UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE – CAA
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE – NFD CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

CÁLCULOS FÍSICOS E MODELAGEM COMPUTACIONAL NO LANÇAMENTO DE NANOSSATÉLITES

Rodrigo Soares Leandro de Lucena[1], Bruna Emanuelly Sousa Silva[2] , Leonardo Silva Macedo[3] , Mateus Gabriel Miranda Silva[4]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE/CAA[1, 2, 3, 4]

rodrigo.soaresl@ufpe.br[1], bruna.emanuelly@ufpe.br[2], leonardo.silvamacedo@ufpe.br[3], mateus.miranda@ufpe.br[4]

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar os principais cálculos físicos envolvidos no lançamento e operação orbital de nanossatélites, destacando a integração entre Física Moderna, Mecânica Orbital e modelagem computacional. A proposta surgiu da crescente importância dos nanossatélites no cenário aeroespacial contemporâneo, principalmente devido ao baixo custo e à ampla aplicabilidade dessas tecnologias em telecomunicações, monitoramento ambiental e pesquisas científicas. Para isso, realizou-se uma revisão sobre os fundamentos físicos relacionados à velocidade orbital, energia mecânica, propagação de sinais eletromagnéticos, controle térmico e dinâmica de lançamento. As atividades foram organizadas na análise de equações utilizadas em sistemas espaciais modernos, além da observação de aplicações computacionais voltadas para simulação orbital e estabilidade estrutural. Observou-se que o desenvolvimento de nanossatélites depende diretamente da integração entre mecânica clássica, eletromagnetismo, termodinâmica e Física Computacional. Conclui-se que os cálculos físicos representam a base fundamental para o desenvolvimento seguro e eficiente de missões espaciais de pequena escala, além de contribuírem para a divulgação científica da Física Moderna e da engenharia aeroespacial.

Palavras-chave: Nanossatélites; Mecânica Orbital; Física Computacional; Engenharia Aeroespacial; CubeSat.

INTRODUÇÃO

O avanço da engenharia espacial nas últimas décadas possibilitou o desenvolvimento de satélites miniaturizados capazes de executar missões científicas e tecnológicas com custos significativamente reduzidos. Nesse contexto, os nanossatélites ganharam destaque por sua versatilidade, acessibilidade e potencial de aplicação em diferentes áreas da ciência e tecnologia. Os nanossatélites, especialmente os modelos CubeSat, vêm sendo utilizados em monitoramento climático, telecomunicações, observação terrestre e experimentos científicos em órbita baixa (NASA, 2017). Entretanto, o desenvolvimento e lançamento desses dispositivos exigem cálculos físicos complexos relacionados à mecânica orbital, transferência de calor, propagação de sinais eletromagnéticos e dinâmica estrutural (WERTZ; LARSON, 1999).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar os principais cálculos físicos empregados no lançamento e operação de nanossatélites, destacando sua relação com a Física Moderna, a Física Computacional e a engenharia aeroespacial. A relevância do estudo está associada à crescente importância das tecnologias espaciais no desenvolvimento científico contemporâneo, além da necessidade de divulgar aplicações práticas da física em sistemas espaciais modernos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nanossatélites e Engenharia Espacial:

Os nanossatélites são dispositivos espaciais miniaturizados com massa geralmente inferior a 10 kg, desenvolvidos principalmente em plataformas padronizadas como CubeSats e PocketQubes (NASA, 2017). O crescimento desse setor está diretamente relacionado aos avanços da microeletrônica, da computação embarcada e dos sistemas miniaturizados de comunicação e controle orbital. Além disso, os nanossatélites permitem reduzir custos de desenvolvimento e lançamento, ampliando o acesso de universidades, centros de pesquisa e empresas privadas às atividades espaciais (WERTZ; LARSON, 1999).

Mecânica Orbital

A Mecânica Orbital constitui uma das principais áreas da física aplicadas ao lançamento de satélites (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). Para que um nanossatélite permaneça em órbita, é necessário atingir uma velocidade orbital suficiente para equilibrar a atração gravitacional da Terra.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

onde:

- v representa a velocidade orbital;
- G é a constante gravitacional universal;
- M corresponde à massa da Terra;
- R representa o raio terrestre;
- h é a altitude orbital.

Em órbitas baixas, típicas de nanossatélites, a velocidade orbital aproxima-se de 7,8 km/s.

Além disso, a energia mecânica orbital é dada por:

$$E = -\frac{GMm}{2r}$$

onde:

- m representa a massa do satélite (kg);
- r corresponde à distância entre o centro da Terra e o satélite (m).

A força gravitacional responsável pela manutenção da órbita pode ser descrita por:

$$F_g = \frac{GMm}{r^2}$$

O período orbital pode ser obtido pela expressão:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

Dinâmica de Lançamento

Durante o lançamento, o foguete e o nanossatélite sofrem acelerações intensas e vibrações mecânicas significativas.

A Segunda Lei de Newton é utilizada para determinar a aceleração do sistema:

$$F = ma$$

onde:

- F é a força resultante;
- m representa a massa;
- a corresponde à aceleração.

