



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
60 ANOS

**NANOSATC-BR1 – APRIMORAMENTO DO PROJETO MECÂNICO
ESTRUTURAL & TESTES AMBIENTAIS DE SATÉLITES DA CLASSE
CUBESAT**

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

PROCESSO: CNPq Nº 154655/2011-2

Maurício Ricardo Balestrin
(UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)
E-mail: balestrinmr@gmail.com

Antonio Claret Palerosi
Orientador
Laboratório de Integração e Testes
LIT/INPE – MCTI
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCTI
E-mail: claret@lit.inpe.br

Santa Maria, Julho de 2012.



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO:

Título:

**NANOSATC-BR1 – APRIMORAMENTO DO PROJETO MECÂNICO
ESTRUTURAL & TESTES AMBIENTAIS DE SATÉLITES DA CLASSE
CUBESAT**

PROCESSO: CNPq Nº 154655/2011-2

Aluno Bolsista no período de agosto/2011 a Julho/2012:

Maurício Ricardo Balestrin

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Antonio Claret Palerosi

Laboratório de Integração e Testes - LIT/INPE – MCTI

Co-Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCTI

Colaboradores:

Eng. Lucas L. Costa

Mestrando INPE-MCTI

Eng. Rubens Z. G. Bohrer

Mestrando ITA/DCTA

Eng. Eduardo E. Bürger

Mestrando INPE-MCTI

Fernando Landerdhal Alves

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UFSM



Tális Piovesan

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica – UFSM

Iago Camargo Silveira

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UFSM

Guilherme Paul Jaenisch

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UFSM

Lucas Lourencena Caldas Franke

Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica – UFSM

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

- Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas
LAMEC/CRS/CCR/INPE – MCTI.
- Laboratório de Integração e Teste
LIT/INPE/MCTI.

Trabalho desenvolvido no âmbito do Convênio INPE – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Estudante
Maurício Ricardo Balestrin



[Link para Currículo Lattes](#)

[Dados gerais](#)

[Indicadores de produção C, T & A](#)

Dados gerais

Identificação do estudante

Nome: Maurício Ricardo Balestrin

Nível de treinamento: Graduação

Currículo Lattes: 18/06/2012 13:06

E-mail:

Homepage:

Grupos de pesquisa que atua

[Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites](#) - INPE (estudante)

Linhas de pesquisa que atua

[DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR](#)

Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Nelson Jorge Schuch](#)

Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2009 a 2012

Tipo de produção	2009	2010	2011	2012
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Grupo de Pesquisa
**Clima Espacial, Interações Sol-Terra, Magnetosferas, Geoespaço,
 Geomagnetismo: Nanosatélites**



Identificação

Recursos Humanos

Linhas de Pesquisa

Indicadores do Grupo

Identificação

Dados básicos

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

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 21/03/2012 17:19

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch -

Natanael Rodrigues Gomes -

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão:

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

Cidade: Santa Maria

Telefone: 33012026

CEP: 97110970

UF: RS

Fax: 33012030

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL, NANOSATÉLITES do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com Pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON e DPD/UNIVAP no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA (Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (DLR e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATÉLITES. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Desenvolvimento de Nanosatélites Científicos, em especial CubeSats: o NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.



Recursos humanos

Pesquisadores

Total: 51

Adriano Petry	Jose Humberto Andrade Sobral
Alexandre Alvares Pimenta	Juliano Moro
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Lilian Flecha Moor
Alisson Dal Lago	Lucas Lopes Costa
Andrei Pccinini Legg	Lucas Ramos Vieira
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marco Ivan Rodrigues Sampaio
Carlos Roberto Braqa	Marlos Rockenbach da Silva
Cassio Espindola Antunes	Nalin Babulal Trivedi
Clezio Marcos De Nardin	Nataanael Rodrigues Gomes
Cristiano Sarzi Machado	Nelson Jorge Schuch
Delano Gobbi	Nivaor Rodolfo Rigozo
Eduardo Escobar Bürger	Odim Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Otávio Santos Cupertino Durão
Ezequiel Echer	Paw el Rozenfeld
Fabiano Luis de Sousa	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda de São Sabbas Tavares	Polinaya Muralikrishna
Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt	Rajaram Purushottam Kane
Geilson Loureiro	Renato Machado
Gelson Lauro Dal'Forno	Ricardo Augusto da Luz Reis
Guilherme Simon da Rosa	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Gustavo Fernando Dessbesell	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Hisao Takahashi	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Igor Freitas Fagundes	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Jean Pierre Raulin	William do Nascimento Guareschi
João Baptista dos Santos Martins	

Estudantes

Total: 23

Adilson José Rambo Filla	Leonardo Zavareze da Costa
Ândrei Camponogara	Lucas Camponogara Viera
Bruno Kneviz Hammerschmitt	Lucas Lourencena Caldas Franke
Cássio Rodinei dos Santos	Magdiel Schmitz
Claudio Machado Paulo	Maurício Ricardo Balestrin
Dimas Irion Alves	Maurício Rosa de Souza
Edson Rodrigo Thomas	Michel Baptistella Stefanello
Felipe Cipriani Luzzi	Pietro Fernando Moro
Fernando Landerdahl Alves	Tális Piovesan
Guilherme Paul Jaenisch	Tiaqo Bremm
Iago Camargo Silveira	William Ismael Schmitz
José Paulo Marchezi	

Técnicos

Total: 0

Linhas de pesquisa

Total: 4

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Relações com o setor produtivo

Total: 2

- [ALPHA SOUTH AMERICA - REPRESENTACOES E CONSULTORIA AEROESPACIAL LTDA - ASARCA_PPROV](#)
- [Lunus Comércio e Representação Ltda - LUNUS](#)

Indicadores de recursos humanos do grupo

Integrantes do grupo

Total



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Linha de Pesquisa

DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR

Linha de pesquisa

DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR

Nome do grupo: [Clima Espacial](#), [Interações Sol -Terra](#), [Magnetoferas](#), [Geoespaço](#), [Geomagnetismo](#); [Nanosatélites](#)

Palavras-chave: CubeSats; Desenvolvimento de Engenharias - Tecnologias; Miniaturização; Nanosatélites; Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

Pesquisadores:

[Adriano Petry](#)
[Alexandre Alvares Fimenta](#)
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)
[Alisson Dal Lago](#)
[Andrei Piccini Legg](#)
[Antonio Claret Palerosi](#)
[Cassio Espindola Antunes](#)
[Clezio Marcos De Nardin](#)
[Cristiano Sarzi Machado](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Ezequiel Echer](#)
[Fabiano Luis de Sousa](#)
[Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt](#)
[Geilson Loureiro](#)
[Gelson Lauro Dal' Forno](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Gustavo Fernando Dessbesel](#)
[Igor Freitas Faundes](#)
[Jean Pierre Raulin](#)
[João Baptista dos Santos Martins](#)
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)
[Lilian Pecha Moor](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Marlos Rockenbach da Silva](#)
[Nalin Babulal Trivedi](#)
[Natanael Rodrigues Gomes](#)
[Nelson Jorge Schuch](#)
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)
[Odin Mendes Junior](#)
[Otavio Santos Cupertino Durão](#)
[Paw el Rozenfeld](#)
[Petrônio Noronha de Souza](#)
[Renato Machado](#)
[Ricardo Augusto da Luz Reis](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Walter Demétrio Gonzalez Alarcon](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

Estudantes:

[Adilson José Rambo Pilla](#)
[Andrei Camponogara](#)



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI
Relatório Final de Atividades 2012

[Dimas Irion Alves](#)
[Fernando Landerdahl Alves](#)
[Guilherme Paul Jaenisch](#)
[Iago Camargo Silveira](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Magdiel Schmitz](#)
[Mauricio Ricardo Balestrin](#)
[Mauricio Rosa de Souza](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Tális Povesan](#)
[Tiago Bremm](#)
[William Ismael Schmitz](#)

Árvore do conhecimento:

Ciências Exatas e da Terra; Astronomia; Astrofísica do Sistema Solar;
Ciências Exatas e da Terra; Geociências; Instrumentação Científica;
Engenharias; Engenharia Aeroespacial; Engenharia Aeroespacial - Pequenos Satélites;

Setores de aplicação:

Aeronáutica e Espaço

Objetivo:

Pesquisas: Geoespaço e Nanosatélites Científicos - Iniciação Científica & Tecnológica: CubeSats: (100g-1Kg) o NANOSATC-BR1 e (1Kg-10Kg) o NANOSATC-BR2; Carga útil: magnetômetros, sondas de Langmuir, fotômetros/imageadores e detector de partículas; Desenvolvimentos
Engenharias/Tecnologias Espaciais: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração. Sub-sistemas: potência, propulsão, telemetria, térmico controle/atitude. Vice-Lider: Otávio Santos Cupertino Durão



AGRADECIMENTOS

Em primeiro agradeço aos meus pais, ao meu pai Mauro Alceu Balestrin e a minha querida mãe Angela Maria Balestrin por todo o apoio e orientações para a vida.

Agradeço meu orientador, Dr. Antonio Claret Palerosi e meu Co-Orientador e mentor Dr. Nelson Jorge Schuch pela atenção e apoio prestados em todas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho desenvolvido, agradecimentos especiais ao Engenheiro Rubens Zolar Gehlen Bohrer que muito contribuiu para o andamento do meu Projeto de Pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos aos funcionários, servidores e Chefia do CRS/INPE – MCT pelo apoio e pela infraestrutura disponibilizada; ao programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na Iniciação Científica e Tecnológica, propiciando grande crescimento profissional; ao Coordenador Dr. Dr. Ezzat Selim Chalhoub e a Sra. Egidia Inácio da Rosa, Secretária do programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pelo constante apoio, alerta e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de Iniciação Científica e Tecnológica do CRS/INPE – MCTI.

Não poderia deixar de mencionar, e agradecer aos meus colegas e acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica da UFSM: Lucas Lourencena Caldas Franke, Fernando Alves, Iago Camargo Silveira e Guilherme Paul Jaenisch.

Por fim, gostaria de agradecer aos amigos que construíram e que muito me auxiliaram no crescimento pessoal e profissional desde quando ingressei no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas, no início do semestre de 2011.



RESUMO

O Projeto de Pesquisa, iniciado em agosto de 2011, tem como objetivo aprimorar estudos do subsistema estrutural do satélite NANOSATC-BR1, com o aprimoramento dos modelos de análise computacional, via Teoria dos Elementos Finitos, além da definição e acompanhamento dos testes ambientais do Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1. As atividades iniciais basearam-se em conceitos gerais sobre o Projeto NANOSATC-BR1, assim como nos estudos dos conceitos básicos de simulação via Métodos dos Elementos Finitos e pesquisa e conhecimento dos trabalhos elaborados anteriormente pelos demais colegas de Laboratório ligados ao CubeSat, atuação na elaboração de documentação e organização (organogramas e fluxos de informação) do Projeto NANOSATC-BR1 junto com o Gerente do Projeto NANOSATC-BR1, acompanhamento a instalação da Estação Terrena de Controle e Rastreamento de satélites da Classe CubeSat, que ocorreu no Prédio Sede do CRS/CCR/INPE – MCTI, em Santa Maria, RS. Na sequência foram efetuadas visitas e reuniões técnicas no Laboratório de Integração e Testes - LIT/INPE-MCTI. Atuação nas fases de integração e familiarização com o modelo de voo do NANOSATC-BR1. Foi desenvolvida uma Análise de Missão do Projeto NANOSATC-BR1. Esta sendo desenvolvido e concatenado um Documento do Subsistema Estrutural do NANOSATC-BR1, com o objetivo principal de descrever as propriedades de massa de cada Subsistema, assim como, do Sistema, como um todo, do satélite da classe CubeSat, o NANOSATC-BR1.



