

Análise do torque de pressão de radiação solar na propagação da órbita do satélite CBERS-4A

Geovani A. X. Ribeiro¹

Roberta V. Garcia²

Departamento de Ciências Básicas e Ambientais, EEL/USP, Lorena, SP

Helio K. Kuga³

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

A grande diversidade de missões espaciais tem motivado estudos relacionados a atividades de controle, propagação e determinação de órbita e atitude de satélites artificiais. Tais atividades estão diretamente relacionadas a precisão da missão a que o satélite foi destinado, uma vez que o satélite deve ser supervisionado e controlado no pós-lançamento. Entretanto, a ação contínua de torques causados por forças oriundas do meio onde os satélites orbitam, influencia significativamente o movimento rotacional (atitude) e translacional (órbita) dos satélites. Portanto, é imprescindível, na análise de uma missão espacial, a avaliação das magnitudes destes torques ambientais (externos) em função da posição em que o veículo se encontra em sua órbita. Este projeto visa fazer a análise do Torque de Pressão de Radiação Solar (TPRS) na propagação da órbita a partir do modelo customizado para o CBERS [1]. Para a validação do modelo customizado é criado um algoritmo em MATLAB para calcular características da órbita e do TPRS.

Em satélites artificiais, existem torques externos causados por radiação. A Terra, por exemplo, pode emitir radiação de forma significativa de duas maneiras, através da emissão da radiação do infra-vermelho e pela reflexão de fótons que se chocam com o satélite após essa reflexão (albedo terrestre). No caso da radiação solar direta, o fluxo de fótons, oriundos do Sol, incidem sobre a superfície do satélite com uma determinada energia que é denominada de energia radiante. A pressão de radiação solar é determinada quando o fluxo de energia radiante é perpendicular à superfície do satélite [2].

A pressão de radiação solar provoca uma força de pressão de radiação solar na superfície do satélite (\vec{F}) que pode causar danos estruturais e pode retirar o mesmo de sua órbita. Nesse contexto, inclui-se o TPRS, já que a força em uma determinada posição no satélite e uma distância \vec{r} do centro de massa (CM) causa o Torque de Pressão de Radiação Solar (\vec{N}_S). O modelo é descrito na equação (1), com k o número de fótons na superfície do satélite:

$$\vec{N}_S = \sum_{i=1}^k \vec{r}_i \times \vec{F}_i \quad (1)$$

Para validar a abordagem proposta de modo a realizar uma análise mais completa do trabalho, é feito um algoritmo em duas etapas no MATLAB para a propagação da órbita e para o cálculo do torque de pressão de radiação solar nos eixos através do modelo simplificado do CBERS-4A [1]. Na primeira etapa, insere-se dados da Tabela 1 que foram coletados a partir de dados reais da tabela *Two-Line Element Sets* (TLE) do *Celestrack* no dia 31 de janeiro de 2021 às 10 horas.

¹geovani.augusto@usp.br

²robertagarcia@usp.br

³hkk@dem.inpe.br

Tabela 1: Condições iniciais obtidas via TLE.

Elemento orbital	Valor inserido no algoritmo
Argumento do pericentro (ω)	86,7186°
Anomalia verdadeira inicial (f_0)	273,4204°
Longitude do nodo ascendente (Ω)	110,8672°
Inclinação (I)	97,9393°
Movimento médio (n)	14,81524922 rev/dia
Excentricidade (e)	0,0001522

Na segunda etapa, são calculadas características da órbita do CBERS-4A e coloca-se no algoritmo a quantidade de órbitas e a variação de tempo para o cálculo das posições do satélite. A partir disso, aplica-se o método de Newton-Raphson para a determinação da dinâmica do satélite com o cálculo da anomalia verdadeira (f), latitude verdadeira (u) e vetor posição (\vec{R}) em qualquer instante da órbita. Gera-se, então, uma tabela com todos os valores calculados e é factível a aplicação do modelo simplificado que foi realizado a partir de aproximações médias para as componentes de (1). As equações (2), (3) e (4) fornecem as componentes nos três eixos para o TPRS dadas por [1]:

$$N_x = 4,64 \times 10^{-4} \cos(Wt) + 3,71 \times 10^{-7} - 3,84 \times 10^{-6} |\cos(Wt)| \cos(Wt) \quad (2)$$

$$N_y = 6,83 \times 10^{-6} \sin(Wt) + 1,94 \times 10^{-6} |\sin(Wt)| \sin(Wt) \quad (3)$$

$$N_z = -4,64 \times 10^{-4} \sin(Wt) + 4,13 \times 10^{-6} |\sin(Wt)| \sin(Wt) \quad (4)$$

tal que, W é velocidade de rotação do satélite e t é o tempo calculado a partir do nodo ascendente. O torque é calculado em [N·m]. Para fins simplificativos, pode-se substituir Wt por u [1].

Dessa forma, é possível analisar os valores do TPRS em cada eixo e, assim, fazer a análise do torque de pressão de radiação solar na propagação da órbita do satélite CBERS-4A.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PIBIC/INPE e à Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP).

Referências

- [1] Fuming H. and Kuga, H. K. *CBERS simulator mathematical models*. XSCC/INPE, 1999.
- [2] Zanardi, M. C. F. P. S. Influência do torque de radiação solar na atitude de um satélite artificial, Dissertação de Doutorado, ITA, 1993.