



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **INTERFACE LANÇADOR/CUBESAT PARA O PROJETO DO NANOSATC-BR**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

**PROCESSO Nº: 103111/2009-3**

**Eduardo Escobar Bürger – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT**  
**Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas**  
LAMEC/CRS/CCR/INPE – MCT  
**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais**  
CRS/CCR/INPE – MCT  
E-mail: eburger@lacesm.ufsm.com

**Dr. Otavio Santos Cupertino Durão – Orientador**  
**Coordenação de Planejamento Estratégico e Avaliação**  
CPA/DIR/INPE – MCT  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
INPE - MCT  
E-mail: durao@dir.inpe.br

**Santa Maria, junho de 2010**



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT  
*Relatório Final de Atividades*

**RELATÓRIO FINAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO  
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT**

**PROJETO**

**INTERFACE LANÇADOR/CUBESAT PARA O PROJETO DO  
NANOSATC-BR**

**PROCESSO N°: 103111/2009-3**

**Relatório elaborado por:**

**Eduardo Escobar Bürger** – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT  
E-mail: eburger@lacesm.ufsm.com

**Dr. Otavio Santos Cupertino Durão** – Orientador  
**Coordenação de Planejamento Estratégico e Avaliação**  
CPA/DIR/INPE – MCT  
E-mail: durao@dir.inpe.br

**Dr. Nelson Jorge Schuch** – Co-Orientador  
**Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais**  
CRS/CCR/INPE – MCT  
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Projeto:**

### **INTERFACE LANÇADOR/CUBESAT PARA O PROJETO DO NANOSATC-BR**

**Processo CNPq:** Nº 103111/2009-3.

**Bolsista:**

**Eduardo Escobar Bürger**

Curso de Engenharia Mecânica - Centro de Tecnologia

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

**Orientador:**

**Dr. Otávio Santos Cupertino Durão**

Coordenação de Planejamento Estratégico e Avaliação – CPA/DIR/INPE – MCT

**Co-Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT

**Colaboradores/ Acadêmicos:**

Lucas Lopes Costa – Curso de Engenharia Mecânica

Rubens Zolar Gehlen Bohrer – Curso de Engenharia Mecânica

Lucas Lourencena Caldas Franke – Curso de Engenharia Mecânica

Fernando Landerdahl Alves – Curso de Engenharia Mecânica

**Local de Trabalho/Execução do Projeto:**

Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas –  
LAMEC/CRS/CCR/INPE – MCT

Projeto executado no âmbito da Parceria INPE/MCT – UFSM através do  
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT-UFSM



Grupo de Pesquisa

**Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo:  
Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br**



[Identificação](#)

[Recursos Humanos](#)

[Linhas de Pesquisa](#)

[Indicadores do Grupo](#)

**Identificação**

**Dados básicos**

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br

**Status do grupo:** **certificado pela instituição**

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 30/05/2011 17:58

**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:** Coordenação de Gestão Científica - CIE

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

**Endereço**

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**CEP:** 97110970

**Cidade:** Santa Maria

**UF:** RS

**Telefone:** 33012026

**Fax:** 33012030

**Home page:** <http://>

**Repercussões dos trabalhos do grupo**

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL 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, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT  
*Relatório Final de Atividades*

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 (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Australia (Australian Government Antarctic Division e 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, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. 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: 48

<a href="#">Ademar Michels</a>	<a href="#">Jean Carlo Santos</a>
<a href="#">Adriano Petry</a>	<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>
<a href="#">Alan Prestes</a>	<a href="#">Joao Paulo Minussi</a>
<a href="#">Alexandre Alvares Pimenta</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Lucas Ramos Vieira</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Marcelo Barcellos da Rosa</a>
<a href="#">Caitano Luiz da Silva</a>	<a href="#">Marco Ivan Rodrigues Sampaio</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Marcos Vinicius Dias Silveira</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Nalin Babulau Trivedi</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes - (líder)</a>
<a href="#">Cristiano Max Wrasse</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch - (líder)</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nivaor Rodolfo Rigozo</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Odim Mendes Junior</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Osmar Pinto Junior</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Pawel Rozenfeld</a>
<a href="#">Fábio Augusto Vargas dos Santos</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>



Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT  
*Relatório Final de Atividades*

[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)

[Polinaya Muralikrishna](#)

[Fernando Luís Guarnieri](#)

[Rafael Lopes Costa](#)

[Gelson Lauro Dal' Forno](#)

[Rajaram Purushottam Kane](#)

[Hisao Takahashi](#)

[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)

[Ijar Milagre da Fonseca](#)

[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)

**Estudantes**

**Total: 25**

[Bruno Knevitz Hammerschmitt](#)

[Lucas Camponogara Viera](#)

[Cássio Rodinei dos Santos](#)

[Lucas Lopes Costa](#)

[Claudio Machado Paulo](#)

[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)

[Dimas Irion Alves](#)

[Mauricio Rosa de Souza](#)

[Edson Rodrigo Thomas](#)

[Michel Baptistella Stefanello](#)

[Eduardo Escobar Bürger](#)

[Nikolas Kemmerich](#)

[Eduardo Weide Luiz](#)

[Pietro Fernando Moro](#)

[Felipe Cipriani Luzzi](#)

[Roger Hatwig de Lima](#)

[Guilherme Grams](#)

[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)

[Guilherme Simon da Rosa](#)

[Tális Piovesan](#)

[Igor Freitas Fagundes](#)

[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)

[José Paulo Marchezi](#)

[William do Nascimento Guareschi](#)

[Leonardo Zavareze da Costa](#)

**Técnicos**

**Total: 2**

Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função

Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas

**Linhas de pesquisa**

**Total: 4**

- [AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA](#)
- [Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR](#)
- [MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)
- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

**Indicadores de recursos humanos do grupo**

Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	48
Estudante(s)	25
Técnico(s)	2



## Linha de Pesquisa Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

### Linha de pesquisa

#### Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

**Nome do grupo:** [Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações Terra - Sol, NanoSatC-Br](#)

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

#### Pesquisadores:

[Ademar Michels](#)  
[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez Alarcon](#)  
[Alisson Dal Lago](#)  
[Antonio Claret Palerosi](#)  
[Cassio Espindola Antunes](#)  
[Clezio Marcos De Nardin](#)  
[Cristiano Sarzi Machado](#)  
[Ezequiel Echer](#)  
[Fabiano Luis de Sousa](#)  
[Fernando Luis Guarnieri](#)  
[Ijar Milagre da Fonseca](#)  
[Jean Pierre Raulin](#)  
[Jose Humberto Andrade Sobral](#)  
[Lucas Ramos Vieira](#)  
[Nalin Babulal Trivedi](#)  
[Natanael Rodrigues Gomes](#)  
[Nelson Jorge Schuch](#)  
[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)  
[Odim Mendes Junior](#)  
[Otavio Santos Cupertino Durao](#)  
[Pawel Rosenfeld](#)  
[Petrônio Noronha de Souza](#)  
[Rafael Lopes Costa](#)  
[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)  
[Walter Demetrio Gonzalez-Alarcon](#)

#### Estudantes:

[Dimas Irion Alves](#)  
[Eduardo Escobar Bürger](#)  
[Guilherme Grams](#)  
[Guilherme Simon da Rosa](#)  
[Igor Freitas Fagundes](#)  
[José Paulo Marchezi](#)  
[Leonardo Zavareze da Costa](#)  
[Lucas Lopes Costa](#)  
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)  
[Mauricio Rosa de Souza](#)  
[Nikolas Kemmerich](#)  
[Pietro Fernando Moro](#)  
[Roger Hatwig de Lima](#)  
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)



[Tális Piovesan](#)  
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)  
[William do Nascimento Guareschi](#)  
[Willian Rigon Silva](#)

**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 em Engenharias/Tecnologias: eletrônica, comunicações, mecânica, lançamento de pequenos satélites científico universitário - iniciação científica: CubeSat (100g-1Kg, 10x10x10cm), Nanosatélite (1Kg-10Kg); Carga útil: magnetômetro e detector de partículas; Desenvolvimentos: estrutura mecânica, computador-bordo, programas, estação terrena, testes/integração, sub-sistemas: potencia, propulsão, telemetria, controle: atitude, térmico, Vice-Líder: Otávio Santos Cupertino Durão



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Dr. Otavio Santos Cupertino Durão pelos esforços e dedicação ao Projeto, e ao meu amigo, meu Co-Orientador e mentor Dr. Nelson Jorge Schuch pelo apoio profissional e pessoal prestado em todas as dificuldades encontradas no decorrer do Projeto de Pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos:

- Aos funcionários, servidores do CRS/CCR/INPE – MCT e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infra-estrutura 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. Ezzat Selim Chalhoub e a Sra. Egidia Inácio da Rosa, Secretária do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/CCR/INPE - MCT.

Não poderia deixar de mencionar, e agradecer aos meus colegas e acadêmicos do curso de Engenharia Mecânica da UFSM: Lucas Lopes Costa, Rubens Zolar Gehlen Bohrer, Lucas Lourencena Caldas Franke e Fernando L. Alves.

Agradecimentos especiais ao Dr. Geilson Loureiro que muito está contribuindo para o andamento do Projeto do NANOSATC-BR, e que propiciou o treinamento e apoio no Laboratório de Integração e Testes – LIT, na sede do INPE/MCT, em São José dos Campos – SP.

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 2009.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO 1 - PROJETO NANOSATC-BR DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS</b> .....	13
1.1	INTRODUÇÃO .....	13
1.2	MISSÃO .....	14
1.2.1	Missão científica .....	14
1.2.2	Missão tecnológica .....	16
1.2.3	Objetivo principal do Projeto .....	17
1.3	EQUIPE.....	18
1.4	LANÇAMENTO .....	19
1.5	SITUAÇÃO ATUAL DO PROJETO.....	20
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DA INTERFACE POD</b> .....	22
2.1	POD ASPECTOS GERAIS.....	22
2.2	INTERFACE ELÉTRICA.....	24
2.3	INTERFACE MECÂNICA .....	25
2.4	REGRAS DE TEMPORIZAÇÃO.....	25
2.5	REQUISITOS DE SEGURANÇA.....	26
2.6	TEST-POD .....	26
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3 - TESTES DO CUBESAT NANOSATC-BR1</b> .....	28
3.1	INTRODUÇÃO .....	28
3.2	FILOSOFIA DE MODELOS .....	29
3.3	FILOSOFIA DE TESTES.....	31
3.4	INSTALAÇÕES DISPONÍVEIS.....	33
3.5	LOGÍSTICA DA EMPRESA AGENCIADORA DE LANÇAMENHO.....	35
3.6	PLANO DE AI&T DO PROJETO .....	38
3.6.1	Definição.....	38
3.6.2	Plano AI&T do CubeSat NANOSATC-BR1 .....	39
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 4 - SUGESTÕES E CONCLUSÃO</b> .....	41
4.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	41
4.2	CONCLUSÃO .....	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
	ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS .....	46
	ANEXO 1 .....	47