FIGURAS

Figura 1 - Sistema de coordenadas e dimensões para CubeSats	6
Figura 2 - Mola de Separação.....	8
Figura 3 - Disposição preliminar dos componentes internos do NANOSATC-BR.....	8
Figura 4 - Configuração do Modelo de Engenharia (EM) do NANOSATC-BR1	9
Figura 5 – Distribuição de massa do NANOSATC-BR1. ¹	11
Figura 6 – NanoSatC-BR.....	11
Figura 7 - Estrutura Principal e componentes internos.....	12
Figura 8 - Estrutura Principal Submetida a Carregamento Gravitacional	13
Figura 9 - Regiões de maiores solicitações para BOTTOM tensão de von Mises	14
Figura 10 - Regiões de maiores solicitações para TOP tensão de von Mises	14
Figura 11 – Contornos das tensões BOTTOM de von Mises nos elementos de placa –.....	15
Figura 12 - Regiões que apresentam maiores tensão de von Mises para o subcaso 1	17
Figura 13 - Máximas tensões de von Mises para cada grupo de análise	19
Figura 14 - Aceleração nodal nos componentes internos	19
Figura 15 - Deslocamentos nodais nos componentes internos	20



TABELAS

Tabela 1 - Características das molas de separação de um CubeSat.....	7
Tabela 2 - Balanço de Massa do NANOSATC-BR1 ¹	10
Tabela 3 - Tensões de von Mises máximas para cada subcaso – subsistemas internos	15
Tabela 4 - Máximas tensões de von Mises nos elementos de placa nos painéis laterais.....	16
Tabela 5 - Máximas tensões de von Mises nos elementos de placa nas antenas.....	16
Tabela 6 - Tensões máximas de von Mises nos elementos sólidos para cada subcaso	17
Tabela 7 - Dados do parafuso M2,5.	18
Tabela 8 - Carregamentos máximos para os quatro subcasos de análise	18
Tabela 9 - Localização dos nós analisados	20
Tabela 10 - Programação da Primeira Revisão do projeto NANOSATC-BR1.....	25



SUMÁRIO

CAPITULO 1	1
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO PRINCIPAL	1
1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS	1
CAPÍTULO 2	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 SATÉLITES	2
2.2 CUBESATS	2
2.3 PROJETO NANOSATC-BR	3
2.4 MISSÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA	3
2.5 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)	4
CAPÍTULO 3	5
3 ARQUITETURA MECÂNICA - ANÁLISE ESTRUTURAL	5
3.1 ESTRUTURA MECÂNICA	5
3.1.1 Dimensões Exteriores	5
3.1.2 Massa	7
3.1.3 Materiais	7
3.1.4 Configuração preliminar do NANOSATC-BR	8
Fonte: BOHRER (2011)	8
3.1.5 Balanço de massa do NANOSATC-BR1	9
3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DO CUBESAT 1U – NANOSATC-BR1	11
3.3 RESULTADOS ANÁLISE ESTÁTICA	13
3.3.1 Elementos de placa	13
3.3.2 Elementos sólidos	16
3.3.3 Elementos de barra – parafusos	17



3.4 RESULTADOS DE ANÁLISES SENOIDAIS	18
3.4.1 Tensões de von Mises – elementos de placa e sólidos	18
3.4.2 Acelerações – componentes internos.....	19
3.4.3 Deslocamentos – componentes internos.....	20
3.5 OBSERVAÇÕES.....	21
CAPITULO 4.....	22
4 ESTÁGIO NO LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES - LIT/INPE-MCTI	22
4.1 LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES - LIT/INPE-MCTI	22
4.2 MANUSEIO DO MODELO DE ENGENHARIA DO NANOSATC-BR1.....	24
CAPITULO 5.....	25
5 REVISÃO DO PROJETO	25
5.1 ANÁLISE DA MISSÃO.....	26
CAPITULO 6.....	27
6 DOCUMENTO SUBSISTEMA ESTRUTURAL	27
6.1 DESCRIÇÃO DOS SUBSISTEMAS DO NANOSATC-BR1.....	27
6.2 REQUISITOS DO PROJETO.....	27
6.4 APÊNDICES DO SUBSISTEMA ESTRUTURAL.....	28
CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
ANEXOS	31
Anexo 1	32
<i>NanoSatC-BR_STS-3_Rev.1_Balanço de Massa</i>	<i>32</i>
3.2. Balanço de massa do NANOSATC-BR1.....	17
Anexo 2	22
<i>Apresentação Análise de Missão</i>	<i>22</i>



CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO

Defini-se na presente seção os objetivos principal e secundários do Projeto de Pesquisa que guiaram as atividades desenvolvidas ao longo do período de Iniciação Científica e Tecnológica, I.C.&T, no CRS/CCR/INPE-MCTI.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Como objetivo principal de atividades para o período de I.C.&T., de acordo com o Plano de Trabalho apresentado, tem-se:

- Definir, acompanhar e atuar na integração e testes ambientais do satélite, realizando relatórios e documentações de análise dos testes mecânicos estruturais.

1.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Como objetivos secundários definem-se:

- Identificar e revisar os trabalhos referentes às análises estruturais realizadas até o momento.
- Identificar e conhecer os sistemas e subsistemas que integram o satélite da classe dos CubeSats, em especial o NANOSATC-BR1.
- Realizar modificações e sugestões, aprimorando as definições da arquitetura mecânica do satélite, como alocação das cargas úteis, os desenhos CAD 3D do satélite e os modelos de simulação através do Método dos Elementos Finitos.
- Criar e aprimorar planilhas de cálculo estrutural das análises realizadas ou a serem realizadas.
- Iniciar atividades de reengenharia no modelo de engenharia do NANOSATC-BR1 através da identificação das partes que compõem o subsistema estrutural.



CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Capítulo 2 tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica relacionada a satélites da classe CubeSats, e abordar a metodologia do desenvolvimento de equipamentos espaciais pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, assim como, a metodologia seguida por equipes desenvolvedoras de CubeSats.

2.1 SATÉLITES

Os satélites são equipamentos construídos pelo homem e posteriormente colocados a orbitar a Terra para atender diversos objetivos, como por exemplo: comunicações, coleta de dados, sensoriamento remoto de observação da Terra e monitoramento do tempo e clima.

Iniciado na década de 50, o desenvolvimento de satélites foi com o lançamento do SPUTNIK-1, em 4 de outubro de 1957, pela antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, URSS, Florenzano (2008).

O primeiro projeto de um satélite brasileiro foi proposto pelo Programa Espacial Brasileiro em 1968, o SACI (Satélite Avançado de Comunicações Interdisciplinares), o qual não pode ser desenvolvido na época, De Souza (2007). Em 1993, o Brasil lançou o satélite SCD-1 pra que o mesmo retransmitisse dados climatológicos, Florenzano (2008).

2.2 CUBESATS

Os projetos de CubeSats, visam ter sua conclusão em aproximadamente dois anos, é característico da classe as dimensões reduzidas (satélite 1U = 100x100x113,5mm e massa inferior a 1,33Kg).

Designa-se como CubeSat o picosatélite que atende as especificações descritas no documento CubeSat Design Specifications (CDS). Iniciado em 1999 pelos Professores Jordi Puig-Suari da California Polytechnic State University (Cal Poly) e Bob Twiggs da Stanford University's Space System Development Laboratory (SSDL) o projeto de CubeSats teve como objetivo principal desenvolver padrões de projeto que possibilitassem um menor custo de projeto e maiores facilidades de acesso ao espaço. BOHRER (2011).



2.3 PROJETO NANOSATC-BR

O NANOSATC-BR1 é o primeiro satélite científico Brasileiro da classe CubeSat a ser desenvolvido no Brasil, segundo Schuch et al (2011), objetivando obter um sistema simples e confiável, para rápido desenvolvimento e custos reduzidos e a qualificação de estudantes da UFSM em diversas áreas espaciais.

Voltado para o desenvolvimento de um satélite da classe dos CubeSats o Projeto NANOSATC-BR tem ampla participação de alunos de diversos cursos de Ciências Naturais e de Engenharia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

O Projeto NANOSATC-BR consiste em um Programa Integrado de formação de Recursos Humanos especializados, em nível de Graduação Universitária, voltado para a Pesquisa Espacial com o desenvolvimento de Engenharias, Tecnologias Espaciais, Informática e Ciências Espaciais, na forma de um satélite miniaturizado, da classe dos nanosatélites, tipo CUBESAT, o NANOSATC-BR, com o objetivo científico de monitorar em tempo real, no âmbito do Geoespaço e Clima Espacial, os distúrbios observados na Magnetosfera Terrestre – Campo Geomagnético e a precipitação de partículas energéticas, sobre o Território Brasileiro, com a determinação de seus efeitos nas grandes regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS e do Eletrojato da Ionosfera Equatorial, (Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats, 2010, p. 4)

2.4 MISSÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

O monitoramento em tempo real do Geoespaço sobre o Território Brasileiro, especialmente na região conhecida como Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS), é a missão científica do Projeto NANOSATC-BR. A AMAS, caracteriza-se por apresentar um déficit no módulo Campo Geomagnético e uma maior proximidade da superfície dos cinturões de Van Allen, o que pode provocar danos tecnológicos a sistemas orbitais e terrestres.

Falhas de comunicação, interrupção das operações realizadas via satélites, aviação, navegação e danos na distribuição da rede elétrica são alguns exemplos de danos que podem vir a serem causados por tempestades solares. Outros exemplos podem ser citados devido à precipitação de partículas, como falhas de operações apresentados por satélites de baixa órbita durante a passagem sobre a região da AMAS, BOHRER (2011).

A precipitação das partículas pode aumentar durante tempestades magnéticas, causando danos a satélites e a sistemas terrestres, Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats (2010).



Sendo assim, a ideia é desenvolver um satélite classe CubeSat capaz de realizar medidas do campo geomagnético, especialmente na região da AMAS, utilizando um magnetômetro de baixa potência instalado como carga útil do satélite.

2.5 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)

A teoria da análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) consiste em dividir um componente mecânico, uma estrutura elástica contínua, em um número finito de pequenas regiões elásticas denominadas elementos finitos, transformando o contínuo em discreto, Shigley (2006). Segundo Palerosi (2009), o MEF possibilita contornar as dificuldades e limitações dos métodos analíticos convencionais que são aplicáveis somente em problemas de geometria simplificada, modelos homogêneos e sujeitos a determinadas condições de contorno e carregamento. O MEF teve sua origem ligada a aplicações nos cálculos de análises estruturais sendo largamente utilizada pela indústria aeroespacial durante as décadas de 50 e 60, Fenner (1996). Anos após seu surgimento, com o avanço da eletrônica foi possível um aumento da capacidade de processamento de dados pelos computadores tendo como consequência a popularização de muitos métodos capazes de resolver problemas de engenharia de uma forma mais rápida e que fosse capaz de contornar as limitações dos métodos analíticos Fenner (1996). Segundo Bohrer (2011).



CAPÍTULO 3

3 ARQUITETURA MECÂNICA - ANÁLISE ESTRUTURAL

O Capítulo 3, aborda os principais conceitos e definições da atual arquitetura mecânica do satélite NANOSATC-BR1, assim como apresentar o balanço de massa e análises estruturais realizadas para a qualificação do Projeto Mecânico/Estrutural do satélite. As análises Mecânicas/Estruturais discutidas na presente seção foram apresentadas por BOHRER (2011) nas quais as atividades ligadas ao Projeto de Pesquisa foram especialmente o acompanhamento e auxílio no desenvolvimento das atividades de desenvolvimento das análise e processamento dos resultados, sendo dessa forma os resultados de BOHRER (2011) reapresentados no presente Capítulo, para facilitar e melhor esclarecer ao leitor.

3.1 ESTRUTURA MECÂNICA

A definição da configuração do NANOSATC-BR1, segue as especificações e padrões de um CubeSat, definidas no documento *CubeSat Design Specification* - CDS. De acordo com os objetivos do Projeto, missão, cargas úteis e requisitos de projeto, é desenvolvida a Arquitetura Mecânica do satélite, a qual possui como objetivo integrar todos os componentes e dispositivos que compõem o satélite.

Requerimentos da Estrutura Mecânica do CubeSat – 1U

Baseado no CDS, estão exemplificadas os principais requisitos de projeto para um CubeSat.

3.1.1 Dimensões Exteriores

As dimensões de um CubeSat devem atender:

- O CubeSat deve usar o sistema de coordenadas definida na Figura 1. A face $-Z$ do CubeSat será inserida primeiro no P-POD;
- A configuração e dimensões do CubeSat devem ser exatamente as mostradas na Figura 1;
- O CubeSat deve ter 100,0±0,1 mm de largura (dimensões de X e Y);
- Uma unidade de CubeSat 1U deve ter 113,5±0,3 mm de altura (dimensão Z);

- Todos componentes não devem exceder 6,5 mm normal a superfície de 100 mm do cubo;
- Componentes exteriores do CubeSat não devem estar em contato com a superfície interna do P-POD;
- Dispositivos de abertura devem estar constrangido ao CubeSat. Os trilhos do P-POD e paredes não devem ser usadas para os dispositivos de abertura;
- Os trilhos devem ter no mínimo comprimento de 8,5mm;
- Os trilhos não devem ter rugosidade de superfícies maior que 1,6 µm;
- Os cantos dos trilhos devem ser arredondados com um raio mínimo de 1mm;
- O final dos trilhos na face +Z devem ter no mínimo área de 6,5 mm X 6,5 mm de contato com os trilhos dos CubeSats vizinhos;
- Pelo menos 75% dos trilhos devem estar em contato com os trilhos do P-POD. 25% dos trilhos podem ser rebaixados e nenhuma parte dos trilhos deve exceder a especificação;
- Para um CubeSat 1U, significa pelo menos 85,1 mm de contato nos trilhos.