A quantidade de movimento linear do sistema pode ser descrita por:

$$p = mv$$

Além disso, a equação do foguete de Tsiolkovsky é utilizada para determinar a variação de velocidade necessária para atingir a órbita:

$$\Delta v = v_e ln\left(\frac{m_0}{m_f}\right)$$

onde:

- Δv é a variação de velocidade;
- v_e é a velocidade de exaustão dos gases;
- m_0 é a massa inicial total;
- m_f é a massa final.

Controle Térmico Espacial

No ambiente espacial, os nanossatélites enfrentam grandes variações de temperatura devido à ausência de atmosfera (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016). A transferência de calor ocorre principalmente por radiação térmica, descrita pela Lei de Stefan-Boltzmann:

$$P = \sigma A T^4$$

onde:

- P é a potência irradiada (W);
- σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5{,}67\times10^{-8}$ W $m^{-2}K^{-4}$);
- A é a área superficial (m^2);
- T é a temperatura (K).

O calor absorvido ou liberado por componentes pode ser estimado por:

$$Q = mc\Delta T$$

onde:

- Q é o calor (J);
- c é o calor específico (J kg^{-1} K^{-1});

- ΔT é a variação de temperatura (K).

A energia total do sistema térmico pode ser analisada pela Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - W$$

Telecomunicações e Propagação de Sinais

Os sistemas de comunicação dos nanossatélites utilizam princípios do eletromagnetismo e da propagação de ondas (OPPENHEIM; SCHAFER, 2013). A potência recebida por uma antena pode ser estimada pela equação de Friis:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$$

onde:

- P_r é a potência recebida (W);
- P_t é a potência transmitida (W);
- G_t e G_r são os ganhos das antenas transmissora e receptora;
- λ é o comprimento de onda (m);
- d é a distância entre as antenas (m).

A relação entre frequência e comprimento de onda é dada por:

$$c = \lambda f$$

onde:

- c é a velocidade da luz no vácuo ($3{,}00\times10^8$ m/s);
- f é a frequência (Hz).

A energia transportada pelos fótons pode ser expressa por:

$$E = hf$$

onde h é a constante de Planck ($6{,}626\times10^{-34}$ J · s).

Esses cálculos são fundamentais para garantir uma comunicação eficiente entre o satélite e as estações terrestres.

DESCRIÇÃO DA ANÁLISE

A análise dos principais cálculos físicos empregados no lançamento e operação orbital de nanossatélites modernos, iniciando-se com um estudo sobre os fundamentos da Mecânica Orbital, incluindo velocidade orbital, energia mecânica e estabilidade gravitacional. Posteriormente, desenvolveu-se a análise de sistemas de comunicação espacial, observando cálculos relacionados à propagação de sinais eletromagnéticos e transmissão de dados em órbita baixa, além do estudo dos sistemas térmicos utilizados em satélites miniaturizados, considerando os efeitos da radiação solar e da emissão térmica no ambiente espacial. Foram também observadas aplicações de Física Computacional em simulações orbitais e modelagem matemática de trajetórias espaciais, empregando recursos como equações de mecânica orbital, modelos computacionais, simulações matemáticas, documentação técnica aeroespacial e estudos de telecomunicações orbitais. Durante o processo, destacaram-se desafios relacionados ao controle térmico, estabilidade estrutural e limitação energética dos nanossatélites.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados demonstraram que o desenvolvimento de nanossatélites depende diretamente da integração entre diferentes áreas da física e da engenharia, observando-se que cálculos relacionados à velocidade orbital, propagação de sinais e controle térmico são fundamentais para garantir estabilidade e funcionamento adequado das missões espaciais. Além disso, verificou-se que a Física Computacional possui papel essencial na simulação de trajetórias orbitais e análise estrutural dos sistemas espaciais modernos. A experiência também evidenciou o potencial pedagógico das tecnologias espaciais para divulgação científica, permitindo relacionar conceitos de Mecânica Clássica, Física Moderna, Termodinâmica, Eletromagnetismo e Computação científica. Entretanto, identificaram-se limitações relacionadas à complexidade dos sistemas espaciais e aos altos custos associados aos lançamentos orbitais. Mesmo assim, os nanossatélites continuam representando uma das áreas mais promissoras da engenharia aeroespacial contemporânea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência demonstrou que os cálculos físicos desempenham papel fundamental no desenvolvimento e lançamento de nanossatélites modernos, concluindo-se que áreas como Mecânica Orbital, Termodinâmica, Eletromagnetismo e Física Computacional são indispensáveis para garantir estabilidade, comunicação e eficiência energética em missões espaciais de pequena escala. Além disso, o trabalho evidencia a importância interdisciplinar da física aplicada ao setor aeroespacial, contribuindo para a divulgação científica e para a compreensão prática de conceitos da Física Moderna. Sugere-se que estudos futuros aprofundem aplicações relacionadas à inteligência artificial embarcada, sistemas autônomos de navegação orbital e simulações computacionais avançadas para otimização de missões espaciais.

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

NASA. CubeSat 101: Basic Concepts and Processes for First-Time CubeSat Developers. Washington: NASA, 2017.

OPPENHEIM, Alan V.; SCHAFER, Ronald W. Processamento de Sinais em Tempo Discreto. São Paulo: Pearson, 2013.

WERTZ, James R.; LARSON, Wiley J. Space Mission Analysis and Design. New York: Microcosm Press, 1999.