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Foto da arquitetura de um CubeSat na mão de um aluno da UFSM, em um simpósio da UNOOSA em Graz, Áustria. ....	13
Figura 2 - Modelo CAD do CubeSat NANOSATCBR1 .....	14
Figura 3 - Intensidade Geomagnética na região da anomalia AMAS.....	15
Figura 4 - Concentração de falhas em satélites na região da anomalia SAMA.16	
Figura 5 - Eletrojato da ionosfera Equatorial. ....	16
Figura 6 - Chip desenvolvido pela SMDH, DE Santa Maria – RS. ....	17
Figura 7 - Conograma das Atividades do Projeto NANOSATC-BR1. ....	20
Figura 8 - Cronograma de recebimento de equipamentos. ....	21
Figura 9 - Modelo da estrutura do P-POD, à esquerda, e foto interna do P-POD, à direita. ....	22
Figura 10 - Vista explodida de um POD. ....	23
Figura 11 - ISI-POD.....	23
Figura 12 - Mecanismo de liberação, à direita, e sensor de telemetria, à esquerda. ....	25
Figura 13 - Desenho do Test-POD com um CubeSat no seu interior. ....	27
Figura 14 - Test-POD adaptado à um Shaker.....	27
Figura 15 - Divisão dos Testes do Projeto NANOSATC-BR. ....	28
Figura 16 - Modelos de Engenharia e de Vôo do NANOSATC-BR1. ....	29
Figura 17 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.....	33
Figura 18 - Exemplo de tenda limpa.....	34
Figura 19 - Laboratório de Integração e Testes - LIT.....	34
Figura 20 - Hall de Testes do LIT.....	35
Figura 21 - Fluxo de informações do Projeto.....	35



## RESUMO

O Projeto dá continuidade e conclusão à definição dos testes ambientais do primeiro CubeSat Brasileiro, o NANOSATC-BR1, e a criação da primeira versão do Plano de Testes do Projeto. O documento é importante, devido ao fato que através dele que os alunos envolvidos no Projeto deverão participar dos testes, seguindo-o tal qual um roteiro, auxiliando na ordem, logística e procedimento dos testes feitos tanto na plataforma do Modelo de Engenharia do NANOSATC-BR1, como na de Vôo<sup>1</sup> que são os modelos adquiridos pelo Projeto da *Innovative Space Logistics BV – ISL*, de Delft na Holanda. No trabalho são especificados os tipos de testes que deverão ser efetuados, o maquinário disponível para a realização dos mesmos e os procedimentos para a sua execução. Dos resultados anteriores, chegou-se à conclusão que o provável foguete lançador do CubeSat NANOSATC-BR1 deverá ser o Indiano *Pollar Satellite Launch Vehicle – PSLV*, que possui vasta experiência com esta classe de satélite universitário. Portanto, algumas definições e projeções de níveis aplicados aos testes são hipotéticos, supondo-se que o foguete PSLV Indiano será o veículo lançador do NANOSATC-BR1. Outra meta que será concluída ao término do Projeto é a identificação da influência e interface entre o mecanismo no qual o nanosatélite é alojado no foguete lançador do NANOSATC-BR1, chamado de *Picosatellite Orbital Deployer – P.O.D*. Assim como o CubeSat, a estrutura P.O.D necessita passar por testes, a fim de certificar o funcionamento com outros satélites da mesma classe que compartilham o mesmo mecanismo.

---

<sup>1</sup> Entende-se por plataforma de um satélite, todos os subsistemas menos a carga útil, ou *payload*.

## CAPÍTULO 1

### PROJETO NANOSATC-BR DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS

#### 1.1 INTRODUÇÃO

A idéia do Projeto do primeiro nanosatélite brasileiro da classe dos CubeSats, Figura 1, nasceu há cinco anos atrás, a partir de pesquisas realizadas pelo aluno Silvano Lucas Prochnow, na época bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CCR/INPE e aluno do curso de graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

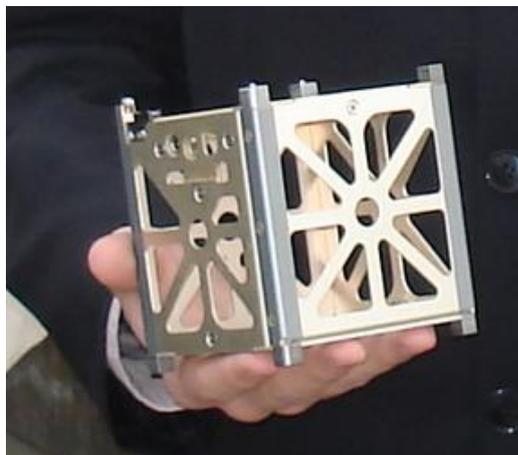


Figura 1 – Foto da arquitetura de um CubeSat na mão de um aluno da UFSM, em um simpósio da UNOOSA em Graz, Áustria.

Desde aquela época, esta idéia liderada pelos Doutores Nelson Jorge Schuch e Otávio Santos Cupertino Durão foi sendo consolidada, passando por diversas barreiras burocráticas.

O Projeto **NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats** consiste em um Programa Integrado de Capacitação de Recursos Humanos para

Pesquisa Espacial com desenvolvimento de Engenharias e Tecnologias Espaciais na forma de um Nanosatélite Científico Brasileiro, o NANOSATC-BR, Figura 2. O satélite NANOSATC-BR é um pequeno satélite da classe CubeSat, o qual possui forma cúbica de 10 cm de aresta, e massa de no máximo 1,33 kg, segundo a padronização criada e desenvolvida pela *California Polytechnic State University – Cal Poly* e *Stanford University* para a classe de satélite. O Projeto foi concebido e criado no CRS/CCR/INPE – MCT no âmbito da parceria entre o INPE/MCT e a UFSM pelo Dr. Nelson Jorge Schuch, atual Gerente Geral do Projeto, com apoio técnico e gerencial do Dr. Eng. Otávio Santos Cupertino Durão, Gerente local no INPE/MCT em São José dos Campos – SP, com a participação de alunos de graduação da UFSM e envolvimento de tecnologistas e engenheiros do INPE/MCT.

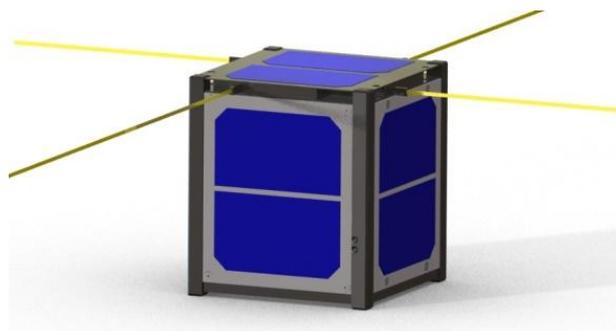


Figura 2 - Modelo CAD do CubeSat NANOSATC-BR1

Fonte: Rubens Bohrer

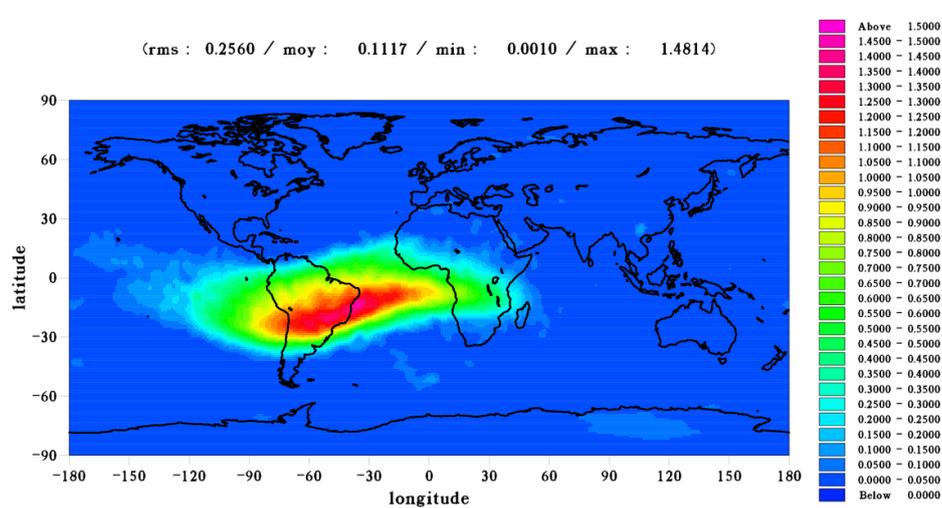
## 1.2 MISSÃO

### 1.2.1 Missão científica

O NANOSATC-BR1 possuirá como carga útil científica um magnetômetro *Fluxgate* de três eixos. De acordo com Stekel, (2010), magnetômetros de núcleo saturado ou “Fluxgate Magnetometer”, são dispositivos que medem a magnitude e direção de campos magnéticos, estáticos ou alternados. O funcionamento do sensor é baseado nas propriedades ferro magnéticas do material e na alta permeabilidade do seu núcleo. Com este equipamento serão adquiridos dados, com a finalidade de

medir a intensidade do campo magnético terrestre sobre a região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS, e medir a intensidade do campo magnético do Eletrojato Ionosférico Equatorial sobre o Brasil.

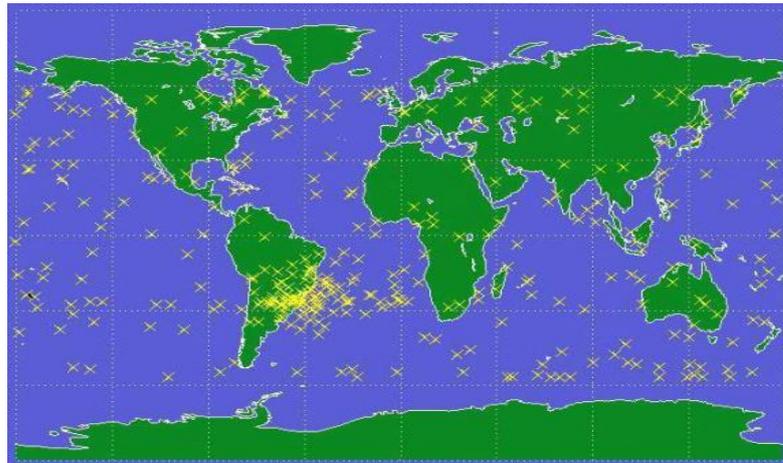
A AMAS (Figura 3), que acontece na região Sul do oceano Atlântico, passou a ser visível a partir da década de 1940, quando começaram a ser construídos mapas de campo magnético. De acordo com o pesquisador geofísico Gelvam Hartmann, o fenômeno nada mais é do que uma área em que a intensidade magnética é cerca de metade da esperada para regiões desta latitude. Espera-se que as intensidades mais fortes estejam nos pólos e, as mais baixas, nas proximidades do Equador.



**Figura 3 - Intensidade Geomagnética na região da anomalia AMAS.**

Fonte: <http://www.aviso.oceanobs.com/en/news/idm/2007/oct-2007-south-atlantic-anomaly-as-seen-by-doris/index.html>

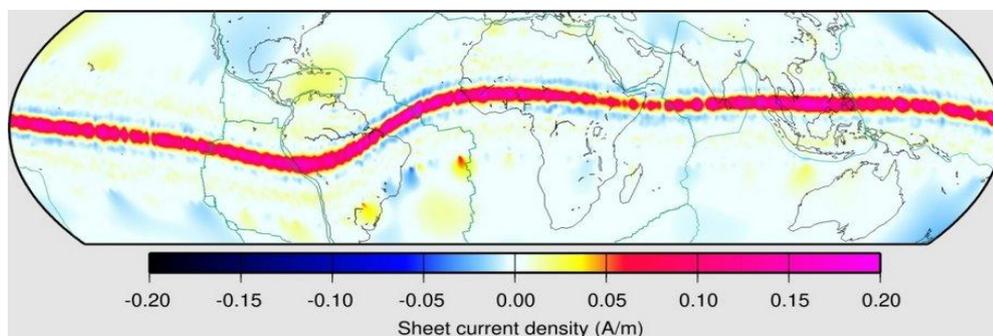
Hartmann explica, que a anomalia tem menor intensidade que na região equatorial. De acordo com pesquisador, essas áreas de campo magnético de intensidade muito baixa comportam-se como janelas, falhas na teia magnética que protege a Terra do fluxo de partículas do Sol e do universo. Por isso, nessas regiões os astronautas ficam mais expostos à radiação, e há maior chance de ocorrerem interferências nas ondas de rádio e problemas na transmissão de energia elétrica, como mostra a Figura 4. Quando ocorrem as explosões solares (momento em que a estrela ejeta o fluxo solar, composto de partículas como prótons, elétrons e nêutrons) a anomalia absorve mais partículas que em outras localidades.