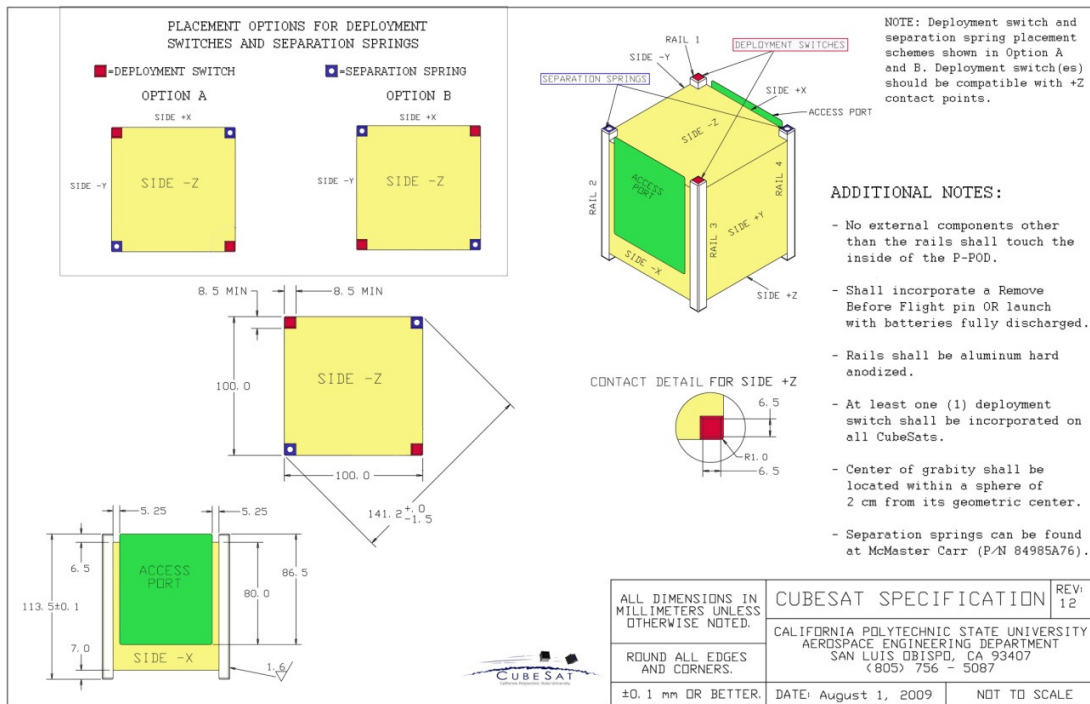


Figura 1 - Sistema de coordenadas e dimensões para CubeSats
 Fonte: CubeSat Design Specification, (CDS) Rev.12.



3.1.2 Massa

Alguns requisitos para massa de um CubeSat que devem atendidos:

- Cada CubeSat 1U não deve exceder 1,33 Kg de massa;
- O centro de gravidade deve estar localizado dentro de uma esfera de 2 cm do seu centro geométrico.

3.1.3 Materiais

Requisitos para os materiais/componentes de um CubeSat que devem atendidos:

- Alumínio 7075 ou 6061 deve ser usado para a estrutura principal e trilhos do CubeSat.
- Os trilhos e pinos do CubeSat, os quais tem contato com os trilhos do P-POD e os pinos adjacentes do CubeSat devem ser alumínio anodizado duro para prevenir qualquer solda fria junto ao P-POD;
- O CubeSat deve usar as molas de separação especificadas pela Tabela 1. As molas de separação podem ser encontradas usando McMaster Carr P/N 84985A76. As molas de separação, ver Figura 2, permitem a separação relativa entre CubeSats depois da ejeção do P-POD;
- A compressão de separação da mola deve ser por volta ou menor que o nível dos pinos;
- O deslocamento no comprimento de separação da mola deve ser no mínimo de 0,05 pol abaixo do pino da superfície.

Tabela 1 - Características das molas de separação de um CubeSat

Características	Valores
Material injetável	Aço inoxidável
Foça Final Inicial/Final	0.5 lbs. / 1.5 lbs.
Comprimento de lançamento	Mínimo de 0.05 inches acima da superfície de partida

Fonte: CubeSat Design Specification, (CDS) Rev.12.



Figura 2 - Mola de Separação
Fonte: CubeSat Design Specification, (CDS) Rev.12.

3.1.4 Configuração preliminar do NANOSATC-BR

A configuração preliminar do NANOSATC-BR1, anteriormente apresentada por Prchnow (2008) e posteriormente, adaptada por Bohrer (2011) está ilustrada na Figura 3.

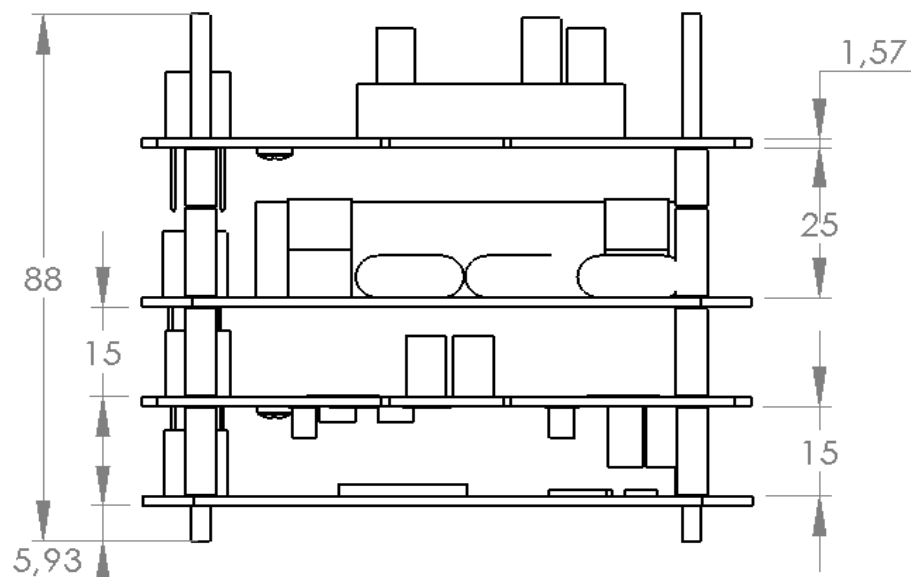


Figura 3 - Disposição preliminar dos componentes internos do NANOSATC-BR
Fonte: BOHRER (2011)

A configuração final do NANOSATC-BR1 foi sugerida pela empresa ISL/ISIS, fornecedora dos equipamentos do NANOSAC-BR1, a Figura 4 ilustra a configuração atual do NANOSATC-BR1.

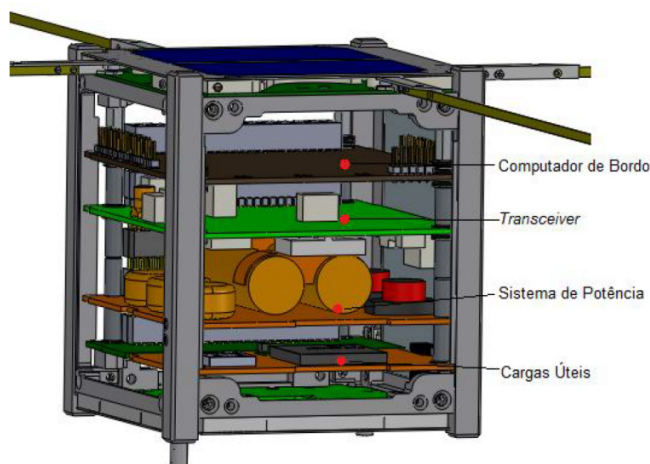


Figura 4 - Configuração do Modelo de Engenharia (EM) do NANOSATC-BR1¹
Fonte: (Análise Mecânica Estrutural)

3.1.5 Balanço de massa do NANOSATC-BR1

A partir da descrição das propriedades de massa de cada subsistema do NANOSATC-BR1, foi possível ilustrar a distribuição de massa de cada subsistema e do satélite como um todo, com isso, foi elaborada a Tabela 2 com o levantamento das massas de todos os sistemas e subsistemas. A ilustração da distribuição proporcional de massa entre os subsistemas é demonstrada na Figura 5 (Anexo 1 NanoSatC-BR_STS-3_Rev.1_Balanço de Massa).

¹ BOHRER, R. Z. G., BALESTRIN, M. R.. Análise Mecânica/Estrutural, 2012, p. 17.



Tabela 2 - Balanço de Massa do NANOSATC-BR1¹

Descrição	Massa (g)
<i>Structure Subsystem - STR</i>	
Estrutura Primária e Secundária	189,4828
Massa total Sistema Estrutural	189,4828
<i>Electrical Power Subsystem – EPS</i>	
NanoPower P30U com baterias	200
2x SAMTEC - Extensão conector PC104	4,96
Células Solares (x12)	54,81
Massa total Sistema de Potência	259,77
<i>Telemetry, Tracking and Command - TT&C</i>	
Nova PCI_BoB	55
TestChip SMDH	20
FPGA ProASIC3 UFRGS	20
Magnetometro XEN-1210	1
Massa total Carga Útil	96
<i>Command and Data Handling – CDH</i>	
Computador de Bordo (NanoMind_712)	55
Antenas (<i>Deployable CubeSat Antenna System</i>)	88
TRXUV VHF/UHF Transceiver	90
IGIS (<i>ISIS Generic Interface System</i>)	72
Massa total Sistema de Comunicação	305
<i>Attitude Control Subsystem – ACS</i>	
2x NanoPower Solar 100U (x3)	118
Massa Total NANOSATC-BR (g)	968,2528

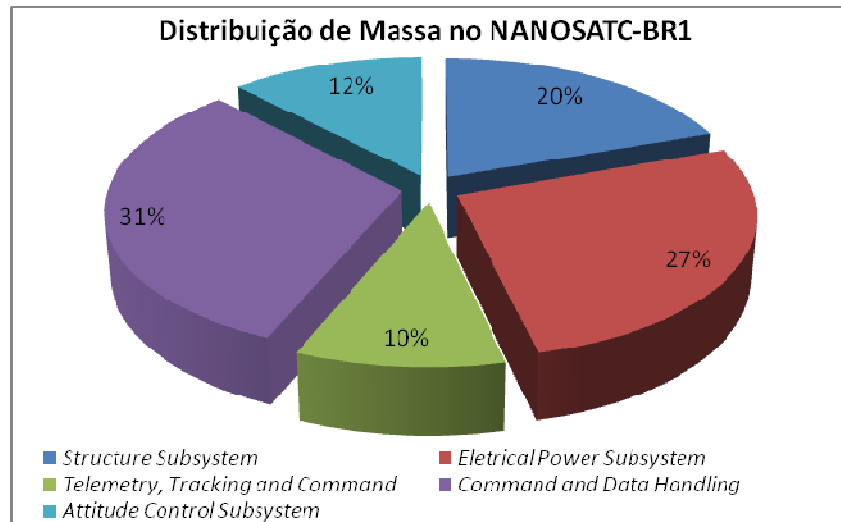


Figura 5 – Distribuição de massa do NANOSATC-BR1.¹

3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL DO CUBESAT 1U – NANOSATC-BR1

Um estudo de caso da estrutura do satélite NANOSATC-BR1 foi desenvolvida, baseada na configuração preliminar apresentada na Figura 2.3, sendo considerada uma estrutura de liga de Alumínio 6061-T6 de forma cúbica com arestas laterais de 100mm.

A estrutura tem como finalidade básica suportar os demais subsistemas do satélite e seus componentes e deve atender aos requisitos de performance, de construção e projeto e os ambientais (térmico e estrutural estático e dinâmico) aos quais o satélite estará sujeito durante as operações de solo, transporte, lançamento e órbita. A Figura 2.6 ilustra o NANOSATC-BR1 com os painéis solares, painéis laterais e o de topo. Todos os subsistemas de bordo e os de carga útil são mostrados na Figura 6.

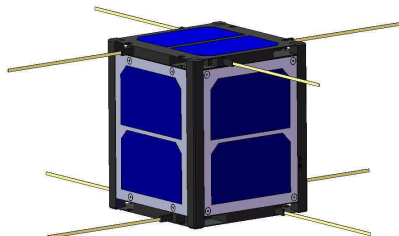


Figura 6 – NanoSatC-BR
Fonte: BOHRER (2011)

A configuração utilizada durante as análises mecânicas/estruturais via MEF do NANOSATC-BR1 é ilustrada na Figura 7. A concepção proposta para o satélite, sendo composta pela estrutura principal em liga de Alumínio 6061-T6 e os sistemas e subsistemas. O *slot* inferior apresenta-se o computador de bordo, o qual é responsável pelo controle da comunicação interna e do satélite, além do processamento de dados. O *Transceiver*, responsável pela transferência de dados de comunicação com a estação terrena ocupa o segundo *slot*. A placa de controle e armazenagem distribuição de energia juntamente com as baterias ocupam o terceiro *slot*. O *slot* superior é ocupado pela carga útil do satélite, o Magnetômetro.

