

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

---

## Simulação orbital de nanosatélites

Lucas Casaril<sup>1</sup>  
Bruno Lugnani de Souza  
Alexandro Garro Brito  
Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC

### 1 Introdução

A indústria de nanosatélites adquiriu um grande mercado nos últimos anos, pois além de ser uma ótima ferramenta para aprendizado, é mais fácil de montar do que um satélite de grande porte. Além disso, seu lançamento é consideravelmente mais barato e sua complexidade é reduzida.

No desenvolvimento de um cubsat, uma parte importante da pesquisa é a simulação da trajetória que esse corpo fará ao redor da Terra, do momento do seu lançamento, até a sua reentrada. Na literatura, existem algumas formas de calcular essa trajetória [1].

A simulação é um estudo matemático que consiste em um algoritmo que prevê a trajetória do satélite levando em conta: os elementos magnéticos que estão em seu corpo, o gradiente de gravidade, o campo magnético da Terra, entre outros fatores. Ademais, ela pode ser versátil na sua utilização: um exemplo é sua aplicação para calcular a atitude de um nanosatélite e para criar uma estratégia de controle magnético.

Este trabalho apresentará um método completo de simulação orbital de um nanosatélite, levando-se em conta um possível controle magnético (passivo e ativo) e outros fenômenos gravitacionais, aerodinâmicos e geomagnéticos.

### 2 A simulação orbital

A dinâmica rotacional de um cubsat é determinada pela seguinte equação, referenciada no sistema corpo [1]:

$$J \cdot \frac{d\vec{\omega}}{dt} + \vec{\omega} \times J \cdot \vec{\omega} = \vec{M}_{total} \quad (1)$$

onde  $J$  é a matriz de inércia do satélite,  $\vec{\omega}$  é o vetor velocidade angular e  $\vec{M}_{total}$  é o torque externo total em coordenadas fixas no satélite. Este torque é composto pela interação física do cubsat (e seus elementos) com o meio, ou seja, o gradiente de gravidade, o arrasto aerodinâmico e o campo geomagnético - cada qual escrito em um sistema de referência

---

<sup>1</sup>lucascasaril@hotmail.com

adequado. Analisando-se a evolução temporal da velocidade angular do satélite, obtém-se uma descrição de seu comportamento dinâmico ao longo do voo.

Para realizar esses cálculos, foi considerada a órbita do satélite no Sistema Geográfico Fixo (SGF) com origem no centro da Terra (Figura 1). Obtém-se, então, um Sistema Geográfico Girante (SGG) que acompanha a rotação da Terra. Finalmente, considera-se um Sistema Magnético Girante (SMG) para obtenção do campo geomagnético local. A transformação de um vetor expresso em um sistema para outro se faz por meio de uma matriz de transformação que leva em conta o ângulo de rotação entre os sistemas [1].

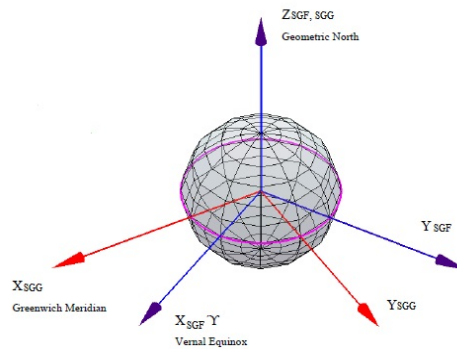


Figura 1: Sistemas de Referências. Adaptado de [1].

Para se calcular o campo magnético terrestre, foi utilizado um modelo matemático que representa tal campo na forma de um dipolo magnético. Esse modelo necessita que a posição do satélite esteja em coordenadas esféricas, portanto, com as coordenadas no SMG, ocorre uma última transformação. Por fim, considerando a interação do campo geomagnético com o campo magnético gerado internamente no cubesat (por meio de ímãs ou bobinas) e adicionando os outros fatores físicos que estão atuando no nanosatélite, obtém-se sua evolução dinâmica ao longo da órbita, concluindo-se a simulação [1].

### 3 Conclusão

A simulação orbital de um nanosatélite é extremamente importante tanto do ponto de vista de análise quanto de projeto. Para isso, é necessário um estudo matemático cuidadoso de todos os fenômenos, bem como de algoritmos adequados para solução das equações dinâmicas. Este trabalho se propõe ao estudo dessas questões, apresentando toda a formulação matemática associada, bem como de métodos numéricos utilizados para a obtenção dos resultados.

### Referências

- [1] S.A. Rawshdeh. *Passive Attitude Stabilization for Small Satellites*. University Of Kentucky – Master’s Thesis, 2010.