

Estudo da atuação do torque aerodinâmico sobre o satélite CBERS-4A

Bruno G. Cordeiro¹
Roberta V. Garcia²

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

Com o grande aumento das missões espaciais, faz-se necessário um estudo cauteloso de cada etapa durante a missão para que a mesma ocorra com perfeição e possa ser cumprida sem maiores dificuldades, visto que em cada uma dessas etapas, existem diferentes tipos de influências externas atuantes no corpo que podem prejudicar seu movimento ou desempenho. Nesse contexto, existem diversos tipos de torques que podem ser considerados influenciadores externos, por ter uma atuação sobre um corpo no espaço. Alguns dos torques estudados são: Torque de Pressão de Radiação Solar, Torque de Gradiente de Gravidade, Torque Magnético, Torque Aerodinâmico, entre outros. Ressalta-se que um dos elementos que os diferenciam é a origem da força que os gera. Este trabalho visa o estudo do Torque Aerodinâmico (TA), além de uma análise sobre sua atuação na movimentação e órbita do satélite CBERS-4A.

O Torque Aerodinâmico (\vec{N}_A) é gerado a partir de uma força aplicada em um ponto no satélite, onde tal força provém do impacto de moléculas do ar na superfície do próprio satélite. Essas forças são denominadas forças aerodinâmicas e são mais atuantes em baixas altitudes, pois quanto mais próximo o satélite estiver da Terra, maior a quantidade de moléculas de ar, portanto, maior o choque dessas moléculas com a superfície do satélite. O TA gerado por uma única força aerodinâmica pode ser definido pela equação (1): [1]

$$\vec{N}_A = \vec{m}e \times \vec{D} \quad (1)$$

onde $\vec{m}e$ é denominada a margem estática, sendo esta a distância do Centro de Massa do satélite (CM) ao ponto que a força aerodinâmica chocou na superfície do satélite, ponto esse denominado Centro de Pressão (CP) e \vec{D} é a Força de Arrasto, uma força gerada pelo atrito do corpo e o fluido no qual está imerso.

Entretanto, a equação (1) não é o suficiente para o cálculo do TA total atuante no satélite. Devido a isso, foi desenvolvido um algoritmo em *Python*, para que o TA fosse calculado em cada componente x , y e z do sistema do satélite, dados respectivamente por \vec{N}_{Ax} , \vec{N}_{Ay} e \vec{N}_{Az} . O algoritmo é constituído por uma série de equações, para o cálculo da anomalia excêntrica (E) e da anomalia média (M) em um certo período, permitindo assim a determinação da anomalia verdadeira (f) em diversos instantes e a órbita do satélite possa ser construída, visto que f é o ângulo que posiciona o corpo em sua órbita [2]. Entretanto, para o algoritmo ser executado, a inserção de alguns valores são necessários, sendo eles alguns dos elementos orbitais. Os valores dos elementos orbitais do CBERS-4A utilizados neste trabalho foram retirados da tabela *Two-Line Elements Sets* (TLE), disponibilizadas pelo *Celestrack* no dia 31 de janeiro de 2021 às 9h15. A Tabela 1 demonstra os valores utilizados.

¹bru020@usp.br

²robertagarcia@usp.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°
Movimento médio (n)	14,81524922 rev/dia
Excentricidade (e)	0,0001522

Um modelo simplificado e adotado para o satélite CBERS foi fornecido pelo INPE e é adotado neste trabalho. As componentes do TA para o satélite CBERS-4A são dadas por: [3]

$$N_{Ax}^{\vec{}} = 1.45 \times 10^{-6} |\sin(W t_{na})| \cos(W t_{na}) + 8.05 \times 10^{-7} \cos(W t_{na}) \quad (2)$$

$$N_{Ay}^{\vec{}} = 1.45 \times 10^{-5} |\sin(W t_{na})| + 8.05 \times 10^{-6} \quad (3)$$

$$N_{Az}^{\vec{}} = -9.9 \times 10^{-4} |\sin(W t_{na})| - 7 \times 10^{-6} \cos(W t_{na}) + 9.06 \times 10^{-6} \quad (4)$$

onde W é a velocidade angular da órbita e t_{na} é o tempo calculado a partir do nodo ascendente. Para esse cálculo, o valor do TA é dado em $[N \cdot m]$. Para simplificação, $W t_{na}$ pode ser substituído por u , sendo este um ângulo definido por $u = f + \omega$. Como ω é constante e f varia com o tempo, conclui-se que as componentes do TA dependem da anomalia verdadeira. A partir dos valores da Tabela 1, os cálculos são executados e é possível se observar o comportamento do TA nos eixos x , y e z em determinado tempo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Pró Reitoria de Graduação e à Escola de Engenharia de Lorena

Referências

- [1] Chiaradia, J. E.; Kuga, H. K. e Zanardi, M. C. F., *Propagação da atitude de satélites artificiais estabilizados por rotação com o torque aerodinâmico*, 2010
- [2] Fernandes, S. S. e Zanardi, M. C. F. P. S., *Fundamentos da astronáutica e suas aplicações*, São Bernardo do Campo, SP, Editora UFABC, 2018.
- [3] Fuming H. e Kuga, H. K. *CBERS simulator mathematical models*. XSCC/INPE, 1999.