**Figura 4 - Concentração de falhas em satélites na região da anomalia SAMA.**

Fonte: <http://www.bu.edu/causes/societalimplications.html>

O eletrojo equatorial, Figura 5, é uma faixa estreita de corrente elétrica que flui na direção oeste-leste na região equatorial durante o dia, na Ionosfera Terrestre. A intensificação equatorial do campo magnético é devido ao eletrojo equatorial.



**Figura 5 - Eletrojo da ionosfera Equatorial.**

Fonte: [http://info.geomag.-us/-equatorial\\_eletroje-t.html](http://info.geomag.-us/-equatorial_eletroje-t.html)

## 1.2.2 Missão tecnológica

A missão tecnológica do Projeto consiste em servir como uma plataforma de testes, no espaço, para Circuitos Integrados – CIs projetados no Brasil com proteção à radiação para possível futura utilização espacial. Os

circuitos usados como carga útil serão: um Chip Projetado pela empresa *Santa Maria Design House – SMDH*, Figura 6 e um *Field Programmable Gate Array – FPGA*, programado por acadêmicos e professores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, com o propósito de ambos CIs atuarem como um dosímetro de partículas. Desta forma, será verificado a eficiência do sistema de proteção contra *upsets* causados pela incidência de partículas enérgicas provindas do espaço, de cada um dos circuitos.

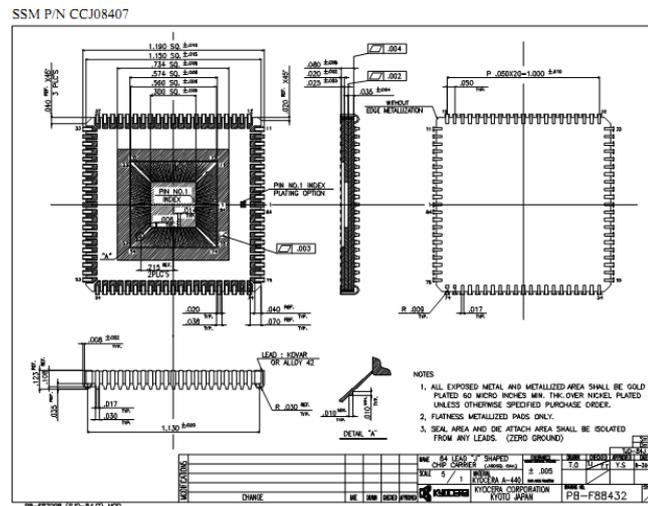


Figura 6 - Chip desenvolvido pela SMDH, DE Santa Maria – RS.

Fonte: SMDH

### 1.2.3 Objetivo principal do Projeto

O Projeto tem como principal objetivo a formação de Recursos Humanos especializados em engenharias, tecnologias e ciências espaciais através da participação de alunos de graduação de diferentes áreas da UFSM, permitindo que tenham uma experiência prática no planejamento, projeto, desenvolvimento, testes, lançamento, operação e ciência espacial relacionada com o NANOSATC-BR. Desta forma, Projeto contribui ativamente para o aumento do interesse de jovens estudantes, às áreas de pesquisa científica relacionadas a Ciências Espaciais e Tecnológicas, proporcionando ao país futuros tecnólogos, pesquisadores e líderes nestas áreas, que atualmente são muito carentes de recursos humanos no Brasil.



### 1.3 EQUIPE

O Projeto é gerenciado no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE-MCT, em Santa Maria, RS, contando com o apoio técnico e científico de engenheiros e cientistas do INPE/MCT, em São José dos Campos, SP. Ainda, participam alunos: da graduação da UFSM, egressos da UFSM na Pós-Graduação do INPE/MCT e egressos da UFSM na Pós-Graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Este procedimento poderá ser estendido a outras universidades brasileiras e parcerias com universidades estrangeiras.

Os alunos são integrados ao Projeto por meio de Bolsas de Iniciação Científica e estágios, os alunos geralmente são orientados nas suas respectivas áreas por profissionais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE de São José dos Campos, SP, e co-orientados pelo Pesquisador Dr. Nelson Jorge Schuch, que aplica técnicas de mentoreamento, aumentando a qualidade pessoal e profissional dos alunos. Os alunos participam freqüentemente de congressos locais, nacionais e internacionais, como o *International Astronautical Congress – IAC/IAF*, interagindo com pesquisadores da mesma área e conseqüentemente aprimorando os currículos.

Outra metodologia usada no âmbito do desenvolvimento profissional dos alunos, são estágios curriculares de graduação e extra-curriculares em seus períodos de férias na sede do INPE/MCT, em São José dos Campos, SP, em áreas como o LIT, Centro de Controle e Rastreamento, Engenharia – ETE e inclusive com visitas a empresas da região que trabalham no setor espacial. Os estágios mantêm os alunos de graduação diretamente em contato com seus respectivos orientadores, além de pesquisadores e tecnólogos de alto nível. O contato com laboratórios de ponta, também incentiva e proporciona a experiência prática necessária para participantes do Projeto.



A Gestão do Projeto **NANOSATC-BR Desenvolvimento de CubeSats** é organizada da seguinte forma:

- Dr. Nelson Jorge Schuch: Pesquisador Titular Sênior III no CRS/CCR/INPE-MCT, Santa Maria, RS. Principal Investigador – PI e Gerente do Projeto.
- Dr. Otavio Santos Cupertino Durão: Tecnologista Titular Sênior III na CPA/DIR/INPE-MCT, São José dos Campos, SP. Coordenador Geral de Engenharias e Tecnologias Espaciais do Projeto.
- Prof. Dra. Damaris Kirsch Pinheiro, Diretora do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT –UFSM, Coordenadora Geral pela UFSM do Convênio: INPE/MCT-UFSM.

#### 1.4 LANÇAMENTO

De acordo com BÜRGER, (2009), o desenvolvimento do projeto de um *CubeSat* não acaba na sua construção. Uma das etapas mais desafiadoras que mantém centenas de projetos da ciência espacial limitados é a escassez de oportunidades de lançamento. A despesa do lançamento de um *CubeSat* ao espaço, é um valor relativamente aceitável para ser financiado por empresas ou instituições acadêmicas, porém a dificuldade atual dos *CubeSats* é encontrar possibilidades de lançamento que se encaixem na missão do Projeto. Esperar por uma oportunidade de lançamento em que haja oportunidade para cargas secundárias ou terciárias pode ser frustrante, senão um processo infundável. Sabendo disto, o Projeto deve contratar uma empresa que agencie lançamentos, buscando um sistema lançador que satisfaça os requisitos do Projeto. A seleção do lançador depende de várias variáveis como: disponibilidade, órbita, preço, entre outras.

A empresa contratada para o gerenciamento do lançamento e procura do

lançador para o Projeto NANOSATC-BR1 será a *Innovative Space Logistics BV* – ISL/ISIS, mesma organização que fornece os Kits das plataformas CubeSat para o Projeto. Atualmente são discutidas duas possibilidades: lançamento com o foguete indiano *Polar Satellite Launch Vehicle – PSLV*, ou pelo lançador Russo *Soyuz*. Ambos lançadores usam a interface *Picosatellite Orbital Deployer – POD* com o lançador, mecanismo detalhado no próximo capítulo. Com o custo aproximado de 100 mil dólares americanos, o lançamento está previsto para o segundo semestre de 2012.

### 1.5 SITUAÇÃO ATUAL DO PROJETO

Atualmente o Projeto NANOSATC-BR segue o cronograma da Figura 7.

Atividade	Ano		2011		2011		2011		2011		2012		2012		2012									
	Trimestre		1º		2º		3º		4º		1º		2º		3º									
	Mês		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	
Emissão da LOC para compra das plataformas (EM e FM) e estação terrena																								
Embarque para o Brasil das plataformas e da estação terrena																								
Desenvolvimento dos <i>softwares</i> de bordo																								
Disponibilização das cargas úteis																								
Integração																								
Instalação e operação da estação terrena																								
Testes da EM																								
Testes da FM e POD																								
Embarque para lançamento																								
Lançamento																								
Operação																								

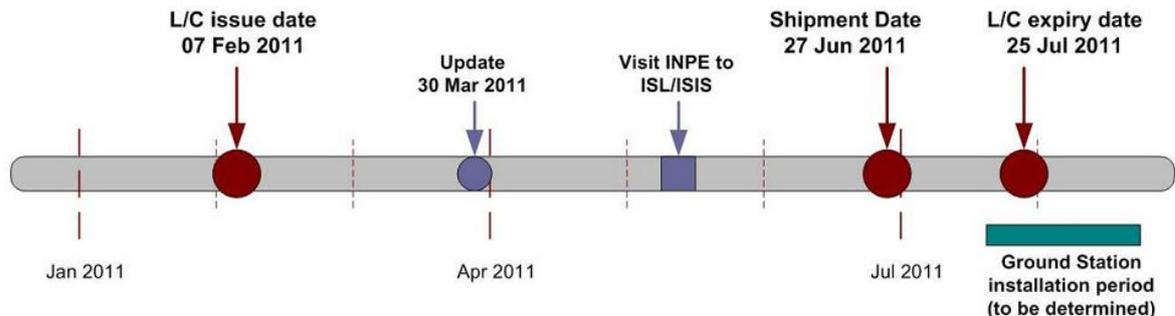
Figura 7 - Conograma das Atividades do Projeto NANOSATC-BR1.

Espera-se a chegada dos componentes descritos abaixo, de acordo com o cronograma da empresa *Innovative Space Logistics BV – ISL /ISIS*, da Figura 8:

- 1 Kit Plataforma CUBESAT – Modelo de Engenharia;
- 1 Kit Plataforma CUBESAT – Modelo de Vôo;



- 1 Kit Estação de Solo UHF/VHF/Banda S, de alta taxa de dados;
- Ground Support Equipment (Elétrico e Mecânico).



**Figura 8 - Cronograma de recebimento de equipamentos.**

Fonte: *Innovative Space Logistics BV – ISL ISIS*

Os dois modelos da plataforma do nanosatélite foram comprados, incluindo a integração e testes a nível de subsistema. Abaixo são descritas as atividades em desenvolvimento ou a desenvolver para a conclusão do primeiro CubeSat NANOSATC-BR1.

