



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE–MCTIC
Relatório Final de Atividades



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**ANÁLISE MODAL, ESTUDO DE VIBRAÇÕES EM UM
NANOSATELITE - UMA APLICAÇÃO AO PROJETO
NANOSATC-BR2**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Viktor Leon Bizarro Dutra
(UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTIC)
E-mail: dutra.aero@gmail.com

Dr. Nelson Jorge Schuch
Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE – MCTIC
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCTIC
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Junho de 2016



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título:

**ANÁLISE MODAL, ESTUDO DE VIBRAÇÕES EM UM
NANOSATELITE - UMA APLICAÇÃO AO PROJETO
NANOSATC-BR2**

Processo:124355/2015-3

Aluno Bolsista no período de Agosto/15 a Julho/16

Vikto Leon Bizarro Dutra

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE – MCTIC

Co-Orientador:

Dr. Eng. Otávio S. C. Durão

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTIC

Colaboradores:

Artur Gustavo Slongo

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial da UFSM

Alex Muller

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Guilherme Paul Jaenisch

Bacharel em Engenharia Mecânica pela UFSM

Lorenzo Quevedo Mantovani

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial da UFSM

Rodrigo Passos Marques

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica da UFSM

Tiago Travi Farias

Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção da UFSM



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE–MCTIC
Relatório Final de Atividades

Locais de Trabalho/Execução do Projeto:

- Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTIC
 - Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas - LAMEC/CRS/INPE – MCTIC

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria e Convênio: INPE/MCTIC – UFSM, pelo Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



AGRADECIMENTOS

Agradeço à equipe de colaboradores que ajudaram de alguma forma a desenvolver este projeto de pesquisa. Faço um agradecimento especial ao meu orientador e mentor Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTIC, que com muita disposição deu suporte e apoio, acreditou em meu potencial e me garantiu essa grande esplendorosa oportunidade de participar do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.

Agradeço ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/INPE – CNPq e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, bem como ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTIC pela aprovação do Projeto de Pesquisa, o qual me possibilitou a começar no ramo da pesquisa, Iniciação Científica, Tecnológica & Inovação, com um crescimento não só profissional, mas também pessoal.

Aos servidores do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e da Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio e atenção que sempre me foram cedidos.

Aos amigos, companheiros e familiares, de quem muito dependo e que sempre deram muito apoio e para investir nos meus estudos e atividades, minhas decisões e meu futuro.



Estudante

Viktor Leon Bizarro Dutra

Endereço para acessar este espelho: dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/9908740690415963

Dados Gerais

Nome em citações bibliográficas: Dutra, Viktor Leon B.; DUTRA, VIKTOR L. B.

Nível de Treinamento

Áreas de atuação:

- Engenharia Aeroespacial

Bolsista CNPq:

- IC

Última atualização do Currículo Lattes: 18/05/2016

Homepage:

Grupos de pesquisa em que atua

| Nome do grupo | Instituição |
|---|-------------|
| Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites | INPE |

Linhas de pesquisa em que atua

| Linha de pesquisa | Nome do grupo |
|--|---|
| DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR | Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites |

Orientadores participantes de grupos de pesquisa

| Orientador | Grupo de pesquisa |
|---------------------|---|
| Nelson Jorge Schuch | Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites |



RESUMO

Este Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq/INPE apresenta os estudos e atividades realizadas e desenvolvidas pelo bolsista **Viktor Leon Bizarro Dutra**, no período de Agosto de 2015 à Julho de 2016, referentes ao Projeto “ANÁLISE MODAL, ESTUDO DE VIBRAÇÕES DE LANÇAMENTO EM UM NANOSATELITE - UMA APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSATC-BR2”.

O principal objetivo do presente trabalho é apresentar os resultados de análises de modos de vibração relacionados a estrutura rígida de um CubeSat 2U, aplicando ao Projeto NANOSATC-BR2. Foram aplicados conceitos de Vibrações Mecânicas e Mecânica de Sólidos, além dos softwares para construção do modelo estrutural simplificado do projeto NANOSATC-BR2 e a interpretação de dados colhidos para o desenvolvimento do projeto.

