

Estabilidade de órbitas ao redor de Vênus

Arnaldo P. S. Filho ¹

Rita C. Domingos²

UNESP, São João da Boa Vista, SP

Diogo M. Sanchez

INPE, São José dos Campos, SP

Vênus foi o primeiro planeta do Sistema Solar a ser visitado por uma sonda espacial e, desde então, várias missões a ele tiveram êxito. Ele é explorado com grande interesse científico, uma vez que, possui semelhanças com a Terra em massa, tamanho, volume, composição química e, dentre os planetas rochosos, apresenta a peculiaridade de ter os coeficientes zonais J_2 , J_3 e J_4 de mesma ordem de grandeza [2]. Para o planejamento e implantação de missões espaciais é fundamental o estudo das órbitas que são definidas por suas condições iniciais, pelos parâmetros orbitais (o semi-eixo maior a , a excentricidade e , a longitude do nodo ascendente Ω , a inclinação i , a longitude do pericentro ω , e a anomalia média M) e, também, pelas perturbações que influenciam o seu comportamento.

Alguns tipos de órbitas são essenciais para a exploração da atmosfera e da superfície de planetas rochosos por estabelecerem condições adequadas de imageamento [3]. Em particular, uma delas é conhecida por órbita congelada que, de acordo com [3] e [2], ocorre quando as variações médias de ω e e ao longo do tempo são aproximadamente nulas, sendo assim, esses parâmetros orbitais são modelados pela equação (1), dada por

$$e = -\frac{[(J_3 R_e)/(2J_2 a)] \sin(i) \sin(\omega)}{1 - (3J_2 R_e^2 E)/[a^2(5 \sin^2 i - 4)]} \quad (1)$$

onde,

$$E = \left(6 - \frac{169}{12} \sin^2 i + \frac{395}{48} \sin^4 i\right) - \frac{35J_4}{18J_2^2} \left(\frac{12}{7} - \frac{93}{14} \sin^2 i + \frac{21}{4} \sin^4 i\right) \quad (2)$$

sendo $\omega = 90^\circ$ ou 270° dependendo do valor da i .

Considerando a equação (1), investigamos a excentricidade de órbitas congeladas ao redor do planeta Vênus em relação aos valores do semieixo maior ($8000 \leq a \leq 13000$ km) e da inclinação ($0 \leq i \leq 180^\circ$) para valores da excentricidade até 0,35. Os coeficientes zonais empregados foram $J_2 = 4,4580 \times 10^{-6}$, $J_3 = -2,1082 \times 10^{-6}$ e $J_4 = -2,1471 \times 10^{-6}$ [1]. O resultado é apresentado na Figura 1. Analisando esta figura, podemos observar duas regiões com descontinuidades próximas aos valores de inclinação crítica, ou seja, quando i é aproximadamente $63,435^\circ$ ou $116,565^\circ$. Além disso, é possível identificar três famílias de órbitas congeladas: a primeira são as órbitas que tendem aos valores de órbita de inclinação crítica e podem ser classificadas como estáveis; a segunda se refere às órbitas instáveis da região próxima à inclinação crítica, que na representação gráfica foi desconsiderada a fim de possibilitar uma melhor visualização da região estável de órbitas que são relevantes ao estudo; por fim, uma família de órbitas estáveis que contém a órbita de inclinação igual a 90° , conhecida como órbita polar. É importante ressaltar que, com exceção das regiões

¹arnaldo.pieroni@unesp.br

²rita.domingos@unesp.br

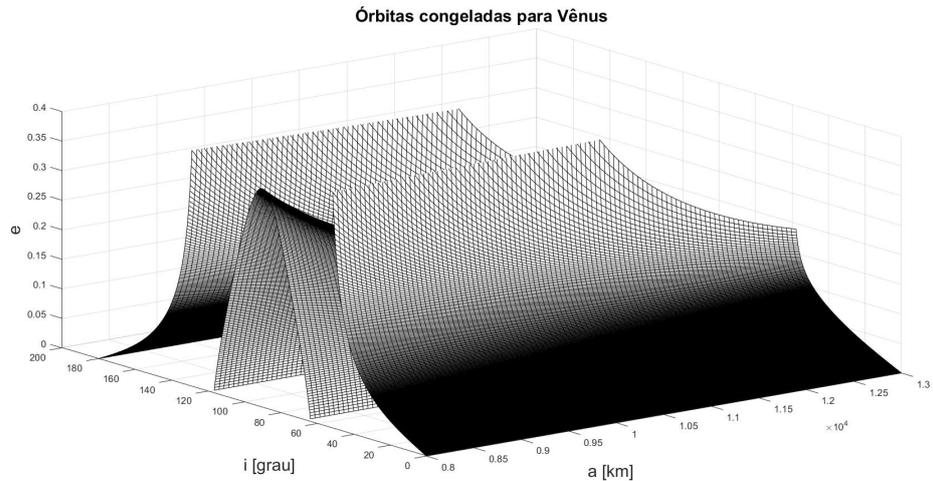


Figura 1: Órbitas congeladas ao redor Vênus

próximas às inclinações críticas, as órbitas congeladas apresentam baixa excentricidade, o que pode refletir o emprego dessas órbitas em diversas missões.

Dentro deste contexto, visando o estudo da estabilidade de órbitas congeladas, foram selecionadas órbitas na região próxima à órbita polar, já que essas órbitas são caracterizadas por baixas altitudes e elas resultam em grande interesse para missões de mapeamento geográfico e de monitoramento da superfície do planeta. Dessa forma, neste trabalho apresentamos uma análise da evolução orbital em função do tempo dessas órbitas. O objetivo foi encontrar as órbitas que sofrem a menor perturbação do Sol e do achatamento.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ (Processos: 123686/2019-9 e 310317/2016-9), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (processo: 2016/24561-0), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao grupo de Dinâmica Orbital e Planetologia da Unesp de Guaratinguetá pelo apoio computacional.

Referências

- [1] Anderson, P., Macdonald, M. and Yen, C. Novel orbits of Mercury, Venus and Mars enabled using low-thrust propulsion, *Acta Astronautica*, 94:634–345, 2014. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.08.018>.
- [2] Liu, X., Baoyin, H. and Ma, X. Extension of critical inclination, *Astrophys Space Sci*, 334:115–124, 2011. DOI: 10.1007/s10509-011-0685-y.
- [3] Wu, Z., Jiang, F. and Li, J. Extension of frozen orbits and Sun-synchronous orbits around terrestrial planets using continuous low-thrust propulsion, *Astrophys Space Sci*, 360, 2015. DOI:10.1007/s10509-015-2529-7.