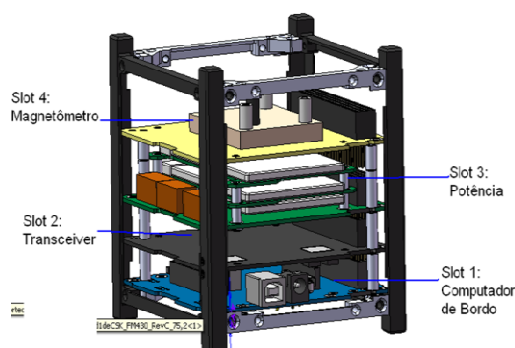


Figura 7 - Estrutura Principal e componentes internos

Fonte: BOHRER (2011)

Segundo Roesthlisberger 2008, o satélite está disposto durante o voo a carregamentos estáticos e dinâmicos de origem aerodinâmica e devidos ao sistema de propulsão como acelerações longitudinais. Levando em consideração esses fatores de lançamento propõem-se as análises estáticas e modal que visem simular o ambiente imposto ao satélite e investigar as vibrações naturais do sistema.

As acelerações longitudinais durante o lançamento podem alcançar patamares de até 7,8 vezes a aceleração da gravidade, como no caso do veículo lançador Russo DNEPR, lançador que foi amplamente utilizado para realizar os lançamentos de CubeSats.

A estrutura principal do NANOSATC-BR1 aplicada em uma análise estática com aceleração gravitacional sendo imposta como carga e condições de contorno arbitrárias é apresentada na Figura 8. Observam-se na Figura 8 que as regiões de uma coloração azulada, são as que correspondem as regiões de maiores solicitações da estrutura principal.

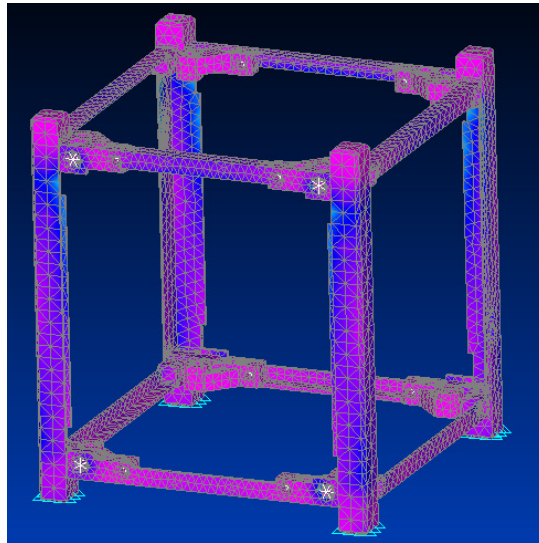


Figura 8 - Estrutura Principal Submetida a Carregamento Gravitacional
Fonte: BOHRER (2011)

3.3 RESULTADOS ANÁLISE ESTÁTICA

3.3.1 Elementos de placa

As maiores solicitações nos elementos de placa, são encontradas nas regiões próximas aos apoios dos subsistemas internos com os espaçadores, Figuras 9 e 10. Sendo que a PCI do subsistema de potência possui valores de tensões maiores nessa região, As maiores solicitações nessa região são devidas especialmente a maior massa desse sistema, isso, associado a um carregamento gravitacional gera maiores forças atuantes nessa região, logo ela será mais solicitada.

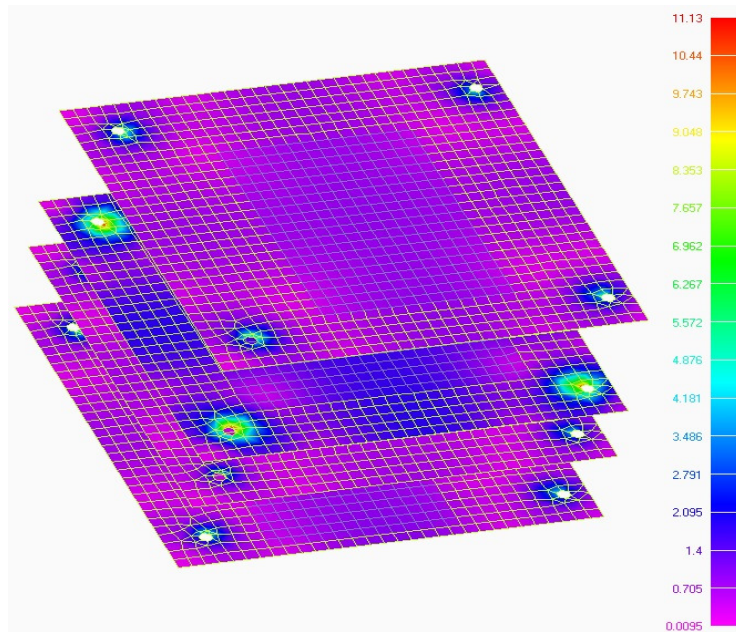


Figura 9 - Regiões de maiores solicitações para BOTTOM tensão de von Mises
Fonte: BOHRER (2011)

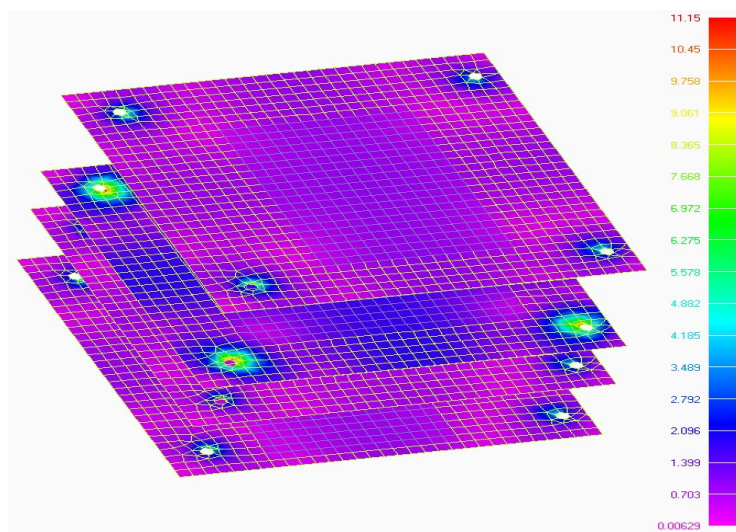


Figura 10 - Regiões de maiores solicitações para TOP tensão de von Mises
Fonte: BOHRER (2011)

Como análise final, para facilitar a manipulação dos dados e por apresentar diferenças pequenas entre as tensões *TOP* e *BOTTOM*, utilizou-se somente a maior tensão entre as duas

como parâmetro de análise. As tensões máximas encontradas dentre os elementos de placa dos sistemas internos (PCIs) são ilustradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Tensões de von Mises máximas para cada subcaso – subsistemas internos

STRESSES IN PLATE ELEMENT - PCB's				
	ELEMENT-ID	VON MISES	M.S.	Bad Geometry
<i>Subcase 1</i>	54549	13,54699	2,783128208	#N/D
<i>Subcase 2</i>	54549	13,81803	2,708922328	#N/D
<i>Subcase 3</i>	54549	13,92903	2,679366043	#N/D
<i>Subcase 4</i>	54549	14,43823	2,549604072	#N/D

Fonte: BOHRER (2011)

No caso dos elementos de placa das antenas e painéis laterais, as tensões de von Mises apresentaram valores inferiores aos das apresentadas nas PCIs. A Figura 11 ilustra os contornos das tensões *BOTTOM* de von Mises nesses elementos e os Tabelas 4 e 5 apresentam as máximas tensões de von Mises entre os elementos de placa dos painéis laterais e antenas respectivamente.

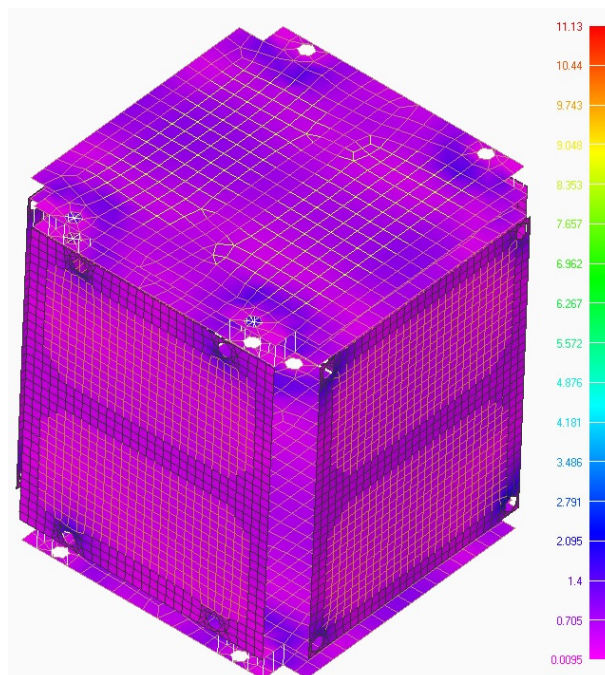


Figura 11 – Contornos das tensões *BOTTOM* de von Mises nos elementos de placa – Painéis laterais e Antenas

Fonte: BOHRER (2011)



Tabela 4 - Máximas tensões de von Mises nos elementos de placa nos painéis laterais

STRESSES IN PLATE ELEMENT - Painéis Laterais				
	ELEMENT-ID	VON MISES	M.S.	Bad Geometry
<i>Subcase 1</i>	45065	2,653054	38,46534963	#N/D
<i>Subcase 2</i>	43098	2,783854	36,61106139	#N/D
<i>Subcase 3</i>	45080	2,780889	36,65116253	#N/D
<i>Subcase 4</i>	47080	2,760969	36,92281033	#N/D

Fonte: BOHRER (2011)

Tabela 5 - Máximas tensões de von Mises nos elementos de placa nas antenas

STRESSES IN PLATE ELEMENT – Antenas				
	ELEMENT-ID	VON MISES	M.S.	Bad Geometry
<i>Subcase 1</i>	62866	2,201191	22,28285006	#N/D
<i>Subcase 2</i>	62806	2,195153	22,34689199	#N/D
<i>Subcase 3</i>	62866	2,190235	22,3993156	#N/D
<i>Subcase 4</i>	62866	2,201191	22,28285006	#N/D

Fonte: BOHRER (2011)

3.3.2 Elementos sólidos

No caso dos elementos sólidos (estrutura principal do NANOSATC-BR) as regiões que apresentaram valores mais elevados de tensão de von Mises foram as regiões de contorno da união parafusada entre as costelas e as molduras laterais, Figura 12.

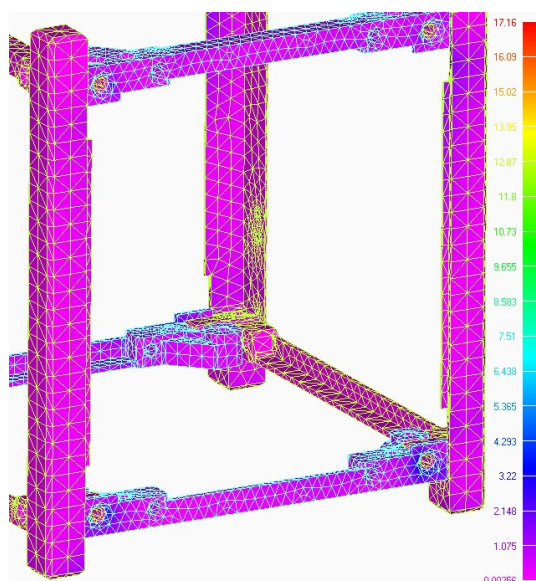


Figura 12 - Regiões que apresentam maiores tensão de von Mises para o subcaso 1
Fonte: BOHRER (2011)

A Figura 12 ilustra as regiões de maior solicitação para o subcaso 1, da mesma forma, para os demais subcasos a mesma característica foi observada, tendo as mesmas regiões solicitadas de maneira muito semelhante, com alguma modificação em relação à união de maior solicitação.

O Tabela 6 discrimina os elementos que apresentaram maiores tensões de von Mises para os quatro subcasos, desconsiderando os elementos que apresentaram geometria irregular.

Tabela 6 - Tensões máximas de von Mises nos elementos sólidos para cada subcaso

	STRESSES IN SOLID ELEMENT (CTETRA)			
	ELEMENT-ID	VON MISES	M.S.	Bad Geometry
Subcase 1	1349	7,351422	13,24264635	#N/D
Subcase 2	15675	6,481261	15,15483526	#N/D
Subcase 3	1349	6,243665	15,76959025	#N/D
Subcase 4	15675	7,637878	12,70848077	#N/D

Fonte: BOHRER (2011)

3.3.3 Elementos de barra – parafusos

Os dados dos parafusos são ilustrados no Tabela 7, onde o Ppl (efeito de pré-carga) é definido pela Equação 4, Utl (tensão última de carregamento) definido pela Equação 6 e Usl (tensão última de cisalhamento) definido pela Equação 10.