Foi realizada também uma revisão bibliográfica para caracterizar termos técnicos e dar suporte ao conhecimento do aluno, uma vez que o projeto foi iniciado sem um suporte técnico. Os dados dessa simulação matemática devem ser corroborados em um teste físico no Modelo de Engenharia no período de Integração e Testes do satélite.



SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE IMAGENS | 8 |
| LISTA DE TABELAS..... | 8 |
| INTRODUÇÃO | 10 |
| CAPÍTULO 1..... | 11 |
| PROGRAMA NANOSATC-BR, DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS | 11 |
| 1 - INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 –Projeto NANOSATC-BR1 | 11 |
| 1.2 – Projeto NANOSATC-BR2 | 12 |
| CAPÍTULO 2..... | 14 |
| TESTES DE VIBRAÇÕES REALIZADOS NO NANOSSATÉLITE NCBR-1..... | 14 |
| 2 INTRODUÇÃO | 14 |
| 2.1 <i>Objetivos</i> | 15 |
| 2.2 <i>Resultados</i> | 15 |
| CAPÍTULO 3..... | 17 |
| ANÁLISE MODAL NANOSATC-BR2 | 17 |
| 3 INTRODUÇÃO | 17 |
| 3.1 <i>Resultados da Analise Modal para o NCBR-2</i> | 17 |
| CAPÍTULO 4..... | 19 |
| 4 ATIVIDADES RELEVANTES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA..... | 19 |
| CAPÍTULO 5..... | 20 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 20 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 21 |



ÍNDICE DE IMAGENS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: CHECAGEM FUNCIONAL E OPERACIONAL DO NCBR1 | 12 |
| FIGURA 2: MODELO DE ENGENHARIA DA PLATAFORMA 2U DO NANOSATC-BR2 FABRICADA PELA ISIS | 13 |
| FIGURA 3 - TESTE DE MESA DO NCBR1 NO EQUIPAMENTO <i>SHAKE</i> | 14 |
| FIGURA 4 REPRESENTAÇÃO DE UM P-POD ^[6] | 15 |
| FIGURA 5 – RESULTADO DA ANÁLISE DE ALGUNS MODOS DA ESTRUTURA SIMPLIFICADA DO NCBR2 | 18 |



ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| TABELA 1 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TESTE DE VIBRAÇÃO SENOIDAL.... | 16 |
| TABELA 2 – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO TESTE DE VIBRAÇÃO RANDÔMICA..... | 16 |
| TABELA 3 – DADOS OBTIDOS NO <i>SOFTWARE</i> ANSYS | 18 |



INTRODUÇÃO

Este Relatório descreve as atividades realizadas no Projeto **“ANÁLISE MODAL, ESTUDO DE VIBRAÇÕES EM UM NANOSATELITE - UMA APLICAÇÃO AO PROJETO NANOSATC-BR2”**, (Processo nº124355/2015-3), com vigência de Agosto de 2015 até Julho de 2016. As atividades foram realizadas por Viktor Leon Bizarro Dutra, acadêmico do curso de Engenharia Aeroespacial, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista no Programa PIBIC/INPE – CNPq no CRS/INPE-MCTIC.

O Programa "NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats" tem dois grandes projetos vigentes: NANOSATC-BR1 (NCBR1) e NANOSATC-BR2 (NCBR2). O objetivo fundamental desses projetos é uma missão espacial baseada na aquisição de nanossatélites, CubeSats, e sistemas de hardware e software, cujo fornecedor é a empresa holandesa ISL/ISIS, com o intuito de capacitar Recursos Humanos na área Espacial. O CubeSat do Projeto NCBR1, lançado em 2014, obteve sucesso em todas as missões planejadas, enquanto o Projeto NCBR2 aguarda para realizar testes e após ser lançado, com expectativa em 2017.