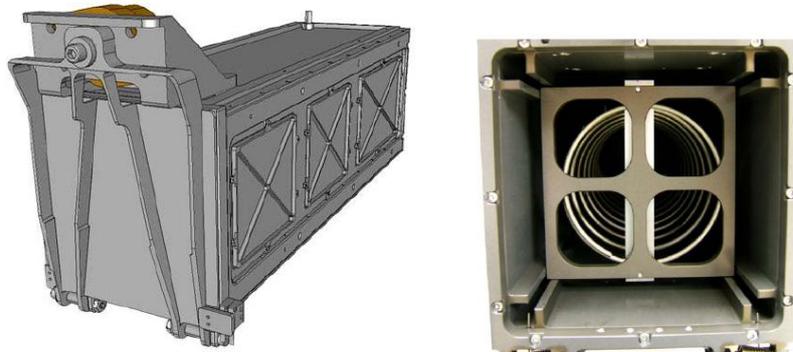
- Integração das Cargas Úteis à Plataforma;
- Desenvolvimento e Implementação dos Softwares:
  - Software de Datahandling;
  - Software de Determinação e Controle de Atitude;
  - Software de Solo (Transmissão e Recepção de Dados).
- Instalação da Estação Terrena e Treinamento;
- Instalação do Módulo Limpo no CRS;
- Testes:
  - Plano de AI&T
  - Testes de Qualificação do subsistema de carga útil;
  - Testes de Qualificação no EM;
  - Testes Funcionais no FM;
  - Contratação e ações da agenciadora do Lançamento.
  - Lançamento e operações em órbita.

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISE DA INTERFACE POD

#### 2.1 POD ASPECTOS GERAIS

No lançamento de CubeSats, os satélites miniaturizados são acoplados no *Picosatellite Orbital Deployer – POD*, Figura 9, um dispositivo semelhante à uma caixa retangular de alumínio, com uma porta de saída e um mecanismo de mola para ejeção. Quando o foguete estiver na órbita desejada, um atuador de cabo inicia a abertura da porta, desta forma os *Cubesats* se movem sobre trilhos construídos nas bordas do POD, e a mola vai prover a força para empurrar os satélites miniaturizados para o espaço, com uma velocidade linear de aproximadamente 0,3 m/s.

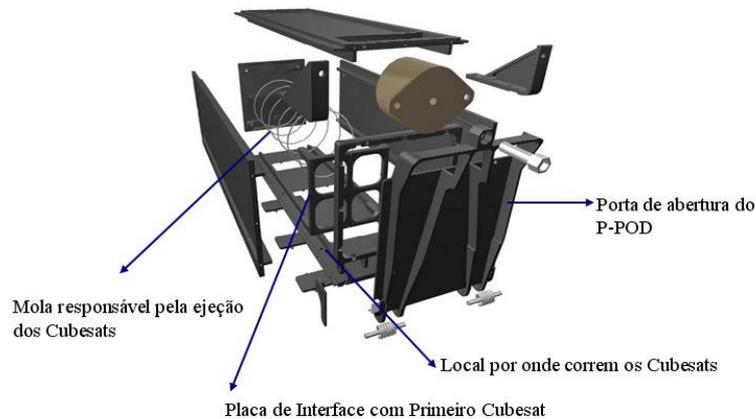


**Figura 9 - Modelo da estrutura do P-POD, à esquerda, e foto interna do P-POD, à direita.**

Fonte: *Cubesat Design Specification*, revisão 10 –  
Simon Lee, Amy Hutputanasin, Armen Toorian, Wenschel Lan

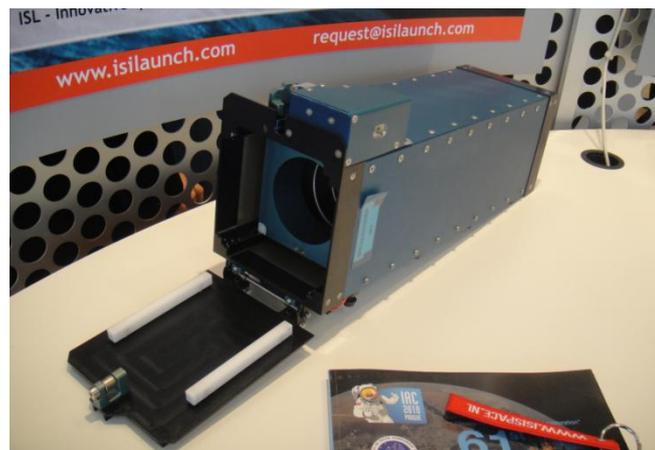
O *POD* tem seu uso muito freqüente e com alta taxa de sucesso. Abaixo pode-se ver dois exemplos diferentes deste mecanismo, o P-POD (Figura 10) desenvolvido pela *California Polytechnic State University – CalPoly*, e o ISI-POD (Figura 11) desenvolvido pela empresa Holandesa *Innovative Space*

Logistics BV – ISL /ISIS.



**Figura 10 - Vista explodida de um POD.**

Fonte: Califórnia Polytechnic State University, “Cubesat Design Specification, Revision 9”



**Figura 11 - ISI-POD**

Fonte: Estande da *Innovative Space Logistics BV* – ISL/ISIS no congresso IAC/IAF 2010.

Para que esta interface atue plenamente, o NANOSATC-BR1 deverá ser compatível com o POD para garantir o sucesso da missão com segurança, e para isso deverá seguir os requerimentos abaixo:

- Não deverá apresentar perigo para os *Cubesats* vizinhos no POD, para o veículo lançador, e para carga útil principal;
- Todas as partes do *Cubesat* deverão estar presos ao *Cubesat* durante o lançamento, ejeção e operação;



- Deve ser desenvolvido visando à minimização da interferência eletrônica no POD;
- Não produzir nenhum tipo de pirotecnia;
- No mínimo 75% dos trilhos do NANOSATC-BR1 deverão estar em contato com os trilhos do POD;
- O *Cubesats* deve ter manufatura fácil e não exigir materiais exóticos nem técnicas caras de construção.

## 2.2 INTERFACE ELÉTRICA

São fornecidas conexões separadas para cada POD e cinco cabos são necessários para realizar a interface entre o POD e o veículo lançador, são eles:

- Sinal de ejeção;
- Sinal de ejeção redundante;
- Neutro do sinal de ejeção;
- Linha de telemetria;
- Neutro da linha de telemetria.

Cada POD recebe seu próprio sinal de ejeção do veículo lançador separadamente. O lançamento dos *Cubesats* inicia-se por um sinal proveniente do veículo lançador que ativa o mecanismo de liberação, o qual abre a porta frontal e inicia a seqüência de ejeção. A fim de minimizar o choque entre os *Cubesats*, neste sistema de liberação não são utilizados nenhum tipo de pirotecnia, também não sendo necessário o uso de baterias ou controle eletrônico a bordo para a execução de tal função.

Um sensor de ejeção é instalado perto da porta para prover informações de telemetria para o veículo lançador. O sensor é uma chave fechada enquanto a porta está fechada, dessa forma, na abertura da porta do POD os envios de dados de telemetria cessam. Isso garante que a porta continue fechada até que

os *Cubesats* sejam ejetados. Para evitar falhas é utilizado um circuito redundante.

O esquema do mecanismo de liberação e os sensores de telemetria é demonstrado na Figure 12:

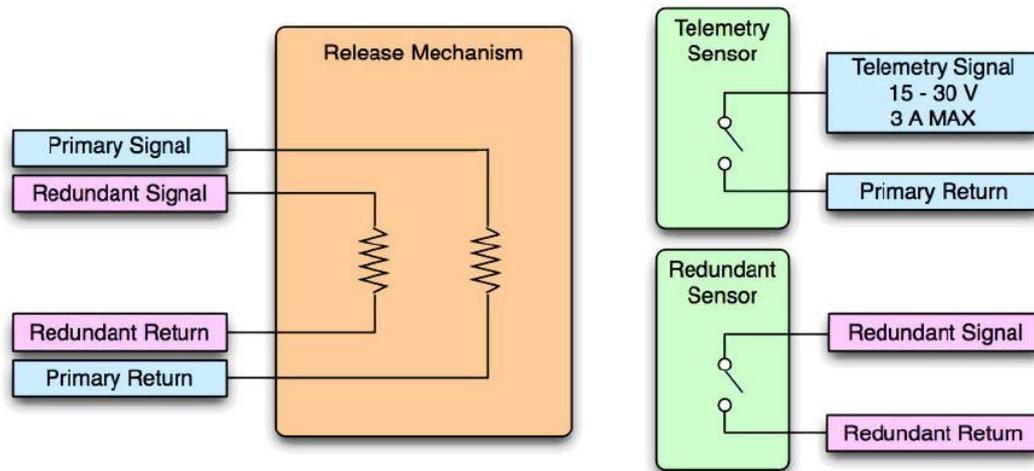


Figura 12 - Mecanismo de liberação, à direita, e sensor de telemetria, à esquerda.

Fonte: Poly Picosatellite Orbital Deployer Mk III ICD –  
 California Polytechnic State University

## 2.3 INTERFACE MECÂNICA

O POD deverá ser montado em um membro estrutural do veículo lançador. Existem seis parafusos usados para a união por POD, o qual pode ser unido à estrutura por qualquer uma das suas quatro faces.

Para realizar o acoplamento dos PODs pode-se usar um anel adaptador para conectá-los ao módulo estrutural do lançador. O design do adaptador pode ser modificado para acomodar um número diferente de PODs. A espessura da parede do adaptador irá ser determinada com base em critérios de deformação e devido à carga dinâmica.

## 2.4 REGRAS DE TEMPORIZAÇÃO

Para permitir que os *CubeSats* separem-se adequadamente, as antenas



devem ser ativadas após 15 minutos da ejeção, a qual é detectada através dos sensores de ejeção.

Transmissões secundárias e de baixa potência podem ser ativadas 15 minutos após o lançamento, enquanto transmissões de maior potência devem ser iniciadas (ativadas) somente 30 minutos após a ejeção.

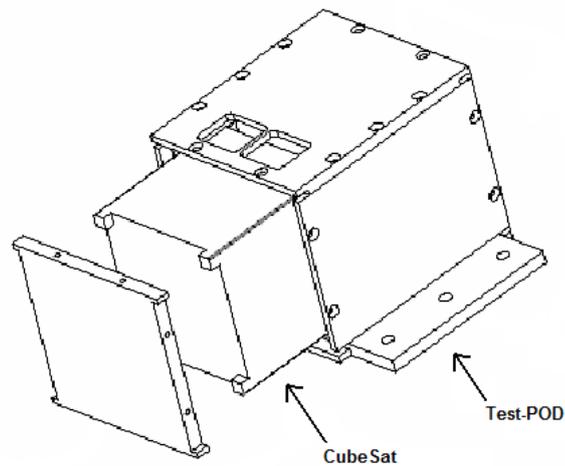
## 2.5 REQUISITOS DE SEGURANÇA

Para minimizar o risco para com os outros *Cubesats* as seguintes medidas de segurança devem ser garantidas:

- Utilização de molas (“*spring plungers*”) para assegurar a separação em tempo correto entre os *Cubesats*;
- No mínimo uma chave de ejeção deve desativar fisicamente os sistemas eletrônicos do *Cubesat* enquanto estiver acionada, ou seja, durante o período de estadia dentro do POD;
- Um período de vários minutos deve ser aguardado após a ejeção para que sejam ativadas a saída de antenas ou transmissores;
- Um pino RBF (*Remove Before Flight*) é necessário para manter os *Cubesat* inativos durante a integração.

