

Modelagem e Análise de Vibrações Aleatórias por Elementos Finitos do CurieSAT v2 via Software

Ricardo Barroso Lopes*, Christopher Cerqueira†, Airton Nabarrete‡,

XXIX Encontro de Iniciação Científica do ITA – XXIX ENCITA/2024

Resumo

O presente artigo descreve a modelagem por elementos finitos do nanossatélite CurieSAT v2, projeto da iniciativa ITACUBE dos alunos do ITA. O estudo tem como objetivo avaliar, por meio do software Ansys Workbench, a integridade e a confiança da estrutura do satélite quando este é submetido a vibrações aleatórias, provenientes de um eventual lançamento por foguete. A análise foi feita seguindo-se as etapas de simplificação do modelo, geração da malha, aplicação das condições de contorno, análise modal e, por fim, análise de vibrações aleatórias. O trabalho proporcionou o primeiro modelo da estrutura do satélite, necessitando-se, ainda, de verificação experimental em laboratório para um novo ajuste.

Palavras-chave: Elementos Finitos. Satélite. Vibrações Aleatórias. Análise Modal.

1 Introdução

É conveniente para a ITACUBE aproveitar a estrutura do CurieSAT v2, originalmente lançado por balão, para outras missões mais complexas com lançamento por foguete. Durante o lançamento, o satélite fica exposto a diferentes carregamentos que podem provocar deformações plásticas e falhas, que podem comprometer a sua integridade mecânica estrutural (OLIVEIRA, 2022). Portanto, é de extrema relevância o estudo do comportamento do satélite quando este é submetido a esses carregamentos, em especial, às vibrações.

Vibrações aleatórias são sinais de vibração que possuem características estatísticas aleatórias, ou seja, cujas amplitudes e frequências variam de maneira imprevisível ao longo do tempo. Sendo assim, trata-se de um movimento não determinístico, de natureza puramente estatística. Apesar da natureza aleatória, será adotada, como de costume para este tipo de problema, uma distribuição gaussiana para o sinal de vibração

(NEWLAND, 2012). Por ser a primeira análise estrutural do CurieSAT v2, o objetivo maior é construir um modelo computacional inicial para posterior verificação experimental e ajuste. Dentro desse modelo inicial, o trabalho tem como objetivos determinar os mais relevantes modos normais de vibração do satélite, os maiores deslocamentos e as tensões equivalentes.

2 Material e Métodos

O software utilizado para a modelagem e simulação da estrutura do CurieSAT v2 foi o Ansys Workbench. Já o passo a passo do método utilizado foi listado: **1. Simplificação da estrutura.** O modelo 3D original da estrutura do satélite, feita de PLA, foi simplificado para não restringir demais o sistema e para reduzir o tempo de execução das análises. Foi adicionado um ponto de massa de $0,5\text{ kg}$ no centro da estrutura para compensar a simplificação feita. **2. Geração da malha.** Foi gerada uma malha com 31313 nós e 10819 elementos, utilizando os métodos *Multizone* e *Cartesian*, e sua qualidade foi verificada pelo método *Element Quality*. **3. Aplicação das condições de contorno.** Um vez que não foi especificada a plataforma de lançamento, foi considerado a condição de apoio fixo na base da estrutura por motivos de simplificação. Também por não ser especificado o tipo de foguete, considerou-se entrada de função PSD (*Power Spectral Density*) pelo padrão GEVS da NASA. **4. Análise modal.** Foram gerados os resultados dos principais modos normais de vibração. **5. Análise de vibrações aleatórias.** Foram gerados os resultados dos deslocamentos e das tensões equivalentes.

3 Resultados e Discussão

3.1 Simplificação da Estrutura

A simplificação do modelo da estrutura do satélite foi exposta na Fig. 1. Durante esse processo, omitiu-se os parafusos, os espaçadores, os furos, as placas de PCB, a tampa superior, os componentes eletrônicos e as placas de isolamento térmico, permanecendo apenas a estrutura de PLA externa.

*Instituto Tecnológico de Aeronáutica, bolsista PICV-CNPq, ricardo.lopes.8811@ga.ita.br.

†Instituto Tecnológico de Aeronáutica, orientador, christopher.cerqueira@gp.ita.br

‡Instituto Tecnológico de Aeronáutica, coorientador, airton.nabarrete@gp.ita.br

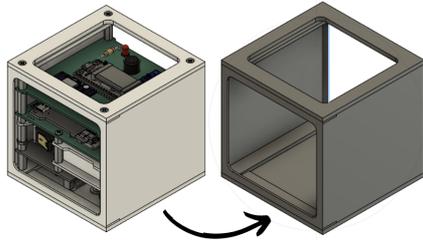


Figura 1 – Simplificação da estrutura.