O Plano de Pesquisa teve seu enfoque principal no Projeto NANOSATC-BR2 e estipulou metas até então pouco aventuradas, mas que poderiam ser muito bem trabalhadas ao longo do processo. É relevante ressaltar que o bolsista determinou o projeto e estipulou metas, mesmo sabendo da sua capacidade de tratar o tema sem os conceitos básicos correspondentes aos 3º, 4º e 5º períodos do Curso de Engenharia Aeroespacial na UFSM

Descritos a seguir estão os 5 capítulos em que o relatório é apresentado.:

O Capítulo 1 aborda o Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, explicando seus objetivos de realização e sua importância a nível científico e acadêmico e apresenta os projetos NCBR1 e NCBR2;

O Capítulo 2 apresenta um panorama dos testes de vibração realizados no nanossatélite NCBR1, os objetivos e resultados deste.

O Capítulo 3 contempla os dados obtidos para um CubeSat 2U utilizando a modelagem tridimensional e a simulação computacional.

O Capítulo 4 descreve as principais atividades desenvolvidas ao longo do período;

O Capítulo 5 abrange considerações finais sobre o projeto realizado e desenvolvido;



CAPÍTULO 1

PROGRAMA NANOSATC-BR, DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS

1 - Introdução

O Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, é resultado de uma parceria entre o INPE/MCTIC e a UFSM e é desenvolvida no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do INPE. O Programa consiste em adquirir um nanossatélite, padrão CubeSat (100mm de aresta e máximo 1,33kg por unidade – denominada *U*), tendo como objetivo principais:

- A Capacitação de Recursos Humanos – capacitar estudantes de graduação com instrumentação espacial, para que possam desenvolver pesquisas e estudos referentes a missão (desde planejamento, testes, e lançamento ao monitoramento e coleta de dados);
- Capacitação Tecnológica das Instituições parceiras do Programa, as quais podem ter desenvolvimentos nas áreas de: ciências, engenharias e tecnologia;
- Monitoramento e estudos na parte da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS e do Eletrojato Ionosférico Equatorial;

Atualmente o Programa conta com dois grandes Projetos principais: Projeto NCBR1 e NCBR2.

1.1 – Projeto NANOSATC-BR1

O Projeto NANOSATC-BR1 inicia com a aquisição de duas plataformas de nanossatélite, do padrão CubeSat – 1U, e que com o sucesso de seu lançamento e operação em órbita se tornou no primeiro Nanossatélite Científico Brasileiro – NCBR1. O NCBR1 foi lançado em junho de 2014 e ainda está em órbita, sendo o primeiro nanossatélite brasileiro lançado com sucesso e a transmitir informações científicas coletadas em órbita espacial. Os alunos de graduação da UFSM participaram da parte de integração e testes que ocorrem na sede do INPE, no Laboratório de Integração e Testes – LIT, Figura 1.

O Projeto conta com duas missões:



- Missão Científica: Coletar dados da AMAS, utilizando o magnetômetro XEN1210, cujo objetivo é coletar dados da região magnética terrestre na faixa que se estende dos Andes ao litoral Brasileiro - região da AMAS.

- Missão Tecnológica: Validação de placas de Circuitos Integrados (CIs), são eles: *Driver on/off*, desenvolvido pela Santa Maria Design House – SMDH e uma placa FPGA, desenvolvida pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

O Projeto foi um sucesso, atendendo a sua Missão de forma efetiva e no prazo proposto.

O NCBR1, após sofrer avarias devido explosões solares, continua transmitindo informações em modo. Sua Missão foi dada por encerrada em setembro de 2014, mas continua operacional coletando e transmitindo dados científicos e tecnológicos.



Figura 1: Checagem funcional e operacional do NCBR1

1.2 – Projeto NANOSATC-BR2

O Projeto NANOSATC-BR2 está em fase final, esperando pela realização dos testes para poder ser validado operacionalmente e funcionalmente e para que possa ser encaixado em alguma janela de lançamento em breve. O NCBR2 é o segundo nanossatélite do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats e tem o dobro do volume do NCBR1, sendo um CubeSat 2U, Figura 2.