## 2.6 TEST-POD

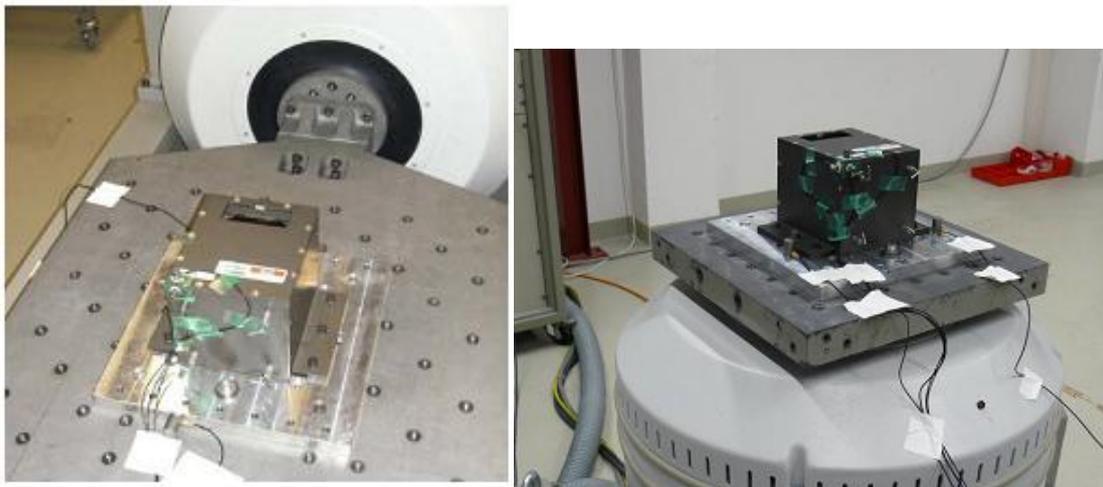
Os CubeSats devem obrigatoriamente passar por dois tipos de teste: qualificação e aceitação. O primeiro geralmente é feito no Modelo de Engenharia – EM, com níveis severos de teste; o segundo é realizado no Modelo de vôo, com níveis amenos de teste. Nos testes de vibração, solicitados pela empresa do foguete lançador, na etapa de qualificação é usado um mecanismo que simula o verdadeiro POD, chamado Test-POD (Figura 13).



**Figura 13 - Desenho do Test-POD com um CubeSat no seu interior.**

Fonte: Test-POD User's Guide, CalPoly University, Rev.6, 2006

O equipamento simula os pontos de contato e outras características internas do POD que será usado para vôo. O CubeSat é integrado no interior do Test-POD, que é aparafusado numa superfície metálica adaptada no *Shaker*, Figura 14.



**Figura 14 - Test-POD adaptado à um Shaker.**

Fonte: SwissCube Mechanical tests at qualification level for EQM.

## CAPÍTULO 3

### TESTES DO CUBESAT NANOSATC-BR1

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Um produto de alta qualidade deve fazer aquilo que ele foi projetado para desempenhar. Para que isto ocorra, são feitos os testes. Em satélites da classe CubeSat, esse procedimento é essencial, pois após o lançamento não se terá acesso ao satélite caso algum defeito ou mau funcionamento ocorra. Quando tanto esforço tem se dedicado a um Projeto, desenvolvido para ser operacional durante certo tempo, e quando as esperanças e expectativas de seus usuários são tão grandes, tudo deve ser feito para assegurar a confiabilidade do nanosatélite e o sucesso da missão. Os testes da missão NANOSATC-BR são divididos em dois grandes grupos (Figura 15): em nível de Projeto, e de lançamento. O primeiro engloba testes relacionados à carga útil, o segundo faz parte do conjunto de testes obrigatórios para lançamento, que se subdividem em testes de qualificação e aceitação, respectivamente nos modelos de engenharia e modelo de voo.

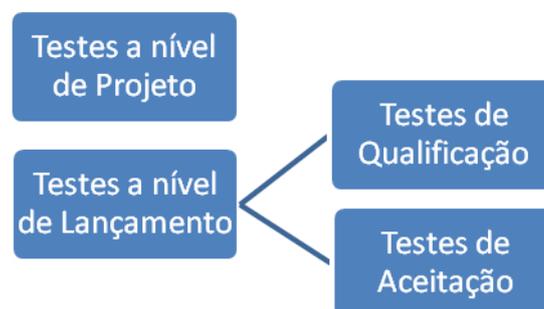


Figura 15 - Divisão dos Testes do Projeto NANOSATC-BR.

### 3.2 FILOSOFIA DE MODELOS

O Projeto NANOSATC-BR seguirá a filosofia de modelos geralmente usada em Projetos CubeSat, adquirindo duas plataformas de satélite: *Engineering Model* e *Flight Model* – Figura 16.

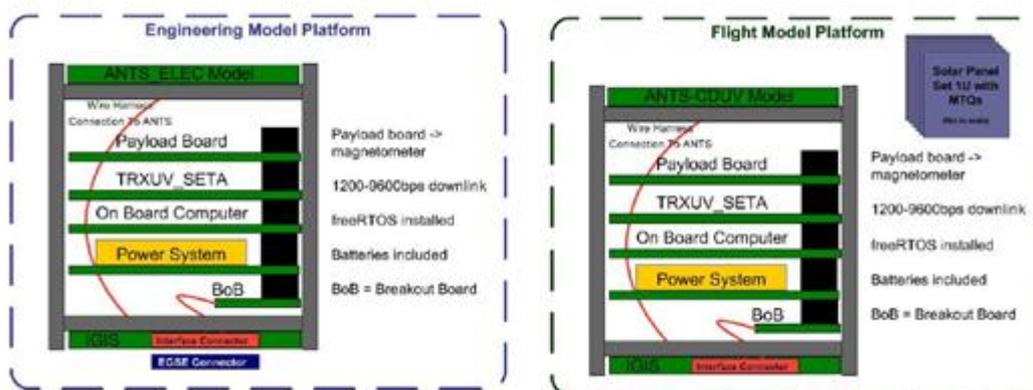


Figura 16 - Modelos de Engenharia e de Voo do NANOSATC-BR1.

Fonte: Innovative Space Logistics BV – ISL/ISIS

**Modelo de Engenharia (EM):** O modelo faz a ligação entre os alunos envolvidos e o Projeto NANOSATC-BR. É com esta plataforma do CubeSat que os alunos devem desenvolver suas habilidades práticas, interagindo diretamente com um nanosatélite, desta forma aproximando ao máximo os alunos da realidade de um projeto aeroespacial. A plataforma qualificará o satélite a nível de sistema, sendo desta forma uma “fusão” dos modelos de engenharia e modelos de qualificação, usados em projetos de satélites de grande porte. O EM é uma versão simplificada do CubeSat usado para vôo, pois não possui algumas partes, as quais serão substituídas por *dummies* (peças que simulam as características físicas e mecânicas do objeto substituído, a fins de testes) e sinais elétricos. Estas diferenças são feitas a fim de reduzir o custo do modelo, e as substituições mantêm a maior semelhança possível com o modelo de vôo, desta forma o teste de qualificação do modelo de engenharia validará também o Modelo de Vôo.

Na Tabela 1 abaixo são descritas as partes do Modelo de Engenharia do



NANOSATC-BR, com os respectivos códigos.

Código do Equipamento	Descrição
Cust_Plattform	CubeSat Kit – Modelo de Engenharia
STS_1U104	1U Estrutura do CubeSat, PC/104 configuração de bordo
NanoMind_172	Computador de Bordo com controle de atitude de interface HW e magnetômetro
NanoPower_30U	Sistema de Potência para 1U CubeSat, canal único, baterias
TRXUV_VARA	Transceiver, VHF Downlink, UHF Uplink, taxa de dados ajustável para até 9k6 bps, BPSK downlink, modulação AFSK uplink
ANTS_CDVU	Sistema de Antenas – Modelo de Engenharia eletricamente Representativo
IGIS	Sistema Genérico de Interface ISIS para testes, carregador de bateria e funcionalidade <i>add-before-flight</i>

Tabela 1 - Itens do Modelo de engenharia do CubeSat NANOSATC-BR1.

Fonte: Innovative Space Logistics BV – ISL/ISIS

**Modelo de Vôo (FM):** O Modelo de Vôo do NANOSATC-BR1 tem as cargas úteis integradas e deve passar por testes de aceitação. É o modelo de vôo que irá para o espaço, e completará a missão. A plataforma é totalmente completa, com todos os subsistemas de um CubeSat, que podem ser descritos como nos itens da Tabela 2 abaixo:

Código do Equipamento	Descrição
Cust_Plattform	CubeSat Kit – Modelo de Vôo
STS_1U104	1U Estrutura do CubeSat, PC/104 configuração de bordo
NanoMind_172	Computador de Bordo com controle de atitude de interface HW e magnetômetro
SP_SET1U_MTQ	Conjunto de Painéis Solares para 1U CubeSat com bobinas de magnetotorquer – 3 Painéis com MTQs, Sensor Solar, Giroscópio – 3 Painéis com sensores solares, compatível com estrutura ISIS e sistema de



	antenas
NanoPower_30U	Sistema de Potência para 1U CubeSat, canal único, baterias
TRXUV_VARA	Transceiver, VHF Downlink, UHF Uplink, taxa de dados ajustável para até 9k6 bps, BPSK downlink, modulação AFSK uplink
ANTS_CDVU	Sistema de Antenas – Modelo de Engenharia eletricamente Representativo
IGIS	Sistema Genérico de Interface ISIS para testes, carregador de bateria e funcionalidade <i>add-before-flight</i>

Tabela 2 - Itens do Modelo de Voo do CubeSat NANOSATC-BR1.

Fonte: *Innovative Space Logistics BV – ISL/ISIS*

### 3.3 FILOSOFIA DE TESTES

De uma perspectiva de alto nível, podem-se definir dois grandes grupos de testes previstos para o Projeto NANOSATC-BR: Testes em nível de Projeto e lançamento.

- **Projeto:** Os testes não são obrigatórios, ou seja, a quantidade e níveis dos testes são definidos pelas necessidades do próprio Projeto NANOSATC-BR, provavelmente com algumas recomendações da empresa *Innovative Space Logistics BV – ISL/ISIS* devido à sua experiência. Neste nível, são necessários testes relacionados principalmente com as cargas úteis integradas na respectiva placa, bem como a interferência da plataforma nas cargas úteis.
- **Lançamento:** Por serem muito importantes para a segurança dos satélites vizinhos e para o próprio foguete lançador, os testes são obrigatórios para todos CubeSats. Neste nível, a empresa agenciadora do lançamento, a Holandesa *Innovative Space Logistics BV – ISL/ISIS* é responsável pelos planos de teste, documentação e acompanhamento dos ensaios, tanto de qualificação como de aceitação. No modelo de Engenharia, os testes de qualificação e integração da carga útil serão executados no LIT/INPE, o



elemento de vôo também terá o subsistema de carga útil integrado no LIT/INPE em São José dos Campos, SP. A partir desta etapa podem ocorrer as seguintes logísticas: se o dispositivo ejetor POD for dedicado somente ao NANOSATC-BR1, os testes de aceitação serão executados no LIT; caso o POD carregue o CubeSat brasileiro além de outros CubeSats, a empresa Holandesa será encarregada da execução dos testes de aceitação.

O principal objetivo dos testes de qualificação é a demonstração formal de que a execução do projeto e métodos de fabricação, resultaram em hardware e software em conformidade com as especificações. Além disso, esta etapa é utilizada para demonstrar que os itens do modelo desempenham suas funções satisfatoriamente nos ambientes destinados, com margens suficientes. Os testes de qualificação devem exceder o nível máximo previsto por um factor de segurança que garante que, mesmo com a pior combinação de tolerâncias de teste, os níveis de vôo não devem exceder os níveis utilizados. Os testes de qualificação devem ser realizados em modelos de qualificação dedicados, que são produzidos a partir dos mesmos desenhos, utilizando os mesmos materiais, ferramentas e métodos como o modelo de vôo

O propósito dos testes de aceitação é demonstrar conformidade à especificação, e atuar como um indicador de controle de qualidade para detectar defeitos de fabricação, erros de mão de obra, início de falhas e outras anomalias de performance que não são possíveis de serem identificadas através de técnicas de inspeção. Os testes de aceitação são realizados formalmente para demonstrar a adequação e disponibilidade de um item para a entrega e/ou uso posterior. Na bateria destes testes não se deve criar condições que excedem as margens de segurança ou causar modos irrealistas de falha, e serão realizadas em modelos de engenharia sob condições ambientais mais severas que as previstas durante a missão, com o modelo de vôo. Os testes de aceitação devem ser realizados em todos os produtos de vôo de acordo com a filosofia do modelo.