Tabela 7 - Dados do parafuso M2,5.

Dados dos Parafusos M2,5		Unidades
dN	2,08	mm
dT	2,50	mm
A	3,39	mm ²
Torque	420,00	N.mm
Torque R.	0,20	
Ppl	840,00	N
Utl	909,78	N
Usl	562,43	N

Fonte: BOHRER (2011)

O Tabela 8 ilustra os elementos de barra mais solicitados para cada subcaso de análise, com os valores das MS ($R_s^3 + R_t^2$).

Tabela 8 - Carregamentos máximos para os quatro subcasos de análise

M.S. Parafusos		
	ELEM. ID	$R_s^3 + R_t^2$
Subcase 1	2822	0,859805
Subcase 2	2823	0,859714
Subcase 3	2824	0,860289
Subcase 4	2825	0,859665

Fonte: BOHRER (2011)

3.4 RESULTADOS DE ANÁLISES SENOIDAIS

3.4.1 Tensões de von Mises – elementos de placa e sólidos

A Figura 13 ilustra as máximas tensões de von Mises determinadas para cada carga de análise (eixos laterais e longitudinal), divididas nos cinco grupos utilizados para analisar o modelo completo.

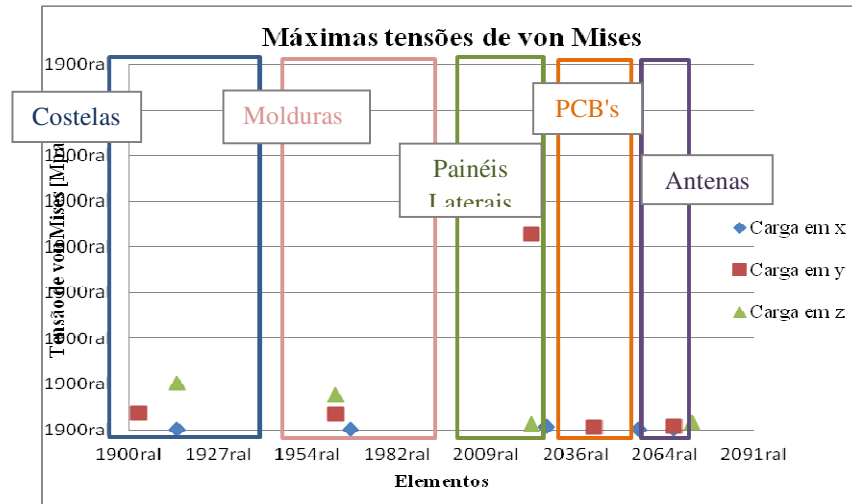


Figura 13 - Máximas tensões de von Mises para cada grupo de análise
 Fonte: BOHRER (2011)

3.4.2 Acelerações – componentes internos

As acelerações nos nós centrais de cada PCB são ilustradas na Figura 14. A localização dos nós é ilustrada na Tabela 9.

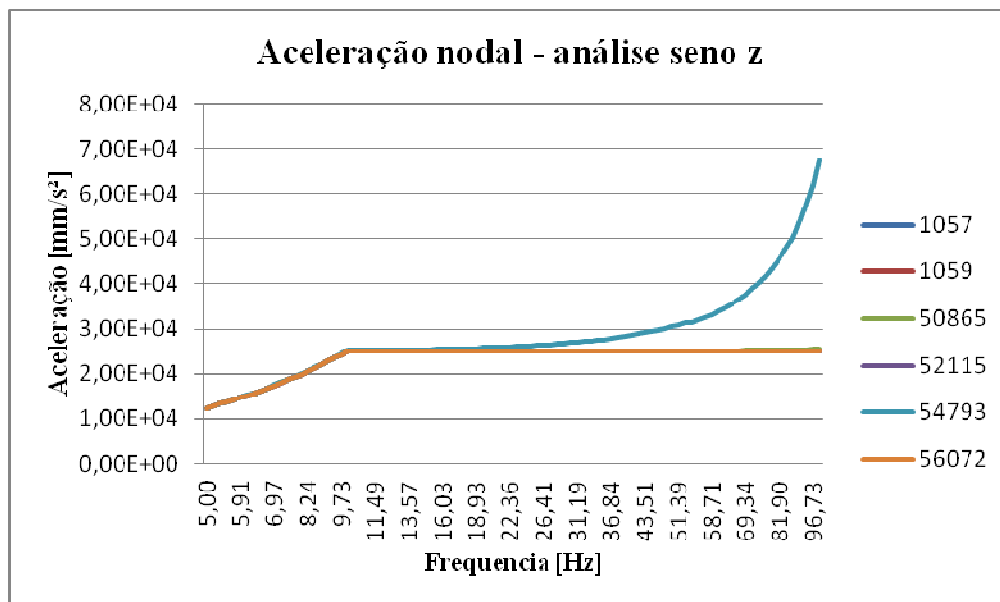


Figura 14 - Aceleração nodal nos componentes internos
 Fonte: BOHRER (2011)

Tabela 9 - Localização dos nós analisados

Nó	Localização
1057	Magnetômetro
1059	<i>Large mass</i>
50865	Computador de Bordo
52115	<i>Transceiver</i>
54793	EPS - Sist. de potência
56072	PCB magnetômetro

Fonte: BOHRER (2011)

3.4.3 Deslocamentos – componentes internos

Os deslocamentos relativos dos nós centrais, dos subsistemas internos do CubeSat brasileiro são ilustrados no Figura 15.

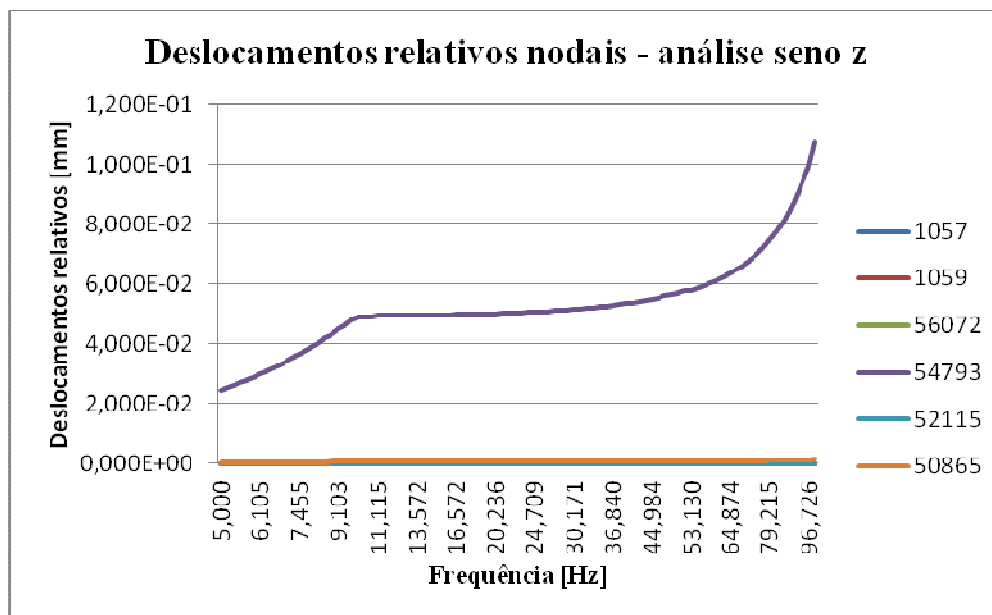


Figura 15 - Deslocamentos nodais nos componentes internos

Fonte: BOHRER (2011)



3.5 OBSERVAÇÕES

Devido a poucas modificações na arquitetura mecânica e a baixas tensões atuantes, optou-se por não realizar de momento uma nova Análise Estrutural, sendo assim seguimos com os dados obtidos por BOHRER (2011).



CAPITULO 4

4 ESTÁGIO NO LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES - LIT/INPE-MCTI

No período de 11 a 16 de Fevereiro de 2012, com apoio financeiro da Agência Espacial Brasileira, AEB, foi realizado Estágio Extracurricular no Laboratório de Integração e Testes, LIT/INPE-MCTI, em São José dos Campos, SP, com os objetivos de conhecer as instalações do mesmo, participar de reuniões com os pesquisadores, tecnologistas e demais envolvidos no Projeto NANOSATC-BR1, além de receber treinamento na Integração e Operações básicas do Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1, EM.

4.1 LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES - LIT/INPE-MCTI

O LIT/INPE-MCTI, possui além das salas de reuniões e dos pesquisadores, uma série de laboratórios de testes, averiguação, testes e qualificação de equipamentos, tanto do setor aeroespacial como para demais setores da indústria brasileira.

Uma das principais áreas do LIT/INPE-MCTI é a sala de testes, ambiente com controle de partículas de no máximo 100.000 partículas por pé cúbico, a qual foi apresentada pelos Dr. Geilson Loureiro, Dr. José Sérgio de Almeida e pela Eng. Andreia Fatima Sorice Genaro. A sala de testes do LIT/INPE-MCTI possui câmeras de termo vácuo, para testes que simulam as condições ambientais do espaço, simuladores de vibração (*Shackers*) que simulam condições mecânicas de vibrações que possam ocorrer nos equipamentos a serem testados. Destaca-se o *Shacker* de maior capacidade, o qual possui sua sustentação em um bloco de concreto com amortecedores para que as vibrações não afetem a estrutura predial do laboratório.

Duas câmeras blindadas anecoicas, com espumas internas combinadas com carbono para absorção de ondas mecânicas, as quais são utilizadas para assegurar que não haverá interferência sobre antenas ou aparelhos industriais durante os testes dentro das câmaras.

Uma parte do laboratório é destinada ao teste SAR (*Specific Absorption Rate*/taxa de absorção específica), que é um teste que estabelece o limite de radiação emitido pelos telefones celulares. Tal teste, como foi explicado pelos tecnologistas e técnicos desse laboratório, deve ser realizado para certificar-se de que a radiação emitida por esses aparelhos não causará danos em escala prejudicial ao corpo humano.



Além dos laboratórios e testes exemplificados acima, uma série de laboratórios e salas de testes não foram apresentadas na oportunidade da visita devido ao pouco tempo disponível para a visita, ou por dificuldades de acesso a tais salas.

Visita ao subsolo do LIT, local onde estão locados os equipamentos de suporte e alimentação de demais equipamentos de testes do Laboratório de Testes. Na oportunidade foi explicado o mecanismo de funcionamento de seu sistema de alimentação de máquinas e equipamentos de testes.

Acompanhamento de alguns dos testes realizados para determinação de centro de gravidade e de momento de inércia, ao qual estava sendo submetida a estrutura do satélite argentino (Salcon).

Reuniões

Reunião com o Dr. Geilson Loureiro, Dr. Otávio Durão e Dr. Nelson Jorge Schuch, juntamente com o Eng. Eduardo Escobar Bürger e Eng. Lucas Lopes Costa, e os colegas Guilherme Paul Jaenisch e Iago Camargo Silveira para discussão dos Projetos NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2.

Reunião com o Dr. Geilson Loureiro (LIT-VISITA HALL TESTES), Dr. Jackson Maia (AEB), Dr. David Fernandes (ITASAT), Dr. Otávio Durão (NANOSATC-BR), Dr. Manoel Carvalho (CONASAT), Dr. Nilton Morimoto (ISAT/LSITEC) e Dr. Wilson Yamaguchi (ANATEL), para apresentação de seus projetos com a seguinte programação:

- Satélites de pequeno porte e o Programa de Tecnologias Críticas da AEB, Dr. Jackson Maia;
- Convênio AEB/LSI-Tec desenvolvimento de satélites de pequeno porte, Dr. Nilton Morimoto;
- A missão NANOSACT-BR1, Dr. Otávio Durão;
- A missão Conasat 1 do CRN/UFRN, Dr. Manoel Carvalho;
- Projeto de picossatélite do ITA/INPE, Dr. Geilson Loureiro;
- Projeto de picossatélite do LSI-Tec/USP, Dr. Nilton Morimoto.

Reunião com o Dr. Geilson Loureiro junto com o colega Iago Camargo Silveira, para entendimento e introdução a Engenharia de Sistemas.

Reunião com os Engenheiros Eduardo Escobar Bürger e Lucas Lopes Costa sobre Engenharia de Sistemas, que trabalham a algum tempo com o Dr. Geilson Loureiro sobre o assunto.



4.2 MANUSEIO DO MODELO DE ENGENHARIA DO NANOSATC-BR1

O primeiro manuseio dos Modelos de Engenharia, ME, e de Voo MV, do NANOSATCBR-1, que se encontra na sala com controle de partículas 10.000, foi no dia 14 de fevereiro de 2012 com o auxílio dos Engenheiros Eduardo Escobar Bürger e Lucas Lopes Costa.

