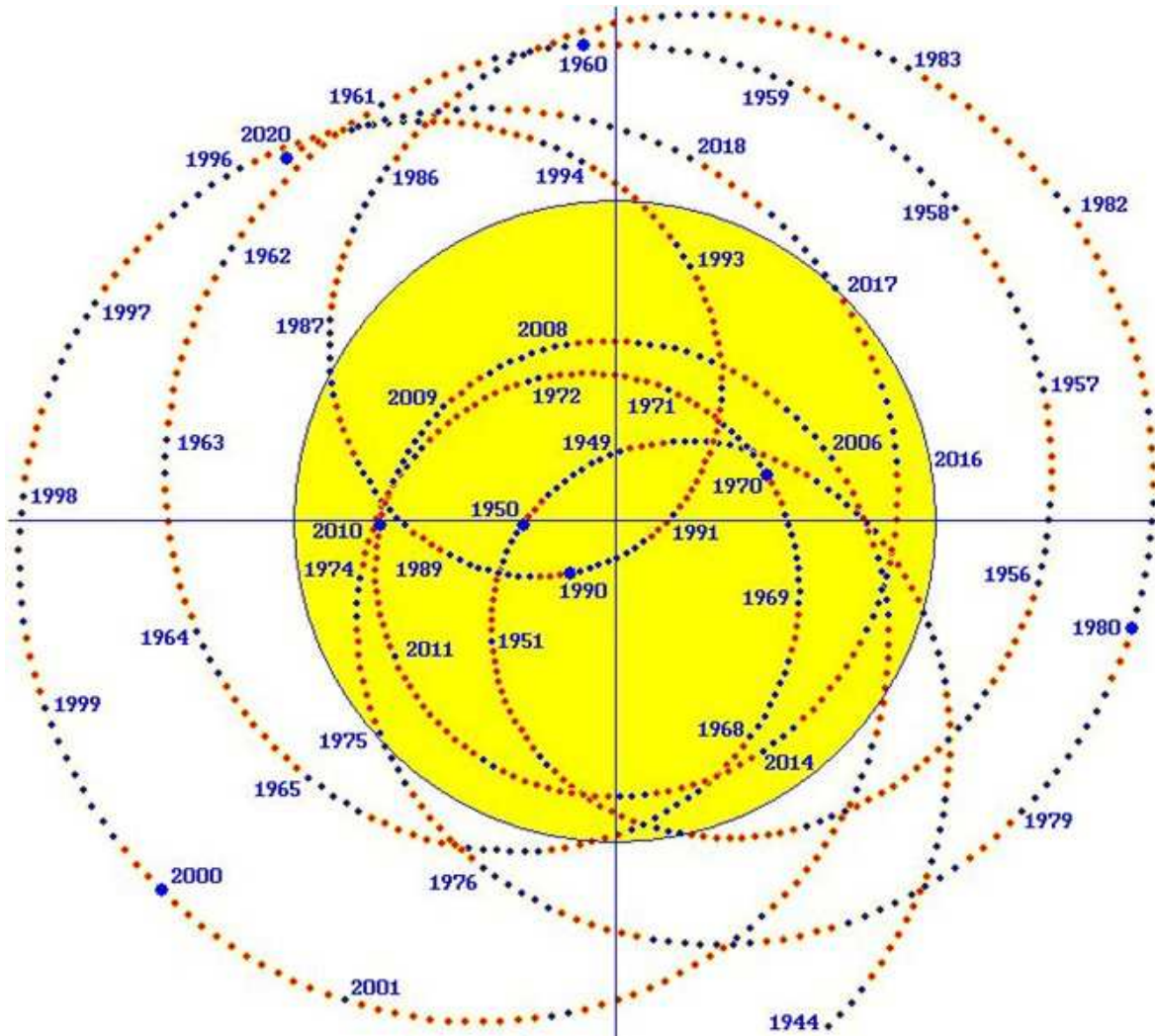


Fig. 3 - Posições do centro de massa do Sistema Solar em relação ao centro do Sol, para o período de 1944 a 2020, projetadas no plano da eclíptica. As posições correspondem ao dia 1º de janeiro de cada ano e nos dias 1º de cada mês subsequente. O disco solar está representado pelo círculo em amarelo. Fonte: <http://www.attivitasolare.com/wp-content/uploads/2016/02/orb2020.gif>

- Em geral, r é dado, nas efemérides astronômicas, em Unidades Astronômicas e, portanto, os valores de X , Y , Z , X_{CM} , Y_{CM} , Z_{CM} e R_{CM} também estarão expressos nessa unidade. Para converter o valor de R_{CM} para raios solares utilize a seguinte relação:

$$1 R_{\odot} = 0,004 6524 \text{ UA} \quad (\text{adotando-se } R_{\odot} = 695.990 \text{ km})$$

- O maior valor possível para R_{CM} é $2,26 R_{\odot}$, que ocorreria na situação hipotética de todos os planetas estarem com a mesma longitude heliocêntrica (todos alinhados) e, ainda, todos no afélio, isto é, com suas máximas distâncias ao Sol. Tal situação não pode acontecer pois os afélios dos planetas apresentam diferentes longitudes heliocêntricas;

- Se considerarmos, no entanto, todos os planetas com as mesmas longitudes heliocêntricas e situados em suas distâncias médias do Sol, obtemos $R_{CM} = 2,17 R_{\odot}$;

Recentemente, o menor valor para R_{CM} ocorreu em abril de 1990, quando o centro de massa esteve localizado a apenas $0,066 R_{\odot}$ do centro do Sol.

REFERÊNCIAS

1. VARELLA, I.G. e OLIVEIRA, P.D.C.F. - *Astronomia do Sistema Solar*. Edição de Uranometria Nova. São Paulo, 2002.



IRINEU GOMES VARELLA – Astrônomo nascido em São Paulo em 07 de setembro de 1952. É graduado em Física e em Matemática pela Universidade de São Paulo e com Pós-Graduação em Astronomia pela Universidade de São Paulo e pela Universidade Cruzeiro do Sul. Iniciou sua carreira no Planetário e Escola Municipal de Astrofísica de São Paulo em 1968, tendo sido Diretor Geral da Instituição de 1980 a 2002. Ministrou mais de uma centena de cursos e dezenas de palestras de Astronomia. Colaborou durante vários anos na edição do Anuário Astronômico do Instituto Astronômico e Geofísico da USP. Escreveu dezenas de textos de divulgação e ensino de Astronomia publicados pelo Planetário de São Paulo e por jornais, revistas e outros periódicos de vários lugares do Brasil. Atualmente é professor da Escola Municipal de Astrofísica de São Paulo e ministra a disciplina "Sistema Solar" no curso de Pós-Graduação em Astronomia da Universidade Cruzeiro do Sul.