### 3.4 INSTALAÇÕES DISPONÍVEIS

No Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT (Figura 17), atuam a maior parte dos estudantes envolvidos diretamente no Projeto, (em graduação na UFSM), foi planejada e está em fase de aquisição uma infraestrutura de tenda limpa, classe 100.000, cujos componentes foram especificados por engenheiros do LIT/INPE.



**Figura 17 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais.**

Fonte: <<http://www.inpe.br/crs>>.

A tenda limpa (exemplificada na Figura 18) ficará na sala do Laboratório de Fisiologia – Medicina do Desenvolvimento, Inovação Tecnológica Aeroespacial em Ambiente Limpo, no prédio sede do CRS, sendo utilizada em parceria com o Projeto de Hipoxia Normobárica da UFSM. Este equipamento, que permite a operação de mecanismos que requerem certos níveis de limpeza, temperatura e umidade, será usado para execução de parte dos testes funcionais do modelo de engenharia do CubeSat Brasileiro NANOSATC-BR1.



**Figura 18 - Exemplo de tenda limpa.**

Fonte: <<http://www.kleanzonedevices.com/modular-clean-room.html>>

A maior parte dos testes e integrações realizadas nos modelos serão desenvolvidos no Laboratório de Integração e Testes – LIT/INPE (Figura 19). O Laboratório foi construído para atender às necessidades do Programa Espacial Brasileiro, é considerado um dos instrumentos mais sofisticados e poderosos na qualificação de produtos industriais que exijam alto grau de confiabilidade.



**Figura 19 - Laboratório de Integração e Testes - LIT.**

Fonte: < <http://www.lit.inpe.br/>>

O LIT/INPE possui o *Hall* de Testes, Figura 20, local com classe de limpeza na ordem de 100.000, onde são executados testes nas áreas de Vibração, Térmica, Propriedades de Massa, entre outros.

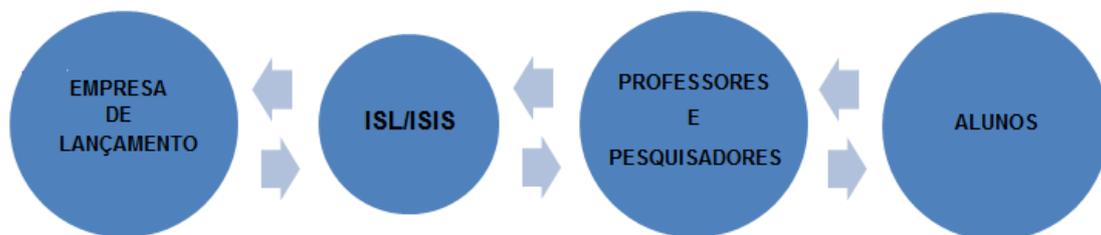


**Figura 20 - Hall de Testes do LIT.**

Fonte: < <http://www.lit.inpe.br/> >

### 3.5 LOGÍSTICA DA EMPRESA AGENCIADORA DE LANÇAMENTO

O coordenador de lançamento é o único ponto de contato entre a empresa fornecedora do lançamento e os alunos, pesquisadores e professores do Projeto. Este coordenador deve obter e disseminar informações técnicas e de logística entre todos os contatos. A Figura 21 abaixo ilustra que o coordenador de lançamento é o ponto principal de contato entre todos envolvidos no Projeto.



**Figura 21 - Fluxo de informações do Projeto.**

O agenciamento e coordenação do lançamento do CubeSat Brasileiro



NANOSATC-BR1 deverá ser feito pela empresa *Innovative Solutions In Space* – ISIS, localizada em Delft, Holanda. Com esta contratação, a equipe não precisa se envolver com burocracias que dificultam o desenvolvimento da missão, e se concentra no desenvolvimento do nanosatélite. A seguir são apresentadas as relações de logística que a empresa segue em seu serviço de agenciamento de lançamento.

**Requisitos de Missão, Lançamento e Órbita:** Primeiro são discutidos os requisitos de missão, lançamento e órbita em termos de parâmetros orbitais e cronograma.

**Serviços de Lançamento:** Será analisado o grau desejado de serviços de lançamento para o Cubesat, serviços relacionados à interface Lançador/Cubesat e testes de aceitação.

**Oportunidade de Lançamento:** A empresa ISIS irá investigar a opção de lançamento que melhor se encaixa com os requisitos da missão. Para negociações com o fornecedor do lançamento, a ISIS geralmente elabora juntamente com a equipe do CubeSat uma carta com as necessidades e intenções da missão.

**Oferta de Lançamento:** Uma vez encontrada a oportunidade de lançamento, geralmente dois meses após a decisão dos requisitos da missão, a ISIS enviará para a equipe CubeSat uma oferta para o serviço de interface, como decidido nas etapas anteriores.

**Contrato de Lançamento:** Uma vez aceita a proposta, a empresa Holandesa dará início ao processo burocrático. Quando finalizado, o lançamento é reservado e o processo de gerenciamento de lançamento pode ser iniciado.

**Gerenciamento de Lançamento:** Durante esta fase até o envio do satélite ao local de lançamento, a ISIS representará a equipe CubeSat frente



ao provedor do lançamento, sendo responsável por aspectos de lançamento como:

- Planejamento e organização de gerenciamento;
- controle de interface;
- reuniões;
- documentação técnica;
- testes ambientais (caso necessário).

**Suporte de Logística:** ISIS providenciará o suporte logístico para a entrega do CubeSat ao local de lançamento, bem como a viagem, acomodação para a equipe e transporte dos equipamentos.

**Assistência no local de Lançamento:** ISIS providencia assistência diretamente para o grupo CubeSat no local de lançamento.

**Preparações Finais e Lançamento:** Finalmente, será supervisionada a integração do CubeSat ao veículo lançador e se possível a equipe da ISIS estará presente nos estágios finais de lançamento, incluindo o próprio lançamento.

**Relatório pós Lançamento:** Logo após o lançamento, ISIS atualizará a equipe CubeSat sobre o status e elementos orbitais do nanosatélite.



## 3.6 PLANO DE AI&T DO PROJETO

### 3.6.1 Definição

As atividades de montagem, integração e testes de um satélite artificial a ser colocado em órbita da Terra correspondem a conjuntos de procedimentos e à execução de uma seqüência de eventos logicamente inter-relacionados, cujo propósito é obter um alto grau de confiança no funcionamento do satélite, quando este estiver em órbita, ou seja, garantia de que todos os parâmetros de projeto e de desempenho especificados serão alcançados. Neste sentido, todas as condições ambientais, nas quais o satélite fica sujeito, desde seu lançamento até sua operação em órbita, são simuladas em laboratório. Condições simuladas compreendem as vibrações mecânicas e acústicas, que ocorrem durante seu lançamento; as condições de vácuo e temperaturas adversas, que ocorrem durante sua operação em órbita e a susceptibilidade às radiações eletromagnéticas, que ocorrem no espaço ao redor de sua órbita.

A sigla *AIT* (Assembly, Integration and Tests), internacionalmente consagrada, é utilizada neste relatório no lugar de montagem, integração e testes. Em AIT, o termo *montagem* está relacionado às operações mecânicas executadas para posicionar, fixar e interligar fisicamente cada uma das unidades pertencentes ao satélite. O termo *integração* compreende a interligação e verificação funcional entre as unidades, que formam um subsistema, e entre os subsistemas, que compõem o sistema satélite, obtendo assim, um conjunto harmonioso que cumpra os requisitos de projeto. O termo *teste* está relacionado a toda a seqüência de ensaios realizados com o intuito de verificar se os requisitos de projeto são satisfeitos e se o satélite sobreviverá tanto aos esforços do lançamento, quanto à operação em órbita, durante o tempo estimado de vida do satélite.



### 3.6.2 Plano AI&T do CubeSat NANOSATC-BR1

O documento do ANEXO 1, detalha um dos principais resultados esperados deste Projeto de Pesquisa. O anexo, foi desenvolvido através de atividades da segunda etapa do Estágio Curricular Obrigatório do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, dos alunos Eduardo Escobar Bürger e Lucas Lopes Costa. O estágio de 20 dias no Laboratório de Integração e Testes – LIT do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, na cidade de São José dos Campos, SP, foi coordenado pelo Dr. Eng. Geilson Loureiro, com o apoio direto dos tecnologistas responsáveis por cada área de ensaios ambientais, como dos integrantes do Projeto do Laboratório de Engenharia de Sistemas – LSIS.

O objetivo deste segundo período de Estágio no LIT/INPE foi o desenvolvimento do primeiro plano de AI&T para o Projeto do nanosatélite da classe CubeSat, NanoSatC-BR1, pensando-se no futuro desenvolvimento de um plano de testes geral aplicado à CubeSats, para ser utilizado no LIT/INPE. As ferramentas utilizadas pelos alunos para concluir esta meta foram:

- Reuniões técnicas com Dr. Geilson, Adalberto Coelho e responsáveis por cada área de teste;
- Participação das reuniões semanais do Projeto do Laboratório de Engenharia de Sistemas – LSIS;
- Estudo de material de Assembly, Integration & Test – AIT usado no INPE;
- Estudo de Planos de teste de outros Projetos CubeSat;
- Interações com a empresa Holandesa fornecedora do CubeSat Kit, ISL/ISIS.

A partir destas ferramentas, este documento detalha através de fluxogramas simples e de hierarquia horizontal, os requisitos necessários para realização dos testes a serem executados no CubeSat NANOSATC-BR1, com comentários e dúvidas a serem discutidas sobre cada tipo de ensaio, e o desdobramento do Plano de Testes desenvolvido. É importante notar que na



fase atual do Projeto, o foguete lançador ainda não está definido, portanto níveis escolhidos baseiam-se na indicação obtida no documento CDS, do uso dos níveis do documento da NASA *GSFC-STD-7000*, na ausência de foguete lançador definido para o Projeto. Juntamente com estes níveis, serão especificados os níveis de teste usados para o lançamento com o foguete Indiano PSLV, o provável lançador do Projeto.



## CAPÍTULO 4

# SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS E CONCLUSÃO

### 4.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dos resultados do Projeto de Pesquisa, descrito neste Relatório, será feita a aplicação do software *Cradle* de gerenciamento de requisitos *no* Projeto ***NANOSATC-BR Desenvolvimento de CubeSats***, através do Laboratório de Engenharia de Sistemas do LIT – LSIS. Os resultados técnicos de desenvolvimento dos processos de montagem, integração e testes do satélite, conhecidas como AI&T, posteriormente serão transcritas para o *software Cradle* para transformá-los em modelagens, as quais resultarão no detalhamento mais profundo do planejamento dos procedimentos dos ensaios de AI&T do NANOSATC-BR1. Esta ação, que será realizada a partir de agosto de 2011 pelos alunos Eduardo Escobar Bürger e Lucas Lopes Costa, servirá como um dos projetos piloto do projeto do laboratório LSIS.