No dia 16 de fevereiro de 2012 foi realizada a desintegração e reintegração do modelo de Engenharia do NANOSATCBR-1 com o acompanhamento do Engenheiro Rubens Zolar Gehlen Bohrer e dos colegas Iago Camargo Silveira e Pietro Fernando Moro.



CAPITULO 5

5 REVISÃO DO PROJETO

O Capítulo 5 aborda a Revisão Final Do Projeto NANOSATC-BR1, com enfoque para sua Análise de Missão. Na manhã do dia 28 de fevereiro de 2012 foi realizada a Primeira Revisão do Projeto NANOSATC-BR1, seguindo a programação apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Programação da Primeira Revisão do projeto NANOSATC-BR1

Horário	Atividades	Palestrante
9h – 9h30min	O programa NanosatC-Br1, desenvolvimento de Cubesat	Dr Nelson Jorge Schuch
9h30min-10h	A missão NanosatC-Br1	Dr.Otávio Durão
10h-10h30min	Carga Útil Missão Científica	Dr. Odim Mendes Junior José Paulo Marchezi Dr. Nalin B. Trivedi
10min	INTERVALO	
10h40min-11h10	Carga Útil Missão Tecnológica (placa e FPGA)	Profa. Dra. Fernanda Kastensmid Gustavo Fernando Dessbesell
11h10min-11h45	Análise de Missão	Tális Piovesan Maurício Ricardo Balestrin Iago Camargo Silveira
11h45min-12h	Subsistema Estrutural	Eng. Rubens Zolar Gehlen Bohrer
	ALMOÇO	
13h30min-13h50	Sistema e Gerenciamento	Eng. Lucas Lopes Costa
13h50min-14h10	AIT	Eng. Eduardo Escobar Burger
14h10min-14h25	Balanço de Potência	Dimas Irion Alves
14h25min-14h55	Estação Terrena no CRS e Operação	Prof. Dr. Renato Machado

Após as apresentações os presentes participaram das discussões: **Sugestões dos Revisores para as posteriores fases e análises do Projeto NANOSATC-BR1.**



5.1 ANÁLISE DA MISSÃO

A Análise de missão teve início com a apresentação do acadêmico Tális Piovesan. Sua apresentação teve como tema a determinação e controle de atitude do NANOSATC-BR1, além de controle de velocidade e controle das antenas. Foi apresentado os sistemas eletrônicos do NANOSATC-BR1 e posterior uma apresentação do controle do NANOSATC-BR1 depois que ele é ejetado no espaço do dispositivo POD.

A apresentação de **Maurício Ricardo Balestrin**, cópia em anexo (Anexo 2 - Apresentação Análise de Missão), teve como tema a apresentação dos testes que devem ser realizados no NANOSATC-BR1, isso na fase de pré lançamento, além da explicação sobre o possível Lançamento que deve ser realizado com o foguete Longa Marcha, na China.



CAPITULO 6

6 DOCUMENTO SUBSISTEMA ESTRUTURAL

O Capítulo 6 aborda o documento do Subsistema Estrutural do NANOSATC-BR1 que está sendo preparado com objetivo de identificar as principais características e particularidades que envolve o Subsistema Estrutural do NANOSATC-BR1.

6.1 DESCRIÇÃO DOS SUBSISTEMAS DO NANOSATC-BR1

Iniciando pela abordagem da definição de satélites da classe designada como CubeSats, abordando conceito, designação, projeto, órbita, em uma descrição geral de Cubesats.

Descreve-se os subsistemas, *Structure Subsystem*, *Electrical Power Subsystem*, *Telemetry, Tracking and Command*, *Command and Data Handling*, *Attitude Control Subsystem*, com tabelas e gráficos descrevendo-os quanto as suas propriedades de massa.

Projeto

Descreve-se o ciclo de vida de um projeto na área espacial, seguido como modelo pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e parcialmente adaptado ao Projeto NANOSATC-BR1, junto a sua Missão, científica e tecnológica. Por fim uma abordagem dos objetivos, primários e secundários assim como científicos e de desenvolvimento humano.

6.2 REQUISITOS DO PROJETO

Descreve-se, Requisitos Mecânicos (Dimensão, Massa e POD), Requisitos Elétricos, Requisitos de Lançamento e Interface com Lançador e Requisitos de Teste.

6.3 APROXIMAÇÕES E CONSIDERAÇÕES

Aproximações de Projeto, Veículo Lançador (LV, do inglês *Launch Vehicle*) escolhido. Cargas dinâmicas, estáticas e requisitos específicos do LV para satélites secundários (CubeSat). Fatores de Segurança (FS).

Nas Considerações de Projeto descrevem-se as considerações utilizadas durante o desenvolvimento do Projeto NANOSATC-BR1. Por exemplo, no balanço de massa estipula valor para a Placa de Circuito Impresso (PCI) do *Breakout Board* (BoB). E considerações



nos quatro casos de carregamento utilizados nas análises mecânicas via Método dos Elementos Finitos (MEF).

O Projeto Mecânico Estrutural descreve-se os materiais que são empregados no NANOSATC-BR1 para cada parte que compõe o satélite, sendo que a lista de materiais foi disponibilizada pela empresa Holandesa *Innovative space logistics BV – ISL/ISIS*.

Balanço de Massa, descreve o balanço de massa completo do NANOSATC-BR1. Tomando o documento *NanoSatC-BR_STS-1_Rev.2_Balanço de Massa* como base.

Análise Estrutural, descreve a análise estrutural do NANOSATC-BR1 via MEF, seguindo a mesma ideia utilizada no documento de Balanço de Massa do NANOSATC-BR1.

6.4 APÊNDICES DO SUBSISTEMA ESTRUTURAL

- Apêndice A – Requisitos de Projeto NANOSATC-BR1.
- Apêndice B – Propriedades dos Materiais.
- Apêndice C – Propriedades do Veículo Lançador



CONCLUSÃO

Tendo realizado o principal objetivo que era definir, acompanhar e atuar na integração e testes ambientais do satélite, realizando relatórios e documentações de análise dos testes mecânicos estruturais, assim como os objetivos de identificar e revisar os trabalhos referentes às análises estruturais realizadas até o momento, identificar e conhecer os sistemas e subsistemas que integram o satélite da classe dos CubeSats, em especial o NANOSATC-BR1. O Projeto de Pesquisa contribuiu muito para o desenvolvimento pessoal e profissional do acadêmico, e com um avanço no Projeto NANOSATC-BR1.

Devido a poucas modificações na arquitetura mecânica e a baixas tensões atuantes, optou-se por não realizar de momento uma nova Análise Estrutural, sendo assim seguiu-se com os resultados obtidos por BOHRER (2011). Assim como optou-se por não ser realizado de momento atividades de reengenharia e seguir com as apresentadas por BOHRER (2011).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SCHUCH, N. J. et al. **Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats. Documento Preliminar de Revisão. 2011.**

SCHUCH, N. J. e DURÃO, O. S. C. **Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats. 2010.**

BOHRER, R. Z. G. **Desenvolvimento Do Projeto Mecânico Estrutural Do Satélite NANOSATC-BR.** Trabalho De Conclusão De Curso. 2011.

FRANKE, L. L. C. **Análise da Interferência da Variação de Temperatura no Comportamento de Magnetômetros em CubeSats – Estudos de Controle Térmico.** Relatório Final de Bolsa PIBIC/INPE – CNPq. 2010. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE, Santa Maria, RS. 2010.

COSTA, R. L. **Subsistema de Suprimento de Energia para o NanosatC-BR: Geração e Armazenamento de Energia.** Relatório Final de Bolsa PIBIC/INPE – CNPq. 2009. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE, Santa Maria, RS. 2009

DE SOUZA, Petrônio N. Curso **Introdutório de Tecnologia de Satélites – Subsistema de Controle de Atitude.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos – SP, 2007.



ANEXOS



Anexo 1

NanoSatC-BR_STS-3_Rev.1_Balanco de Massa



FASE B

STRUCTURE SUBSYSTEM

NanoSatC-BR_STR-3_Rev.1_Balanço de Massa

BALANÇO DE MASSA NANOSATC-BR1

Autor:
Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Maurício Ricardo Balestrin

Verificado por:

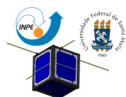
Aprovado por:
Otávio Santos Cupertino Durão
Nelson Jorge Schuch





CONTROLE DE REVISÕES

Versão/Revisão	Data	Alterações	Criado/Modificado por
1.0/0	29/04/2011	Balanço de Massa	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
2.0/0	17/03/2012	Balanço de Massa	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
3.0/1	18/05/2012	Balanço de Massa	Rubens Zolar Gehlen Bohrer Maurício Ricardo Balestrin



Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
1.1. Objetivos do Documento	6
1.1.1. Objetivo Principal	6
1.1.2. Objetivos Secundários	6
1.2. Requisitos de Massa	6
2. PROPRIEDADES DE MASSA	8
2.1. Introdução	8
2.2. Propriedades de Massa dos Subistemas	8
2.2.1. Structure Subsystem - STR	8
2.2.2. Eletrical Power Subsystem - EPS	11
2.2.3. Command and Data Handling - CDH	12
2.2.4. Telemetry, Tracking and Command - TT&C	14
2.2.5. Attitude Control Subsystem – ACS	15
3. BALANÇO DE MASSA	17
3.1. Introdução	17
3.2. Balanço de massa do NANOSATC-BR1	8
4. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES	20
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21



TERMOS, DEFINIÇÕES E ABREVIACÕES

Molduras Laterais	<i>Side Frames</i>
Costelas	<i>Ribs</i>
Painéis Laterais e Superiores	<i>Shear Panels</i>
Tirantes	<i>Threaded Rods</i>
ISL/ISIS	<i>Innovative Solutions In Space</i>
PCI	Placa de Circuito Impresso
EM	<i>Enginnering Model</i>
FM	<i>Flight Model</i>



1. INTRODUÇÃO

O presente documento apresenta as características de distribuição de massa do satélite da classe CubeSat, o NANOSATC-BR1.

O NANOSATC-BR1 é um satélite da classe CubeSat a ser integrado e parcialmente desenvolvido no Brasil, segundo [1] a ideia de desenvolver esse tipo de satélite foi de obter um sistema simples e confiável que possibilitasse um rápido desenvolvimento e custos reduzidos. Além disso, através da implementação do Projeto NANOSATC-BR foi possível iniciar um processo de qualificação de estudantes da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, em diversas áreas espaciais.

O Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats, é um projeto voltado para o desenvolvimento de um satélite da classe dos CubeSats com ampla participação de alunos de diversos cursos de ciências e tecnologias da UFSM.

O Projeto **NANOSATC-BR** consiste em um Programa Integrado de formação de Recursos Humanos especializados, em nível de Graduação Universitária, voltado para a Pesquisa Espacial com o desenvolvimento de Engenharias, Tecnologias Espaciais, Informática e Ciências Espaciais, na forma de um satélite miniaturizado, da classe dos nanosatélites, tipo CUBESAT, o **NANOSATC-BR**, com o objetivo científico de monitorar em tempo real, no âmbito do Geoespaço e Clima Espacial, os distúrbios observados na Magnetosfera Terrestre – Campo Geomagnético e a precipitação de partículas energéticas, sobre o Território Brasileiro, com a determinação de seus efeitos nas grandes regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS e do Eletrojato da Ionosfera Equatorial, (Schuch e Durão, 2010, p. 4)

Através do desenvolvimento do NANOSATC-BR1 busca-se o crescimento das atividades de pesquisa relacionadas ao clima espacial e a sistemas e subsistemas espaciais. Dessa maneira podem-se dividir os objetivos do Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats em dois veios principais, capacitação de recursos humanos e desenvolvimento tecnológicos.

A partir da possibilidade de adquirir a plataforma, sistemas e subsistemas qualificados de empresas especializadas, optou-se por comprar um sistema completo,



integrado e qualificado [1]. Dessa forma, dois modelos estão sendo adquiridos da empresa Holandesa ISL/ISIS – *Innovative Solutions in Space*, um modelo de voo (FM), com todos os sistemas e subsistemas integrados e qualificados, exceto as cargas úteis, e um modelo de engenharia (EM), com os mesmos sistemas e subsistemas exceto as células solares, sistema de controle de atitude e cargas úteis integradas.

A aquisição do EM possibilitará o manuseio dos sistemas do satélite oferecendo uma condição prática de aprendizado aos integrantes do projeto. Além disso, o EM deverá ser utilizado nos testes de qualificação para voo (testes ambientais e operacionais) após a integração das cargas úteis.

Apesar do FM ser integrado e qualificado, algumas atividades deverão ser realizadas para complementar o desenvolvimento do satélite, de acordo com [1] as atividades a serem realizadas são:

- Integração das cargas úteis à plataforma integrada e interfaces;
- Desenvolvimento dos softwares de bordo:
 - Controle de atitude,
 - Gerenciamento de dados;
- Desenvolvimento do software de solo;
- Testes:
 - Controle de atitude,
 - Operacionais, funcionais,
 - Ambientais;
- Interface com o lançador:
 - Dispositivo POD,
 - Logística.