O principal objetivo do NCBR2 é a utilização de uma sonda de Langmuir para captação de dados da região da Ionosfera, onde há grande quantidade matéria na forma de



plasma. O que incentivou tal missão foi a necessidade de parâmetros da região ionosférica da Atmosfera Terrestre para estudar a dinâmica de fenômenos que afetam diretamente os sistemas de comunicação que utilizam esta região como meio de propagação. As cargas úteis para a realização das missões do NCBR2 são:

- Científica: Sonda de Langmuir e dois magnetômetros XEN 1210 (um interno e outro externo)

- Tecnológica: 2 FPGAs, 1 CI eo primeiro Sistema de Controle de Atitude de um satélite com Tripla Redundância.desenvolvido inteiramente no Brasil

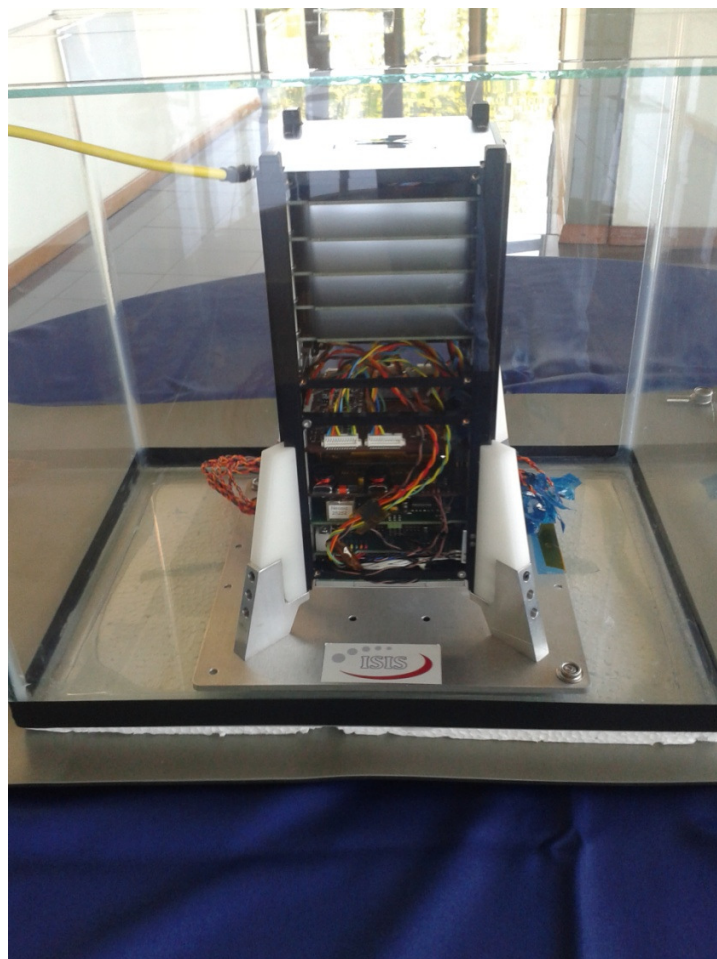


Figura 2: Modelo de Engenharia da plataforma 2U do NANOSATC-BR2 fabricada pela ISIS



CAPÍTULO 2

TESTES DE VIBRAÇÕES REALIZADOS NO NANOSSATÉLITE NCBR-1

2 Introdução

Durante as etapas de AIT (*Assembly, Integration and Tests*) que precederam o lançamento do nanossatélite NCBR1 foram realizados testes estruturais para garantir que a estrutura rígida do corpo - plataforma - do satélite não se deformasse enquanto o veículo lançador o enviava para sua posição em órbita, Figura 3. Por conta da combustão instável do combustível líquido na câmara, um veículo lançador sofre violentas vibrações durante o lançamento que são amortecidas por amortecedores mecânicos.

Os testes foram realizados no Laboratório de Integração e Testes do INPE (LIT/INPE-MCTIC), em São José dos Campos, SP, em um equipamento específico para avaliar as condições da estrutura durante excitação senoidal e randômica com acelerômetros posicionados em três eixos, a fim de coletar o máximo de dados possível.