Para trabalhos futuros de pesquisa científica, seria de grande valia para o desenvolvimento do Projeto NANOSATC-BR a freqüente atualização, estudo e aprofundamento do Plano de AI&T do CubeSat Brasileiro. Estas atualizações devem ser feitas com o consenso de cada área, ou subsistema do nanosatélite, e juntamente com pessoal da empresa ISL/ISIS. Após a confirmação da escolha do lançador do Projeto, muitas informações deverão ser alteradas, todas devendo ser detalhadas e estudadas. A documentação de *Test Procedure* e *Test Results* deve ser analisada, estudada, e anexada em cada item do Plano de AI&T. É necessário para o Projeto, a familiarização com os recursos e infra-estrutura disponível para testes do CubeSat no Laboratório de Integração e Testes (LIT), do INPE/MCT, em São José dos Campos, SP. É aconselhável, a continuação e aprofundamento na logística de testes e



interface entre P.O.D e CubeSat e o procedimento de execução dos testes que serão realizados no CubeSat NANOSATC-BR.

## 4.2 CONCLUSÃO

O Relatório demonstra as atividades executadas no Projeto “**INTERFACE LANÇADOR/CUBESAT PARA O PROJETO NANOSATC-BR**”, que foi desenvolvido no período de Agosto de 2010 a Julho de 2011, no Laboratório de Mecânica Fina, Antenas e Mecatrônica do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – LAMEC/CRS/CCR/INPE – MCT, em Santa Maria, RS. Os resultados obtidos com o Projeto, conforme descrito no Relatório, revelam resultados práticos referentes aos testes necessários para lançamento de um CubeSat, especificamente com o desenvolvimento do primeiro Plano de AI&T do Projeto, baseado no lançador Indiano PSLV e documentos da NASA, plano este com provável futura aplicação geral à CubeSats no LIT.

As atividades revelaram grandes dificuldades para definição dos tipos de testes necessários para o lançamento devido aos diferentes requisitos de cada lançamento, bem como a variação de testes feitos em diferentes missões de CubeSats. Um aspecto muito positivo adquirido no desenvolvimento do trabalho, foi o conhecimento gerado relativo à logística de testes em satélites, especialmente no assunto de AI&T. Houve uma aproximação e troca de informações com a empresa Holandesa ISIS e estudantes de graduação que atuam no projeto *SwissCube*, da Suíça. O Bolsista desenvolveu habilidades de pesquisa, tanto em trabalhos de grupo como individuais. Os conhecimentos que foram adquiridos nas pesquisas bibliográficas foram importantes, uma vez que estas atividades não são ministradas nas ementas das disciplinas do Curso de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da UFSM.

De forma geral, o Projeto de Pesquisa permitiu um contato direto com todas as áreas relacionadas ao Projeto NANOSATC-BR, com vários profissionais, pesquisadores e acadêmicos de outras áreas e instituições, permitindo sempre uma troca de idéias e um aprendizado diferente em cada situação, o que foi muito positivo pelas novas amizades construídas e crescimento profissional e pessoal do Bolsista.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AI&T Plan.** Documento Interno LIT. São José dos Campos, SP. 20XX. 34p.

**Test-POD User's Guide,** CalPoly University, Rev.6, 2006;

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.** Disponível em <<http://www.inpe.br/>>. Acesso em 08 de março de 2010;

DIRETÓRIO DOS GRUPOS DE PESQUISA DO BRASIL – CNPq. **Estudantes, Grupos que Participa.** Brasília, 2011. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br/diretorioc/index.html>>. Acesso em 21 jun. 2011

**CubeSat Community –** Comunidade Internacional CubeSat. California Polytechnic State University, California, US, 2002. Disponível em <<http://www.cubesat.org/>>. Acesso em: 23 abr. 2011.

DURÃO, O. S. C., SCHUCH, N. J., et. al. **DOCUMENTO PRELIMINAR DE REVISÃO - STATUS DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS ESPACIAIS DO HARTMANN, G Anomalia Magnética do Atlântico Sul.** 2006. Disponível em <<http://www.usp.br/agen/repgs/2006/pags/022.htm>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

**NANOSATC-BR. Projeto Básico – Missão: NANOSATC-BR – Clima Espacial.** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. São Santa Maria – RS, 2008;

**BONEMA, A. NANOSATC-BR Platform and Ground Station STATUS UPDATE.** Documento de Projeto. mar. 2011. 6p.

**INFRA ESTRUTURA DE TESTES DO LIT.** Documento Interno LIT. São José dos Campos, SP. 20XX. 47p.



CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Convênio UFSM**. Santa Maria, RS, 2010. Disponível em: <<http://www.inpe.br/crs/index.php>>. Acesso em: 8 jun. 2011.

***Polar Satellite Launch Vehicle User's Manual***. Iss. 5, Rev. 0, ISRO, 2005;

**Swiss Cube Launch Environment**, Rev.6, EPFL, 2008;

**DNEPR Safety Compliance Requirements**, Ver. 1.0, 2004;

**CubeSat Design Specification**, CalPoly University, Rev.12, 2009;

**Laboratório de Integração e Testes** – INPE. Disponível em <<http://www.lit.inpe.br/>> ;

LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES. **Home, Sobre o LIT, Serviços**. São José dos Campos, SP, 2011. Disponível em: <<http://www.lit.inpe.br/>>. Acesso em 13 jun. 2011.

LOUREIRO, G. **LIT – LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES**. Apresentação Digital. Jun 2009.

SCHUCH, N. J., et al. **Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats**. Documento de Projeto. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Santa Maria – RS, Junho 2010.

TWIGGS, R., et al. **CubeSats as Responsive Satellites**. Paper nº. AIAA-RS3 2005-3001, AIAA 3rd Responsive Space Conference, Los Angeles, CA, 25-28 Abril 2005.

NANOSATC-BR. **Projeto Básico – Missão: NANOSATC-BR – Clima Espacial**. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. São Santa Maria – RS, 2008.



**STEKEL, T. R. C. DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDAS GEOMAGNÉTICAS DE BAIXO RUÍDO ABORDO DE SATÉLITES CIENTÍFICOS – MAGNETÔMETRO DE NÚCLEO SATURADO.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso Curso de Graduação de Engenharia Elétrica Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2010.

**BOHRER, R. Z. G. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO MECÂNICO ESTRUTURAL DO NANOSATC-BR.** Relatório Final de Atividades PCI/MCT. Maio 2011. 28p.

**HARTMANN, G Anomalia Magnética do Atlântico Sul.** 2006. Disponível em <<http://www.usp.br/agen/repgs/2006/pags/022.htm>>. Acesso em 12 de abril de 2011.

**BÜRGER, E. E., Interface Lançador/Cubesat para o Projeto do NanoSatC-BR.** Relatório Final de Bolsa PIBIC/INPE – CNPq. pp.76 2009. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE, Santa Maria, RS. 2009.



## **ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS**

1. **BÜRGER, E. E. ; DURÃO, O. S. C. ; Schuch, N. J. ; ZOLAR, R. B. ; COSTA, L. L ; NICOLINI, L. F. . INTERFACE LANÇADOR/CUBESAT PARA O PROJETO DO NANOSATC-BR - SICINPE 2009.** In: 24ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, 2009, Santa Maria. Anais da 24ª Jornada Acadêmica Integrada, 2009.
2. **BÜRGER, E. E. ; DURÃO, O. S. C. ; Schuch, N. J. ; COSTA, L. L ; ZOLAR, R. B. ; NICOLINI, L. F. . INTERFACE LANÇADOR/CUBESAT PARA O PROJETO DO NANOSATC-BR.** In: XXIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE, 2009, Joinville - SC. Anais do XXIII CRICTE, 2009., 2009.
3. **BÜRGER, E. E. ; DURÃO, O. S. C. ; Schuch, N. J. ; COSTA, L. L ; NICOLINI, L. F. ; ZOLAR, R. B. ; TAMBARA, L. A. . THE LAUNCH OF THE BRAZILIAN INPE - UFSM'S CUBESAT.** In: UNITED NATIONS/ Austria/ ESA Symposium 2009, 2009, Graz, Styria - Áustria. UNITED NATIONS/ Austria/ ESA Symposium 2009, 2009.
4. **BÜRGER, E. E. ; DURÃO, O. S. C. ; Schuch, N. J. ; ZOLAR, R. B. ; COSTA, L. L ; FRANKE, L. L . C. . INTERFACE LANÇADOR/CUBESAT PARA O PROJETO DO NANOSATC-BR - SICINPE 2009.** In: 25ª Jornada Acadêmica Integrada da Universidade Federal de Santa Maria, 2010, Santa Maria. Anais da 25ª Jornada Acadêmica Integrada, 2010.
5. **BÜRGER, E. E. ; DURÃO, O. S. C. ; Schuch, N. J. ; COSTA, L. L ; STEKEL, T. R. C. SMALL SATELLITE CURRENT SITUATION FOR ACCESS TO SPACE ORBITS – 61th International Astronautical Congress/ International Astronautical Federation, 2010, Praga, República Tcheca.**



## **ANEXO 1**



## FASE D

---

Autor:

Eduardo Bürger e Lucas Costa

---

Verificado por:

---

Aprovado por:

---

## SYSTEM ENGINEERING

---

*NANOSATC-BR1\_SE\_AI&T-Plan*

# PLANO DE AI&T NANOSATC-BR



## **CONTROLE DE REVISÕES**

Versão/Revisão	Data	Alterações	Criado/Modificado por
1.0/0	26/05/2011	Plano de AI&T	Eduardo E.B e Lucas L.C



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>PLANO DE AI&amp;T</b> .....	<b>6</b>
1.1	Introdução .....	6
1.2	Filosofia De Modelos.....	7
1.3	Filosofia De Testes .....	8
<b>2</b>	<b>TESTES A NÍVEL DE PROJETO</b> .....	<b>9</b>
2.1	Modelo de Engenharia .....	9
2.2	Modelo de Vôo .....	9
<b>3</b>	<b>TESTES A NÍVEL DE LANÇAMENTO</b> .....	<b>10</b>
3.1	Modelo De Engenharia.....	10
3.1.1	Matriz de Testes Ambientais .....	10
3.1.2	Testes De Vibração.....	11
3.1.3	Testes Vácuo-Térmicos .....	15
3.1.4	Propriedades de Massa .....	16
3.1.5	Testes EMI/EMC e Balanço Magnético.....	17
3.1.6	Fluxogramas De Teste .....	18
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>30</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Requisitos para Ensaios de Vibração .....	11
Figura 2 - Desenho Técnico da Armadura do Shaker de 13KN.....	13
Figura 3 - Desenho Técnico da Mesa do Shaker de 13KN .....	13
Figura 4 - Desenho técnico da furação do Test-POD .....	14
Figura 5 - Requisitos de Ensaios Vácuo-Térmicos.....	15
Figura 6 - Requisitos para medição das propriedades de massa.....	16
Figura 7 - Fluxograma de Testes - Nível 1.....	19
Figura 8 - Fluxograma de Testes - Nível 2.....	20
Figura 9 - Fluxograma de Testes - Nível 3.....	21
Figura 10 - Fluxograma de Testes - Nível 4.1.....	22
Figura 11 - Fluxograma de Testes - Nível 4.2.....	23
Figura 12 - Fluxograma de Testes - Nível 4.3.....	24
Figura 13 - Exemplo de Teste Bake-Out (DNEPR SCR) .....	25
Figura 14 - Níveis de qualificação de Testes de Vibração Senoidal do foguete PSLV .....	27
Figura 15 - Amplitude das Vibrações senoidais a nível de qualificação do foguete PSLV <sup>3</sup> . .....	27
Figura 16 - NASA GEVS Randon Vibration Profiles .....	28
Figura 17 - PSLV Random Vibration Test Levels <sup>3</sup> .....	28
Figura 18 - Densidade de Potência Espectral para teste de Qualificação do foguete PSLV.....	28
Figura 19 - Níveis de teste de Choque a nível de qualificação do foguete PSLV <sup>3</sup> . .....	29