1.1. Objetivos do Documento

1.1.1. Objetivo Principal

O objetivo principal do presente documento é descrever as propriedades de massa de cada subsistema, assim como do sistema como um todo do satélite da classe CubeSat, o NANOSATC-BR1.

1.1.2. Objetivos Secundários

Os objetivos secundários são definidos como:

- Definir as propriedades de Centro de Massa do satélite;
- Avaliar os requisitos de massa descritos por [3] com as propriedades de massa definidas para o satélite NANOSATC-BR1;
- Apresentar as considerações e aproximações realizadas para determinação da massa total do satélite, a qual é utilizada como base para as análises mecânicas via Método dos Elementos Finitos (MEF).

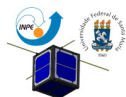
1.2. Requisitos de Massa

Os requisitos de massa do NANOSATC-BR1 são apresentados por [3] e [4] e são descritos abaixo:

- CubeSat não pode exceder massa de 1,33 Kg (POD) ou 2,0 Kg (ISIPOD);



- Centro de gravidade deve estar localizado dentro de uma esfera imaginária de 2cm com centro no centro geométrico do satélite;
- Massa preliminar do Subistema Estrutural (incluindo estrutura primária e secundária) não devem exceder 20% da massa total do satélite.



2. PROPRIEDADES DE MASSA

2.1. Introdução

O presente capítulo possui como objetivo descrever as propriedades de massa de cada subsistema que compõe o satélite NANOSATC-BR1.

2.2. Propriedades de Massa dos Subsistemas

2.2.1. Structure Subsystem - STR

As características de massa da estrutura principal e secundária são definidas em [5].

Os componentes e as respectivas massas do Subsistema Estrutural estão listados na Tabela 1.

Tabela 11 – Componentes do Subsistema Estrutural do NANOSATC-BR1.

<i>Structure Subsystem (Primary and Secondary)</i>			
	<i>Unit mass [g]</i>	<i>Quantity</i>	<i>Total mass [g]</i>
<i>4x Rib (CDEF)</i>	24,51	1	24,51
<i>Threaded Rod Assembly</i>	8,67	4	34,68
<i>kill switch mechanism</i>	2,35	2	4,7
<i>SSP</i>	13,07	3	39,21
<i>M1.6</i>	0,0736	8	0,5888
<i>M1.6 Nut</i>	0,0668	4	0,2672
<i>M2.5x6 T8</i>	0,2812	32	8,9984
<i>M3x8 T10</i>	0,5223	4	2,0892
<i>Helicoil M2.5x1.5D</i>	0,0542	32	<i>Included</i>
<i>Helicoil M3x1.5D</i>	0,0997	4	<i>Included</i>
<i>AL M3 Spacer, Length 12 [mm]</i>	0,3561	16	5,6976



<i>Al M3 Hex Nut, Length 10 [mm]</i>	0,4494	4	1,7976
<i>Washer M3 (ø3.2x7[mm]/t=0.5)</i>	0,1179	86	10,1394
<i>Microswitch</i>	0,2927	2	0,5854
<i>Kill Switch Spring</i>	0,2096	2	0,4192
<i>2x Side Frames (HeliCoils included)</i>	55,8	1	55,8
<i>Structure Subsystem total mass</i>			<i>189,4828</i>

Os componentes do NANOSATC-BR1, anteriores a integração, são ilustrados na Figura 1, a Figura 2 ilustra a vista em CAD do Subsystema Estrutural integrado, sendo suprimidos os

painéis laterais (*SSP*), parafusos (*M1.6; M2.5x6 T8; M3x8 T10*) e espaçadores (*AL M3 Spacer, Length 12 [mm]; Washer M3 (ø3.2x7[mm]/t=0.5)*).



Figura 16 - Componentes do NANOSATC-BR1 anterior a integração do Subsystema Estrutural.²

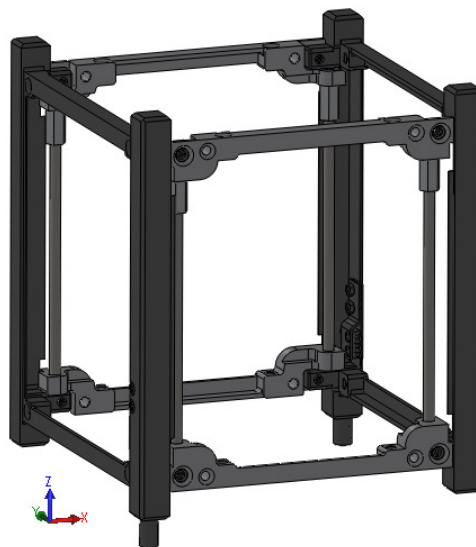
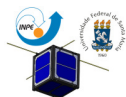


Figura 2 - Estrutura Primária do NANOSATC-BR. 4 Ribs em cinza, 2 Side Frames em preto fosco e 4 Threaded Rod Assembly ligando as Ribs.

² Fonte: Lebbink, G.. Assembly Manual ISIS 1-Unit CubeSat Structure, Doc: ISIS.STS.1U.TN.015
Version: 2.0, 2010.



2.2.2. Eletrical Power Subsystem - EPS

As características de massa do Subistema de Potência são definidas em [6].

É previsto que o Subistema de Potência seja composto por doze células solares de tripla junção com dimensões 40 x 70 mm, Figura 3, uma unidade de suprimento de potência e baterias, Figura 4. Sendo as propriedades de massa do subsistema de potência descritas na Tabela 2.

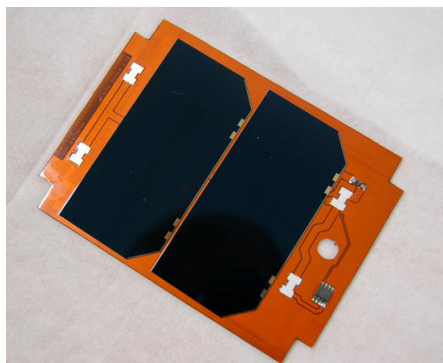


Figura 3 – Células solar de tripla junção fixadas em um painel lateral.³

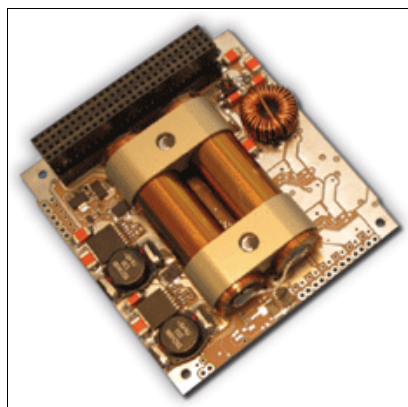


Figura 4 – Subistema de Potência NanoPower P30U. Fonte [6]

³ Fonte - <http://www.clyde-space.com/documents/186/186-large.jpg>.

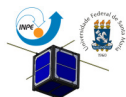


Tabela 12 – Propriedades de massa do subsistema de potência.

Descrição	Massa (g)
NanoPower P30U com baterias	200
2x SAMTEC - Extensão conector PC104	4,96
Células Solares (x12)	54,81
Massa total	259,77

2.2.3. Command and Data Handling - CDH

As características de massa do Subsistema de Controle e Comunicação são definidas em:

- “*TRXUV VHF/UHF Transceiver*”, referência [7];
- “*NanoMind A702*”, referência [8];
- “*Deployable UHF and VHF antennas*”, referência [9];
- “*ISIS Generic interface system User Manual*”, referência [10].

Referentes respectivamente ao *Transceiver*, Computador de Bordo, Antena e IGIS.

O subsistema de comunicação e dados engloba duas PCI, o IGIS (*ISIS Generic Interface System*), Figura 5, e a uma Antena dipolo (2UHF e 2VHF), Figura 6. As duas PCIs são ocupadas pelo Computador de Bordo, Figura 7, e o *Transceiver*, Figura 8, a Tabela 3 demonstra as propriedades de massa de cada componente.

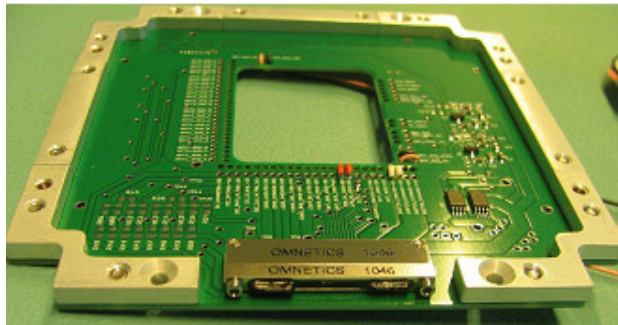


Figura 5 - IGIS (ISIS Generic Interface System. Fonte [10].

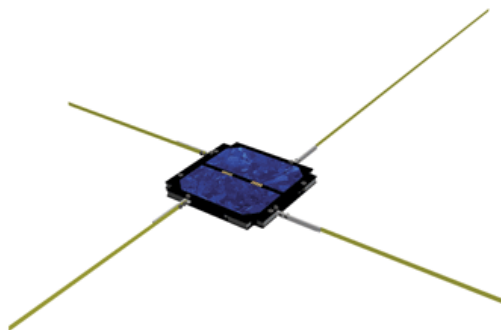


Figura 6 - Dipole Deployable Antenna. Fonte [9].

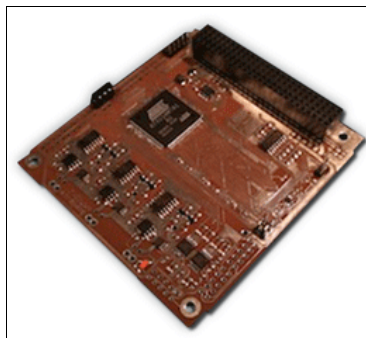


Figura 7 - Computador de Bordo NanoMind A702. Fonte [8].

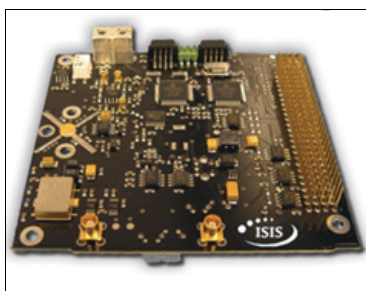
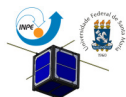


Figura 8 - TRXUV VHF/UHF Transceiver. Fonte [7].

Tabela 13 – Propriedades de massa do subsistema de comunicação.

Descrição	Massa (g)
Computador de Bordo (NanoMind_712)	55
Antenas (<i>Deployable CubeSat Antenna System</i>)	88
TRXUV VHF/UHF Transceiver	90
IGIS (<i>ISIS Generic Interface System</i>)	72
Massa total	305

2.2.4. Telemetry, Tracking and Command - TT&C

Vindo ao encontro do objetivo científico do Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats, um magnetômetro triaxial de baixa potência modelo XEN-1210 da empresa Xensor Integration, Figura 9, deverá ser integrando ao satélite.

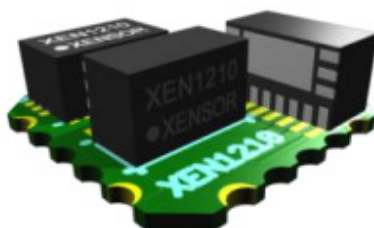
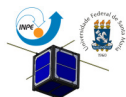


Figura 9 - Magnetômetro XEN-1210. Fonte [11].



A missão NANOSATC-BR1 conta ainda com outros dois experimentos a serem integrados no satélite NANOSATC-BR1, um Test Chip em desenvolvimento pela Santa Maria Design House (SMDH) e um FPGA em desenvolvimento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As massas do Test Chip da SMDH e do FPGA da UFRGS foram estimadas a partir de reuniões realizadas com os responsáveis de ambos os Projetos.

Para sustentar o Subsistema de Carga Útil, uma nova PCI deverá ser fabricada, substituindo o atual *Break out Board* (BoB), suas características de massa foram, a exemplo do Test Chip e FPGA estimada baseada na massa do *Transceiver* (componente com menor quantidade de componentes integrados em sua PCI).

Dessa forma, as propriedades de massa do Subsistema de Carga Útil são demonstradas na Tabela 4.

Tabela 14 – Propriedades de massa da Carga Útil.

Descrição	Massa (g)
Nova PCI_BoB *estimada	55
TestChip SMDH *estimada	20
FPGA ProASIC3 UFRGS *estimada	20
Magnetometro XEN-1210	1
Massa total	96

2.2.5. Attitude Control Subsystem – ACS

O Subsistema de Controle de Atitude conta com dois *NanoPower Solar 100U*, painel solar integrado com Magnetotorque, Sensor solar e Sensor de Temperatura, Figura 10. A massa da cada *NanoPower Solar 100U* é de 59g, totalizando 118g.