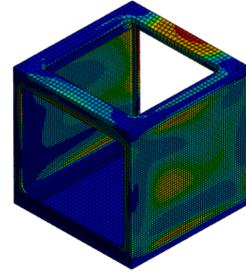


Figura 3 – Tensões equivalentes.

3.2 Análise Modal

A determinação das frequências naturais são importantes durante a fase de projeto da estrutura de um satélite que eventualmente passará pelas condições de carregamento dinâmico durante o futuro lançamento (JUNIOR; NABARRETE, 2012). Os valores calculados das frequências dos principais modos, com base nas razões de massa efetiva, estão expostas na Tab. 1.

Tabela 1 – Frequências e direções dos principais modos normais de vibração.

Modo	Frequência [Hz]	Direção
1	98,73	Lateral (R_z)
5	487,46	Torcional (R_y)
6	549,59	Torcional (R_y)

A maioria das grandes amplitude de forças em foguetes ocorre abaixo dos 100 Hz (OLIVEIRA, 2022). No entanto, o primeiro modo calculado pelo software está abaixo desse valor, o que pode fazer com que a estrutura entre em ressonância. A exemplo da Fig. 2, esse fenômeno pode fazer com que os parafusos se deformem lateralmente e desgastem os furos por onde eles passam, ocasionando folgas ou até o rompimento do material nesses pontos.

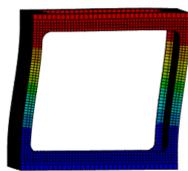


Figura 2 – Configuração deformada do primeiro modo.

3.3 Análise de Vibrações Aleatórias

A partir da entrada de PSD pelo padrão GEVS da NASA, foi possível a obtenção das tensões equivalentes e dos deslocamentos em cada ponto da estrutura, conforme as Figs. 3 e 4. Uma vez que o sinal de entrada é de natureza estatística, os resultados encontrados também são de natureza estatística, portanto, a configuração deformada não está disponível. Sendo assim, a tensão máxima, calculada em 7,22 MPa, significa que, para um fator de 3σ , a estrutura tem uma probabilidade de 99,73% de possuir tensões equivalentes inferiores a 7,22

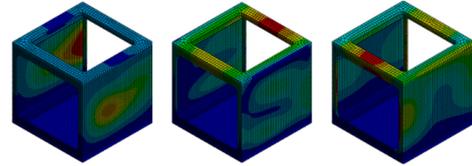


Figura 4 – Deslocamentos nos eixos x, y e z.

MPa. O mesmo vale para os deslocamentos, em que os valores máximos foram calculados em $u_{max} = 0,23$ mm, $v_{max} = 0,20$ mm e $w_{max} = 0,03$ mm. Diante dos resultados encontrados, nota-se uma contribuição maior dos deslocamentos nos eixos x e y. Além disso, nota-se que tanto os focos de tensão quanto os maiores deslocamentos estão localizados nas paredes laterais e nos suportes da tampa superior, regiões que precisarão de uma maior atenção nos futuros testes de vibração.

4 Conclusões e Recomendações

Este trabalho atingiu os objetivos de construir um modelo computacional inicial da estrutura do CurieSAT v2 bem como a determinação dos principais modos normais de vibração, dos maiores deslocamentos e das tensões equivalentes. Como este é um modelo inicial, recomenda-se a verificação dos resultados em laboratório para posterior ajuste do modelo, em que é possível variar uma série de parâmetros como o ponto de massa, constantes físicas e a entrada PSD.

5 Agradecimentos

Agradeço ao prof. Christopher Cerqueira, ao prof. Ailton Nabarrete, à ITACUBE e, por fim, ao CNPq por todo o apoio prestado para a elaboração deste trabalho.

Referências

- JUNIOR, E.; NABARRETE, A. Análises dinâmicas da estrutura preliminar do microsatélite itasat-1. *ABCM*, 2012.
- NEWLAND, D. E. An introduction to random vibrations, spectral wavelet analysis. *Courier Corporation*, 2012.
- OLIVEIRA, P. D. S. *Análise de Vibrações Aleatórias em uma Estrutura de Nanosatélite CubeSat*. [S.l.]: UFRJ, 2022.