Os testes tiveram como objetivo corroborar os dados fornecidos pela empresa fornecedora da estrutura - plataforma - do nanossatélite.

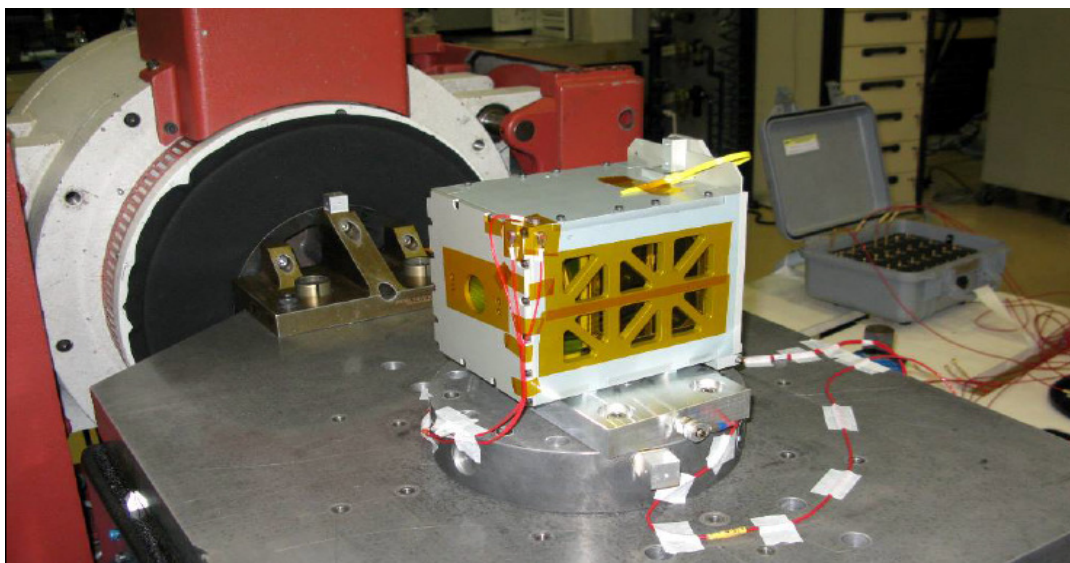


Figura 3 - Teste de mesa do NCBR1 no equipamento *Shake*

2.1 Objetivos

O objetivo do teste de vibração é simular as condições adversas às quais o NCBR1 ficaria exposto durante o lançamento e garantir que a estrutura do satélite sobreviva e não sofra nenhum tipo de deformação, como atestado pela empresa provedora da estrutura. O veículo lançador utilizado como base para este procedimento foi o DNEPR.

Para este teste, presume-se que o satélite é limitado no espaço de interface com o veículo de lançamento, como na realidade é, pelo uso de um mecanismo de base chamado P-POD (*Poly-Picosatellite Orbital Deployer*), Figura 4. Este mecanismo consiste em uma caixa retangular com capacidade para três CubeSats padrão 1U e com uma plataforma móvel e molas. Durante o desacoplamento, o veículo lançador envia um sinal eletrônico que aciona a porta e as molas de torção que lançarão o CubeSat. O P-POD é construído em alumínio anodizado e por ser uma estrutura complexa e de alto custo, durante os testes é utilizado um modelo simplificado, o TestPOD, onde a função é representar a interação do P-POD e o CubeSat.^[6]

