

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

---

# Modelagem, simulação e implementação de um sistema de controle de atitude magnético para nanosatélites

Bruno Lugnani<sup>1</sup>

Lucas Casaril

Alexandro Garro Brito

Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC

## 1 Introdução

Os nanosatélites têm sido cada vez mais aplicados em pesquisa nas mais diversas áreas, tais como física, engenharia, biologia e tantas outras. Sua excelente relação custo-benefício de lançamento permite a obtenção de resultados importantes, mesmo para projetos de cunho universitário.

Em alguns casos, o nanosatélite necessita garantir certa orientação de suas faces com relação à Terra. Então, uma metodologia de controle é indispensável para um bom funcionamento do todo.

A proposta deste trabalho é apresentar as etapas de projeto, simulação e implementação de um sistema de controle de atitude ativo e passivo com base na interação de um campo magnético gerado internamente no satélite com o campo magnético da Terra. Todos os aspectos de equacionamento matemático e modelagem serão discutidos, bem como a implementação do sistema de controle.

## 2 Controle de atitude magnético

A atitude de um cubesat é determinada pela seguinte equação de dinâmica rotacional, referenciadas no sistema corpo [3]:

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

onde  $J$  é a matriz de inércia do satélite,  $\vec{\omega}$  é o vetor taxa de variação angular em coordenadas fixas no satélite e  $\vec{M}_{total}$  é o torque externo total também em coordenadas fixas no satélite.

O torque resultante no satélite devido ao campo magnético terrestre em determinado ponto da órbita é dado por:

$$\vec{M}_{magnético} = \vec{m} \times \vec{B}_{Terra} \quad (2)$$

---

<sup>1</sup>lugnani@outlook.com

onde  $\vec{M}_{magnético}$  é o vetor torque magnético,  $\vec{m}$  é o momento vetor do dipolo magnético (que pode ser devido tanto a ímãs permanentes, que fazem parte do controle passivo, quanto aos magnetotorqueadores, que fazem parte do controle ativo e geram um campo magnético ajustável), e  $\vec{B}_{Terra}$  é o vetor densidade de fluxo magnético local da Terra. Todos os vetores estão referenciados em coordenadas fixas no corpo do satélite.

O campo magnético terrestre pode ser modelado como um dipolo, onde sua magnitude é obtida em um determinado instante, de acordo com a posição do satélite em órbita.

Para amortecer a rotação do satélite devido ao torque magnético resultante, barras de histerese são devidamente posicionadas no interior do satélite. Estas barras são compostas de um forte material ferromagnético, o qual dissipará energia durante o processo de correção de atitude do satélite.

### 3 Implementação do sistema de controle

O sistema aqui proposto será composto por componentes que atuarão de forma a proporcionar um sistema de controle de atitude completo. Alguns desses componentes são: magnetotorqueadores, magnetômetros, ímãs permanentes, barras de histerese, microcontrolador, etc. Utilizando estes elementos, pretende-se analisar a configuração de componentes internos do satélite e assim realizar a montagem do sistema.

Para o projeto de controle de atitude, é necessária uma análise a fundo do campo magnético terrestre. Através de simulações completas, determinaremos como o sistema de controle deve se comportar.

A principal contribuição deste trabalho é apresentar a modelagem completa de um sistema de controle de atitude ativo e passivo para nanosatélites. Partindo da análise matemática deste modelo e sua completa simulação numérica, será apresentada a etapa de concepção e projeto do sistema de controle, apresentando resultados preliminares de seu desempenho.

### Referências

- [1] G. P. Candini, F. Piergentili, F. Santoni. *Miniaturized attitude control system for nanosatellites*. Acta Astronautica, 2012, v.81: 325–334.
- [2] J. Wu. *Design of a Miniature Axial Flux Flywheel Motor with PCB Winding for Nanosatellites*. International Conference on Optoelectronics and Microelectronics (ICOM), 2012.
- [3] S. A. Rawshdeh. *Passive Attitude Stabilization for Small Satellites*. University Of Kentucky – Master’s Theses, 2010.