

## Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

---

# Efeito da Força de Pressão de Radiação Solar sobre órbitas ao redor de Vênus

Ricardo G. Pina <sup>1</sup>

Universidade Estadual Paulista (UNESP), São João da Boa Vista

Rita C. Domingos <sup>2</sup>

Universidade Estadual Paulista (UNESP), São João da Boa Vista

Diogo M. Sanchez<sup>3</sup>

Depto. de Mecânica Espacial e Controle, INPE, São José dos Campos, SP

Antônio F.B.A Prado <sup>4</sup>

Depto. de Mecânica Espacial e Controle, INPE, São José dos Campos, SP

## 1 Introdução

Estudar trajetórias de veículos espaciais é de extrema importância para missões interplanetárias. O conhecimento prévio do comportamento destes veículos nas diferentes órbitas ao redor do planeta alvo é um dos principais contribuintes para o sucesso das missões. Diante destes princípios, o presente trabalho visa estudar o efeito das forças de perturbação atuantes em um veículo espacial ao redor de Vênus, sendo estas forças devidas ao Sol, à pressão de radiação solar e ao potencial gravitacional de Vênus. O objetivo é verificar a importância do efeito da força de pressão de radiação solar sobre a órbita do veículo espacial. Para tanto, o movimento do veículo espacial é considerado no sistema planetocêntrico cujo plano de referência está fixo no equador do planeta. Dentro deste contexto, os resultados são dados em elementos orbitais e a magnitude de cada perturbação sobre a órbita do veículo espacial é obtida.

## 2 Desenvolvimento

Considerando que a equação de movimento do veículo espacial é dada por [2]:

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{GM_V}{r^3}\vec{r} + GM_S \left( \frac{\vec{r}_S - \vec{r}}{|\vec{r}_S - \vec{r}|^3} - \frac{\vec{r}_S}{r_S^3} \right) + \vec{P}_G + \vec{P}_R, \quad (1)$$

onde  $G$ ,  $M_V$ ,  $M_S$ ,  $\vec{r}$  e  $\vec{r}_S$  são a constante gravitacional, a massa de Vênus, a massa do Sol, os vetores posição do veículo espacial e do Sol, respectivamente.  $\vec{P}_G$  e  $\vec{P}_R$  são as

---

<sup>1</sup>pina.ricardo@outlook.com.br

<sup>2</sup>rita.domingos@unesp.br

<sup>3</sup>sanchezfsica@gmail.com

<sup>4</sup>prado@dem.inpe.br

acelerações devido ao potencial gravitacional de Vênus e a força de pressão de radiação, respectivamente. De acordo com a literatura [1], a aceleração devida à força de pressão de radiação solar  $\vec{P}_R$  é dada por:

$$\vec{P}_R = -C_r P_s \frac{A}{M} \left[ \frac{AU}{r_s} \right]^2 \frac{\vec{r}_s}{r_s}, \quad (2)$$

onde  $A$  é a área média do veículo espacial projetada na direção do Sol,  $M$  é a massa do veículo,  $P_S$  é a pressão de radiação solar,  $C_r$  é o coeficiente de radiação e  $\vec{r}_S$  é o vetor posição do Sol.

Para inferir o papel das forças de perturbação é utilizado o método da Integral das forças [2], no qual é inferida a variação da velocidade do veículo espacial devida a cada perturbação medida em um período estabelecido de tempo. A equação do método da Integral das forças é dada por:

$$\Delta V = \frac{1}{T} \int_0^T |\vec{P}| dt \quad (3)$$

onde  $\Delta V$  é a variação total de velocidade,  $T$  é o período de tempo e  $\vec{P}$  é a aceleração devida a cada perturbação (do Sol,  $\vec{P}_G$  e  $\vec{P}_R$ ), uma generalização para o módulo das acelerações calculadas através da equação (1). A obtenção da variação de velocidade indicará quais órbitas sofrem menor ou maior influência de cada perturbação considerada. Na continuação deste trabalho, as equações (1) e (3) serão integradas numericamente por intervalo de tempo  $T$  predeterminado visando obter a evolução no tempo dos elementos orbitais do veículo espacial e as magnitude das variações de velocidade devida à cada força de perturbação. A ideia é fazer um estudo comparativo dos resultados e verificar o papel da força de pressão de radiação solar sobre a órbita do veículo espacial.

## Agradecimentos

Ao CNPq (Processos: 310317/2016-9, 800436/2018-0 e 406841/2016-0), à FAPESP (Processo: 2014/22295-5) e à UNESP - Câmpus de Guaratinguetá pelo suporte computacional.

## Referências

- [1] L. Anselmo and C. Pardini. Long-Term Evolution of High Earth Orbits: Effects of Direct Solar Radiation Pressure and Comparison of Trajectory Propagators, *ISTI/CNR Technical Report*, 2007.
- [2] D. M. Sanchez and A. F. B. A. Prado. On the effects of each term of the geopotential perturbation along the time I: Quasi-circular orbits, *Advanced Space Research*, 2014.