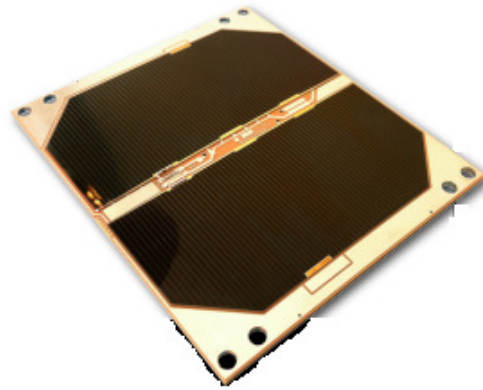
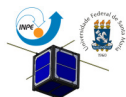


Figura 10 - *NanoPower Solar 100U*. Fonte [10].



3. BALANÇO DE MASSA

3.1. Introdução

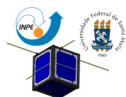
O presente Capítulo visa ilustrar a distribuição de massa de cada subsistema e do satélite como um todo.

3.2. Balanço de massa do NANOSATC-BR1

A partir dos dados apresentados na seção 2.2, foi elaborada a Tabela 5 com o levantamento das massas de todos os sistemas e subsistemas. A ilustração da distribuição proporcional de massa entre os subsistemas é demonstrada na Figura 11.

Tabela 15 – Balanço de Massa do NANOSATC-BR1.

Descrição	Massa (g)
Structure Subsystem - STR	
Estrutura Primária e Secundária	189,4828
Massa total Sistema Estrutural	189,4828
Electrical Power Subsystem – EPS	
NanoPower P30U com baterias	200
2x SAMTEC - Extensão conector PC104	4,96
Células Solares (x12)	54,81
Massa total Sistema de Potência	259,77
Telemetry, Tracking and Command - TT&C	
Nova PCI_BoB	55
TestChip SMDH	20
FPGA ProASIC3 UFRGS	20
Magnetometro XEN-1210	1
Massa total Carga Útil	96
Command and Data Handling – CDH	
Computador de Bordo (NanoMind_712)	55
Antenas (<i>Deployable CubeSat Antenna System</i>)	88
TRXUV VHF/UHF Transceiver	90
IGIS (<i>ISIS Generic Interface System</i>)	72



Massa total Sistema de Comunicação	305
<i>Attitude Control Subsystem – ACS</i>	
2x NanoPower Solar 100U (x3)	118
Massa Total NANOSATC-BR (g)	968,2528

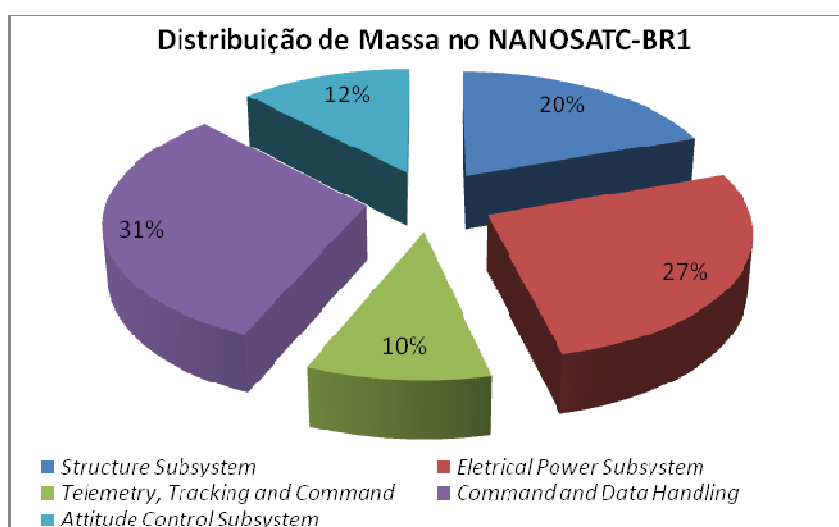


Figura 11 – Distribuição da massa do NANOSATC-BR1.

O centro de massa do satélite NANOSATC-BR1, em relação ao centro geométrico do mesmo é apresentado na Tabela 6. Os valores apresentados são oriundos de desenhos CAD 3D do satélite elaborados via os desenhos fornecidos pela empresa ISL/ISIS.

Por não conhecer os reais centros de massa de cada subsistema, especialmente no caso dos subsistemas internos, os mesmos foram considerados como sendo o centro geométrico de cada componente.



Tabela 6 – Propriedades de massa do NANOSATC-BR

Massa	968,2528
Centro de Massa	[mm]
X _c	-1,11
Y _c	2,76
Z _c	-4,45



4. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Baseado nos objetivos do documento, apresentados na seção 1.2 do presente documento, são discutidos as propriedades de massa do NANOSATC-BR1.

As propriedades de massa são apresentadas, sendo descritas para cada subsistema que integra o modelo de voo do satélite, resultando em uma massa total de 968,25 gramas.

Os requisitos de massa para CubeSats foram apresentados na seção 1.3. Avaliando os resultados para o satélite brasileiro comparando com os requisitos de massa, temos que a massa do NANOSATC-BR1 resultou um total de 968,25g, sendo que a massa total do satélite pode possuir no máximo 1,33 Kg para POD e 2 Kg no caso do ISIPOD. As propriedades de centro de massa estão localizadas dentro da esfera imaginária de 2 cm de diâmetro com centro no centro geométrico do CubeSat, tendo valores de $X_c = -1,11$ mm; $Y_c = 2,76$ mm e $Z_c = -4,45$ mm em relação ao centro geométrico.

O Subsistema Estrutural apresentou porcentagem da massa total igual a 20%, ou seja 189,5 g, estando definida dentro dos parâmetros definidos para o caso do NANOSATC-BR1.

As principais considerações e aproximações realizadas para o caso do balanço de massa do satélite foram apresentadas, sendo as principais: a definição da massa da nova PCI para a sustentação dos payloads, massa do FPGA ProASIC3 UFRGS e TestChip SMDH e centro de massa



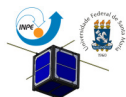
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SCHUCH, N. J. et al.. **Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats**. Documento Preliminar de Revisão. 2011.
- [2] SCHUCH, N. J. e DURÃO, O. S. C. **Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats**. 2010.
- [3] LEE, S. et al., **CubeSat Design Specification – CDS**. Rev.12. 2009. The CubeSat Program. California Polytechnic State University. Disponível em:
<http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev12.pdf>. Acesso em 11 ago. 2010.
- [4] LEBBINK, G, W.. **STS Interface Specification v2.0 ISIS CubeSat STructural Subsystem**. Innovative Solution In Space. Delft, Holanda, 2011.
- [5] CubeSat Structure. Innovative Solutions In Space – ISIS. Disponível em:
<http://www.isispace.nl/media/products/1USTS/Brochure_ISIS_CUBESAT_STS.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2011.
- [6] NanoPower P-series Power Supplies. GOMspace. Disponível em:
<<http://www.gomspace.com/documents/GS-DS-NANOPOWER-3.0.2.pdf>>. Acesso em 27 abr. 2011.
- [7] *TRXUV VHF/UHF Transceiver. Innovative Solutions In Space – ISIS. Disponível em:*
<www.isispace.nl/brochures/ISIS_TRXUV_Transceiver_Brochure_v.10.1.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2011.
- [8] NanoMind A712. GOMspace. Disponível em:
<<http://www.gomspace.com/documents/GS-DS-NM702-2.1.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2011.
- [9] Deployable UHF and VHF antennas. Innovative Solutions In Space – ISIS. Disponível em: <www.isispace.nl/brochures/ISIS_AntS_Brochure_v.10.01.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2011.
- [10] ISIS Generic interface system User Manual. Innovative Solutions In Space – ISIS.
- [11] Magnetic Sensor XEN-1210. Xensor Integration. Disponível em:
<www.xensor.nl/pdf/files/sheets/xen1210.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2012.
- [12] NanoPower Solar 100U. Innovative Solutions In Space – ISIS.



Anexo 2

Apresentação Análise de Missão



Análise de Missão ***Taxa de Transferência de Dados***

Iago Camargo Silveira[1] Maurício Ricardo Balestrin[1], Time NANOSATC-BR [2]

- 1 – Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCTI.
Santa Maria, RS.
- 2 – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – CPA/INPE-MCTI.
São José dos Campos, SP.
- 3 – Parceria: INPE/MCTI – UFSM – SMDH – UFRGS – AEB-LSITEC.
São José dos Campos, Santa Maria, Porto Alegre, Brasília e São Paulo.

Iago7_2011@hotmail.com

AEB – Primeira Revisão do Projeto NANOSATC-BR1
28 de Março de 2012 – LIT/INPE-MCTI, São José dos Campos, SP
LIT/INPE-MCTI – Laboratório de Integração e Testes



Apresentação da Análise da Missão

- 1 – Introdução
- 2 – *Pré lançamento;*
- 3 – *Lançamento;*
- 4 – *Operação pós lançamento ;*
- 5 – *Fase nominal;*
- 6 – *Logística da missão;*
- 7 – *Tempo de visada;*
- 8 – *Atividades Futuras.*

LIT/INPE-MCTI – Laboratório de Integração e Testes



1 – INTRODUÇÃO:

Finalidade da Análise de Missão: Ela é feita para determinar em qual etapa está o projeto, quais especificações foram e devem ser cumpridas e aprovar a certificação de que o satélite cumprira sua missão científica perfeitamente.



2 -PRÉ LANÇAMENTO:

Essa fase inclui **testes** com o NANOSATC-BR1, para sua **aprovação para lançamento**. Incluem **testes** com seus **subsistemas**, e também todos os **testes ambientais** requisitados. Exemplificação:

- Níveis de vibrações Sinusoidais;
- Ambiente Acústico;
- Vibração aleatória;
- Níveis de teste de choque.

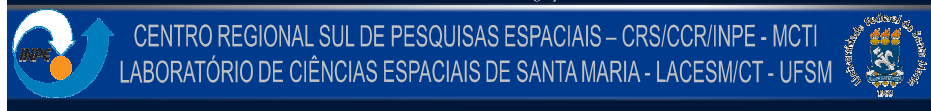




Testes para aprovação do NANOSATC-BR1

- “Bakeout” Termo;
- Teste Cíclico térmico;
- Inspeção Visual;
- Qualificação;
- Protoflight;
- Aceitação;
- Testes Eletromagnéticos;
- Vibração Senoidal;
- Vibração Aleatória (Randômica);
- Teste de Choque

LIT/INPE-MCTI - Laboratório de Integração e Testes



2 – PRÉ LANÇAMENTO:

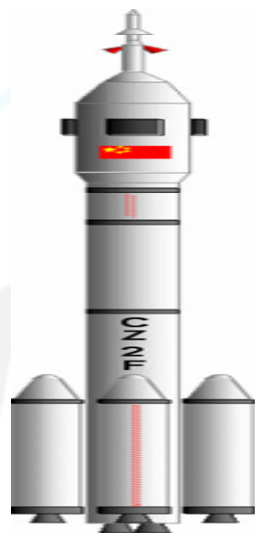
Testes finais no local de lançamento são realizados e o satélite é preparado para o lançamento. Atividades necessárias antes do lançamento do satélite, quando ele **já estiver integrado** no dispositivo de interface **POD**, são: O carregamento das baterias e o “*check-out*” dos subsistemas do satélite.

LIT/INPE-MCTI - Laboratório de Integração e Testes



3 –LANÇAMENTO:

O lançamento **deve ser realizado no Centro de Lançamento de Taiyuan**, na República Popular da China, sendo efetuado pelo foguete Longa marcha.



**Foguete Longa
Marcha**

LIT/INPE-MCTI - Laboratório de Integração e Testes



4 – OPERAÇÕES PÓS LANÇAMENTO

Acontece a **separação do satélite do dispositivo POD**.

Ativação do subsistema de baterias,

“Switch on” e abertura de antena,

Envio de sinal inicial do satélite (Beacon), que deve ser realizada para uma **estação rádio amadora**, pois demorara a ter contato entre o satélite e a estação terrena de Santa Maria (pelas últimas estimativas demoraria mais de nove horas para ter o primeiro contato).

Validação do **funcionamento correto do subsistema de comunicação** do satélite;

Validação do **data link** da estação terrena (Transceiver).



5 – FASE NOMINAL

Durante a fase nominal o NANOSATC-BR1 estará **completamente funcional devendo desempenhar** todo o seu **papel científico**, com a devida utilização de suas cargas úteis.





5 – FASE NOMINAL

Deverá **monitorar o Geoespaço**, o **Campo Geomagnético** e a **precipitação de partículas energéticas**, os **distúrbios** observados na Magnetosfera Terrestre e registrar os seus efeitos nas regiões do **AMAS** e o **Eletrojato da Ionosfera Equatorial** também contará com **dois circuitos** integrados com **proteção à radiação** (um feito na UFSM e outro na UFRGS).