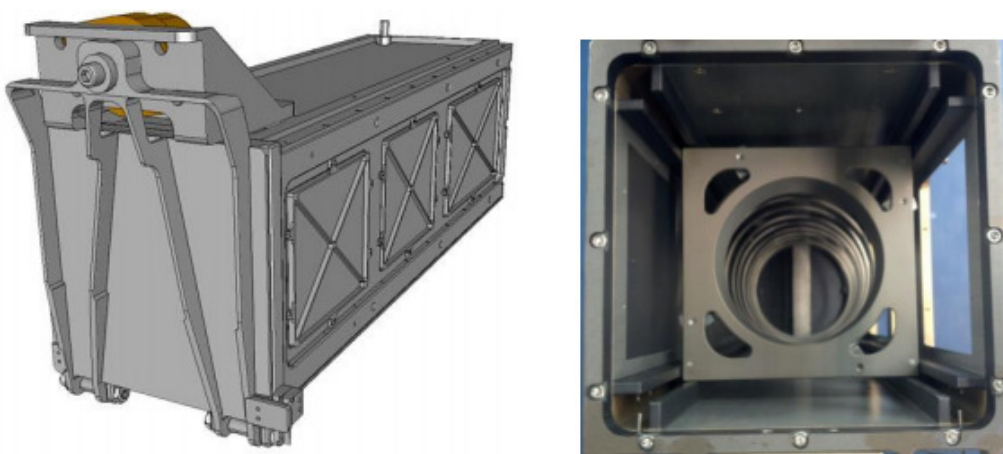


Figura 4 Representação de um P-POD ^[6]

2.2 Resultados

Os testes no NCBR1 serviram para certificar a capacidade garantida pela empresa fornecedora do produto de que a estrutura do nanossatélite suportaria bem às adversidades do lançamento.

Foram realizados testes de vibração senoidal e randômica, cujas especificações e resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2..



Tabela 1 – Especificações Técnicas do teste de Vibração Senoidal
Teste de Vibração Senoidal:^[4]

| | |
|---------------------------------------|---|
| <i>Norma Aplicada</i> | <i>Enverionmental Levels ISILaunch07, parágrafo 4;</i> ^[3] |
| <i>Método de teste</i> | <i>Teste de varrimento senoidal a nível de qualificação;</i> |
| <i>Faixa de frequência</i> | <i>5Hz – 20Hz;</i> |
| <i>Nível de vibração:</i> | |
| <i>5 – 10Hz // 0.5g_n;</i> | |
| <i>10 – 15Hz // 1.0g_n;</i> | |
| <i>15 – 20Hz // 0.5g_n;</i> | |
| <i>Velocidade de varredura</i> | <i>4oct/min;</i> |
| <i>Total de eixos</i> | <i>03 (X, Y, Z)</i> |

Tabela 2 – Especificações Técnicas do Teste de Vibração Randômica
Teste de Vibração Randômica:^[4]

| | |
|----------------------------------|---|
| <i>Norma Aplicada</i> | <i>Enverionmental Levels ISILaunch07, parágrafo 5;</i> ^[3] |
| <i>Método de teste</i> | <i>Teste de varrimento randômico a nível de qualificação;</i> |
| <i>Faixa de Frequência</i> | <i>20Hz – 2000 Hz;</i> |
| <i>Nível de vibração</i> | <i>20Hz // 0.007 g²/Hz</i> |
| | <i>80Hz // 0.007 g²/Hz</i> |
| | <i>160Hz // 0.022 g²/Hz</i> |
| | <i>320Hz // 0.035 g²/Hz</i> |
| | <i>640Hz // 0.035 g²/Hz</i> |
| | <i>1280Hz // 0.017 g²/Hz</i> |
| | <i>2000Hz // 0.005 g²/Hz</i> |
| <i>Nível Global</i> | <i>6.5 Grms;</i> |
| <i>Duração dos testes</i> | <i>35 seg/eixo;</i> |
| <i>Eixos testados</i> | <i>3 (X,Y,Z);</i> |

Os resultados dos testes de vibração do NanoSatC-BR1 são apresentados no documento *LIT02-CRS-TR-001 CUBESAT NANOSATC-BR1 VIBRATIONAL TEST REPORT*^[4] do Laboratório de Integração e Testes do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os resultados são apresentados como satisfatórios para o cumprimento da Missão e atestam que para as frequências de lançamento do veículo lançador DNEPR não há coincidência com as frequências naturais do nanossatélite NCBR-1.



