

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

---

## Perturbação do Sol e da não Esfericidade de Marte sobre Órbitas de Satélites Artificiais

Ana C. Oliveira<sup>1</sup>

Universidade Estadual Paulista, UNESP, São João da Boa Vista, SP

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

Universidade Estadual Paulista, UNESP, São João da Boa Vista, SP

Lucas M. Silva<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista, UNESP, São João da Boa Vista, SP

Antônio F. B. A. Prado<sup>4</sup>

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

Diogo M. Sanchez<sup>5</sup>

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

### 1 Introdução

O estudo dos efeitos perturbativos na evolução de órbitas de satélites artificiais ao redor de Marte é etapa fundamental no planejamento e sucesso de missões espaciais. A órbita congelada é um tipo de órbita bastante interessante a ser estudada devido às suas características orbitais de excentricidade e argumento de pericentro permanecerem aproximadamente constantes ao longo do tempo [1]. Dessa forma, o satélite artificial passa em uma determinada região sempre com a mesma altitude, trazendo benefícios através dessa regularidade, como o mapeamento e o monitoramento de áreas. Este trabalho apresenta um estudo sobre o efeito das perturbações geradas pela não esfericidade de Marte e pelo potencial gravitacional do Sol sobre órbitas congeladas ao redor de Marte.

### 2 Procedimento e Discussão dos Resultados

Para integrar numericamente a evolução orbital de um satélite artificial ao redor de Marte, dadas suas condições iniciais [2], a equação de movimento que descreve o movimento deste satélite é dada por:

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\frac{GM_M}{|\mathbf{r}|^3}\mathbf{r} + GM_{Sol} \left( \frac{\mathbf{r}_{Sol} - \mathbf{r}}{|\mathbf{r}_{Sol} - \mathbf{r}|^3} - \frac{\mathbf{r}_{Sol}}{|\mathbf{r}_{Sol}|^3} \right) + \mathbf{P}_G \quad (1)$$

---

<sup>1</sup>ana.c.oliveira@unesp.br

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

<sup>3</sup>lucasmarsilva@hotmail.com

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

<sup>5</sup>sanchezfsica@gmail.com

onde  $G$  é a constante gravitacional,  $M_M$  e  $M_{Sol}$  são as massas de Marte e do Sol,  $\mathbf{r}$  e  $\mathbf{r}_{Sol}$  são os vetores posição do satélite e do Sol, e  $\mathbf{P}_G$  representa o vetor aceleração gerado pela não esfericidade de Marte. Em [2] é apresentado o método da integral da aceleração cujo objetivo é inferir quantitativamente o efeito da perturbação devida à não esfericidade da Terra sobre órbitas de satélites. Em particular, o método da integral da aceleração pode ser aplicado para outros planetas e perturbações sofridas pelo satélite. Ela é dada por:

$$\Delta v = \int_0^T |\mathbf{P}| dt \quad (2)$$

onde  $\Delta v$ ,  $T$  e  $|\mathbf{P}|$  são a variação da velocidade do satélite, o tempo de integração e o módulo da perturbação do Sol ou da não esfericidade de Marte, respectivamente. Assim, para  $T=15$  anos, a Tabela 1 apresenta alguns exemplos dos resultados das magnitudes  $\Delta v_{Sol}$  e  $\Delta v_{P_G}$  causadas no satélite devidas às perturbações do Sol e da não esfericidade de Marte, respectivamente.

Tabela 1: Resultados das variações de velocidade para as órbitas congeladas.

Órbita	Semieixo (km)	$\Delta v_{Sol}$ (m/s)	$\Delta v_{P_G}$ (m/s)
1	8397	$5,9320 \times 10^{-3}$	$1,5894 \times 10^{-10}$
2	18397	$1,3009 \times 10^{-3}$	$6,8485 \times 10^{-10}$
3	28397	$2,0051 \times 10^{-2}$	$1,2151 \times 10^{-12}$

Analisando a Tabela 1, notamos que  $\Delta v_{Sol}$  possui maior ordem de magnitude quando comparada à  $\Delta v_{P_G}$ . Os resultados mostram que os efeitos das perturbações estão diretamente relacionados às condições iniciais da órbita, quanto maior a altitude da órbita maior será o efeito da perturbação do Sol, e assim, as variações nos elementos orbitais do satélite são mais significativas. Dependendo da altitude, a órbita do satélite pode sofrer mudanças significativas com relação a órbita inicial fazendo-a perder as condições de uma órbita congelada.

## Agradecimentos

Ao CNPq (Proc 310317/2016-9, 800571/2016-9 e 406841/2016-0), à Fapesp (Proc 2014/22295-5 e 2016/24561-0) e à UNESP - Campus de Guaratinguetá pelo suporte computacional.

## Referências

- [1] X. Liu, H. Baoyin and X. Ma. Five special types of orbits around Mars, *Journal of Guidance Control and Dynamics*, 33:1294-1301, 2010.
- [2] D. M. Sanchez, A. F. B. A. Prado and T. Yokoyama. On the effects of each term of the geopotential perturbation along the time I: Quasi-circular orbits, *Advanced Space Research*, 54:1008-1018, 2014.