CAPÍTULO 3

ANÁLISE MODAL NANOSATC-BR2

3 Introdução

Análise Modal é o estudo de propriedades dinâmicas sob excitação por vibrações. É também o conjunto de dados obtidos a partir de excitações em modos normais de vibração determinado por frequências ressonantes. Cada estrutura possui um conjunto único de frequências ressonantes, chamadas fases. Quando uma estrutura é excitada numa de suas frequências naturais entra em ressonância e os resultados podem ser danos em larga escala. [2]

Neste estudo, a estrutura do satélite é projetada e modelada para atender às exigências de um modelo de engenharia qualificado. O modelo simples é construído visando atender a todos os parâmetros de teste sob dadas condições de carga. Vários aspectos são levados em consideração na concepção da estrutura, tais como, o material que constitui a estrutura e o formato vazado, sem considerar os subsistemas e os painéis solares. A estrutura é composta por uma liga de alumínio 6063-T6 e aplicada aqui para a construção do esqueleto de base do sistema. Este material é leve em peso e tem uma elevada rigidez para resistir a condições de carga. A configuração cúbica selecionada tem dimensão externa simples (100 × 100×200) mm, excluindo os painéis solares, a sonda de Langmuir e as antenas.

3.1 Resultados da Análise Modal para o NCBR-2

A estrutura é modelada e ensaiada no software de modelagem ANSYS. No software a estrutura é montada em uma malha de 9642 nós para a análise estrutural do sistema. Estas análises são simplificadas, assumindo que os subsistemas são omitidos e todos os orifícios adicionais sobre a estrutura, por várias razões, são negligenciadas.

Como citado anteriormente, os resultados para uma análise de modos de vibração são dados pela frequência natural do objeto. Na Figura 5 são apresentados os resultados do estudo dos modos de vibração do NanoSatC-BR2; Cada modo corresponde a uma frequência e uma deformação estrutural.

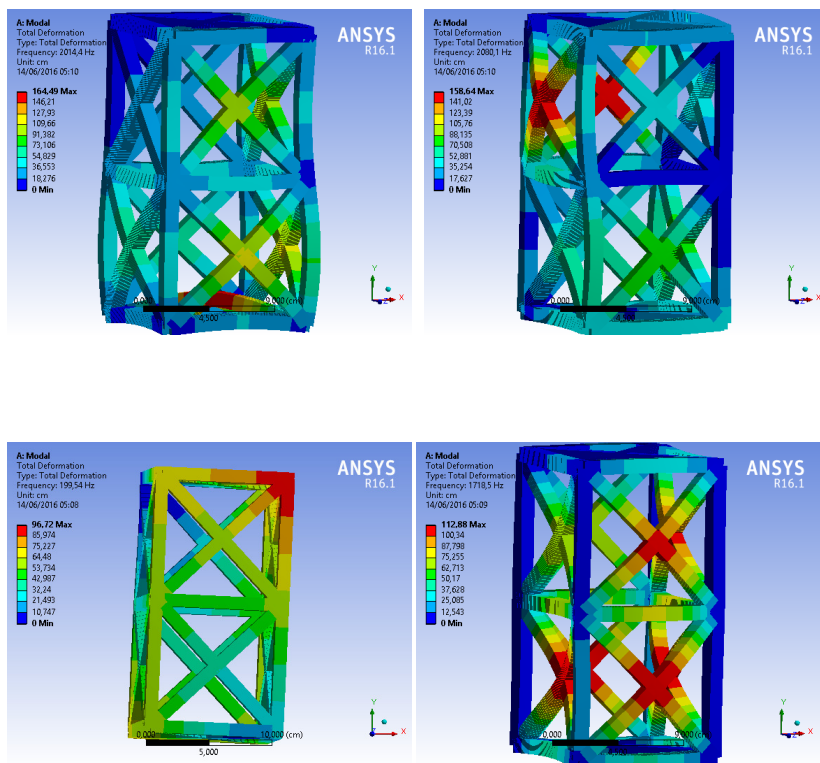


Figura 5 – Resultado da análise de alguns modos da estrutura simplificada do NCBR2

Para os 6 modos naturais iniciais do objeto foram obtidos resultados relacionando-os com a frequência em Hz de cada, ver Tabela 3.

| Modo | Frequência [Hz] |
|------|-----------------|
| 1 | 97,84 |
| 2 | 97,93 |
| 3 | 199,54 |
| 4 | 1440,1 |
| 5 | 1718,5 |
| 6 | 1936,4 |

Tabela 3 – Dados obtidos no software Ansys

Desta forma sabe-se que quando o objeto atingir tais frequências em suas posições relativas pode haver ruptura da estrutura.



CAPÍTULO 4

4 Atividades relevantes desenvolvidas pelo bolsista

Entre agosto de 2015 e julho de 2016, período de vigência da bolsa PIBIC o aluno realizou, dentro outras atividades:

- Introdução ao conceito de Vibrações Mecânicas e Modos de Vibração, assunto avançado a ser abordado apenas em períodos a frente no curso de Engenharia Aeroespacial da UFSM.

- Com o colaborador Rodrigo Passos Marques, graduando do curso de Engenharia Mecânica da UFSM, foi elaborado, para a *2nd IAA Latin American CubeSat Workshop*, realizada em Florianópolis – SC, o trabalho técnico-científico intitulado *Study of Rigid Structure, Vibration and Mechanical Modeling for the NANOSATCBR-2: Modal Analysis and 3D Printing Considerations* que foi apresentado na forma de pôster.

- O trabalho *Study of Rigid Structure, Vibration and Mechanical Modeling for the NANOSATCBR-2: Modal Analysis and 3D Printing Considerations* também foi apresentado no *I IEEE UFSM Workshop* do Centro de Tecnologia da UFSM, em Santa Maria – RS, no dia 10-06-2016.



CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Infelizmente há um déficit de conteúdos básicos para a complementação do trabalho, uma vez que estes são característicos de períodos mais avançados do curso de Engenharia Aeroespacial na UFSM. No entanto o bolsista conseguiu trazer, de forma simplificada, um entendimento geral dos conceitos de vibrações mecânicas que certamente servirão em outros momentos da sua carreira acadêmica e profissional. Espera-se que os dados dos testes realizados no NCBR-2 coincidam com os obtidos pelo bolsista durante o período de vigência da bolsa. Os estudos e revisões bibliográficas foram realizados no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas e na biblioteca setorial do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do INPE/MCTIC.

O bolsista aproveitou o tempo de atividades da bolsa e pode ter um desenvolvimento tanto profissional como pessoal muito relevantes, sempre lembrando o quanto é importante e relevante a capacitação de Recursos Humanos, um dos principais objetivos do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asif Israr, “**Vibration and Modal Analysis of Low Earth Orbit Satellite,**” Shock and Vibration, vol. 2014, Article ID 740102, 8 pages, 2014.
- [2] Suresh, K., Jayaraman, K., Baskar, V., and Ilangovan, S., “**Free Vibration Analysis of Micro-Satellite Structure,**” SAE Technical Paper 2004-01-3131, 2004,
- [3] ISL.ISILaunch07.EL – Environment Levels Auxiliary Payloads ISILaunch07 – Innovative Solutions in Space
- [4] LIT02 – CRS – TR – 001, NCBR-1 Vibrational Test Report. Versão 1 de 02 de Junho de 2014.
- [5] ISL.ISILaunch09.EL – Environment Levels Auxiliary Payloads ISILaunch09 – Innovative Solutions in Space
- [6] Jonathan Brown, Riki Munakata, “**Dnepr 2 Satellite Identification and the Mk.III P-POD,**” CubeSat Developers' Workshop, San Luis Obispo, CA, USA, 09 de Abril de 2008
- [7] J. Puig-Suari, C. Turner, W. Ahlgren, “**Development of the Standard CubeSat Deployer and a CubeSat Class PicoSatellite,**” IEEE, 2001
- [8] André Oliveira, Walter Jesus Casas, “**Análise modal e da resposta em frequências de estruturas acopladas e desacopladas**”, GMAp, Porto Alegre, Brasil. 22 de Setembro de 2011