## **TERMOS, DEFINIÇÕES E ABREVIações**

ADCS – Attitude Determination and Control Subsystem

AI&T – Assembly Integration and Tests

C&DH – Command and Data Handling

C.G – Centro de Gravidade

CAD – Computer Aided Design

CI – Circuito integrado

CRS – Centro Regional Sul

EGSE – Electrical Ground Support Equipment

EM – Engineering Model

EMI/EMC – Electro Magnetic Interference/ Electro Magnetic Compatibility

FM – Flight Model

FPGA – Field Programmable Gate Array

GEVS – General Environment Verification Specification

GS – Ground Station

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LIT – Laboratório de Integração e Testes

MGSE – Mechanical Ground Support Equipment

Payload – Carga útil do satélite

PL - Payload

POD – Picosatellite Orbital Deployer

PSD – Power Spectral Density

PSLV – Polar Satellite Launch Vehicle, veículo Indiano lançador de satélites

RF – Rádio Frequência

SMDH – Santa Maria Design House

Test-POD – Interface que simula o POD, para uso em testes de qualificação



## PLANO DE AI&T

### 5.1 Introdução

Este documento, expõe as atividades desenvolvidas na segunda etapa do estágio curricular obrigatório do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, dos alunos Eduardo Escobar Bürger e Lucas Lopes Costa. O estágio de 20 dias no Laboratório de Integração e Testes – LIT do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE da cidade de São José dos Campos, SP foi coordenado pelo Dr. Geilson Loureiro, com o apoio direto dos tecnologistas responsáveis por cada área de ensaios ambientais, como também dos integrantes do Projeto do Laboratório de Engenharia de Sistemas – LSIS.

O objetivo deste período no LIT foi o desenvolvimento do primeiro plano de AI&T para o Projeto do nanosatélite da classe CubeSat, NanoSatC-BR1, pensando-se no futuro desenvolvimento de um plano de testes geral aplicado à CubeSats. As ferramentas utilizadas pelos alunos para concluir esta meta foram:

- Reuniões técnicas com Dr. Geilson, Adalberto Coelho e responsáveis por cada área de teste;
- Participação das reuniões semanais do Projeto LSIS;
- Estudo de material de Assembly, Integration & Test – AIT usado no INPE;
- Estudo de Planos de teste de outros Projetos CubeSat;
- Interações com a empresa Holandesa fornecedora do CubeSat Kit, ISL/ISIS.

A partir destas ferramentas, este documento detalha através de fluxogramas simples e de hierarquia horizontal, os requisitos necessários para realização dos testes a serem executados no CubeSat NANOSATC-BR1, com comentários e dúvidas a serem discutidas sobre cada tipo de ensaio, e o desdobramento do Plano de Testes desenvolvido. É importante notar que na fase atual do Projeto, o foguete lançador ainda não está definido, portanto níveis escolhidos baseiam-se na indicação obtida no documento CDS, do uso dos níveis do documento da NASA *GSFC-STD-7000*, na ausência de foguete lançador definido para o Projeto. Juntamente com estes níveis, também serão especificados os níveis de teste usados para o lançamento com o foguete Indiano PSLV, o provável lançador do Projeto.



## 5.2 Filosofia De Modelos

O Projeto NANOSATC-BR seguirá a filosofia de modelos geralmente usada em Projetos CubeSat, adquirindo dois modelos do satélite: *Engineering Model* e *Flight Model*. O primeiro será utilizado para o aprendizado dos alunos e também para a qualificação do satélite a nível de sistema, sendo desta forma uma “fusão” do modelo de engenharia e modelo de qualificação usados em Projetos de satélites de grande porte. O EM não terá as placas solares nem o subsistema de atitude, sendo estas as únicas diferenças entre o EM e o FM. O modelo de vôo deverá passar pelos testes de aceitação, logo após da integração das cargas úteis do nanosatélite.



## 5.3 Filosofia De Testes

De uma perspectiva de alto nível, pode-se definir dois grandes grupos de testes previstos para o Projeto NANOSATC-BR: Testes a nível de Projeto e Testes a nível de lançamento.

- **Projeto:** Estes testes não são obrigatórios, ou seja, a quantidade e níveis dos testes serão definidos pelas necessidades do próprio Projeto NANOSATC-BR, provavelmente com algumas recomendações da empresa ISL/ISIS devido à sua experiência. Neste nível, são necessários testes relacionados principalmente com a carga útil integrada na respectiva placa, bem como o satélite totalmente integrado.
- **Lançamento:** Por serem muito importantes para a segurança dos satélites vizinhos e para o próprio foguete lançador, estes testes são obrigatórios para todos CubeSats. Neste nível, a empresa agenciadora do lançamento, a Holandesa ISL/ISIS, é responsável pelos planos de teste, documentação e acompanhamento dos ensaios, tanto de qualificação como de aceitação. Os testes de qualificação serão executados no LIT, o elemento do vôo terá o subsistema de carga útil integrado no LIT/INPE em São José dos Campos, a partir desta etapa podem ocorrer as seguintes logísticas: se o dispositivo ejetor POD for dedicado somente ao NANOSATC-BR1, os testes de aceitação serão executados no LIT; caso o POD carregue o CubeSat brasileiro além de outros CubeSats, a empresa ISL/ISIS será encarregada dos testes de aceitação.



## TESTES A NÍVEL DE PROJETO

### 6.1 Modelo de Engenharia

A ser definido.

### 6.2 Modelo de Vôo

A ser definido.



## TESTES A NÍVEL DE LANÇAMENTO

### 7.1 Modelo De Engenharia

Nos próximos itens, serão detalhados através de fluxogramas, os requisitos necessários para a execução de cada teste, juntamente com os comentários e dúvidas a serem esclarecidas.

#### 7.1.1 Matriz de Testes Ambientais

A matriz de testes ambientais abaixo foi desenvolvida a partir da sugestão do Engenheiro *Michiel van Bolhuis* da empresa Holandesa ISL/ISIS fornecedora do CubeSat Kit para o Projeto **NANOSATC-BR Desenvolvimento de CubeSats**.

	EM	FM
ACELERAÇÃO QUASE-ESTÁTICA	N	D
RESSONÂNCIA	N	N
VIBRAÇÃO SENOIDAL	N	N
VIBRAÇÃO RANDÔMICA	N	N
CHOQUE	N	N
THERMAL CYLCING TEST	N	N*
TESTE TÉRMICO “BAKING”	D	N

N: Necessário

D:Desnecessário

N\*: Recomendável

É importante observar que a tabela acima não se faz obrigatória, sendo apenas uma sugestão do departamento de Engenharia da ISL/ISIS. Salienta-se que os testes abordados neste documento foram selecionados de acordo com necessidades do Projeto, equipamentos disponíveis e logística de testes usada no Laboratório de Integração e Testes – LIT.

## 7.1.2 Testes De Vibração

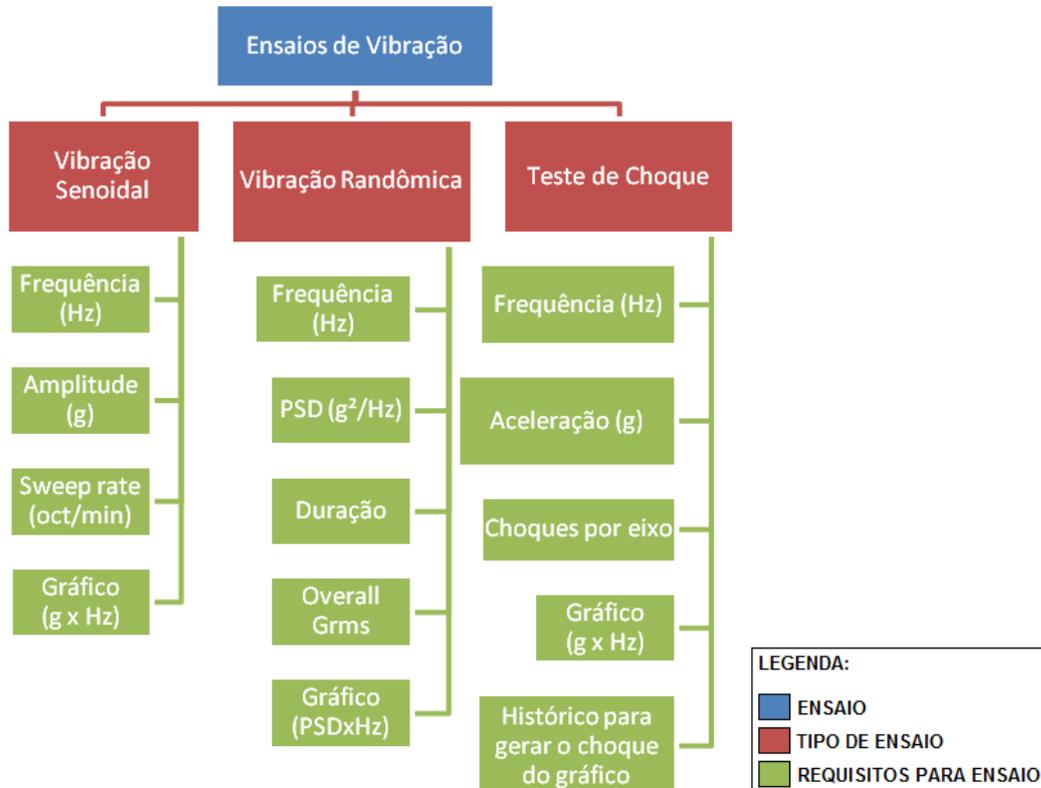


Figura 22 - Requisitos para Ensaio de Vibração

**APOIO DOS TECNOLOGISTAS:** HOMERO ANCHIETA FURQUIM DE SOUZA E JOÃO FIGUEIROA

### COMENTÁRIOS:

- Será necessário projetar a interface entre o Test-POD e o Shaker. A interface deve ser uma peça metálica com furação correspondente a da mesa de vibração (Shaker) e, na sua face oposta, furação correspondente a do Test-POD. Deve-se notar que a furação da mesa e armadura do Shaker já são conhecidas (Figuras 2 e 3) assim como a furação do Test-POD. (Figura 4), fornecido pela empresa agenciadora do lançamento.
- O equipamento necessário para realização dos testes de vibração dependerá dos níveis requeridos. Foi realizado uma análise preliminar baseada em níveis de testes de outro CubeSat, (cujo lançamento foi feito pelo foguete indiano PSLV – provável lançador do NANOSATC-BR1) o tecnologista responsável pelos testes de vibração definiu que será possível realizar os ensaios no Shaker de 13kN, sem o uso de adaptador em “L”, ou seja, os outros eixos serão testados com a mesa horizontal.



- Foi iniciada uma discussão sobre a realização do teste de choque, mas nenhuma alternativa foi definida, pois trata-se de um teste mais complexo e demanda certo tempo de análise. Deve-se definir primeiramente a curva do choque (estímulo gerado pelo equipamento – requisito do teste), tendo esta curva é possível aplicar este carregamento de diferentes maneiras (histórico do choque) e, para isto, pode ser usado um software específico, no qual serão gerados algumas opções que devem ser analisadas de acordo com os parâmetros limitantes (ex: capacidade do equipamento).
- Devido as diferenças físicas (diferentes componentes – “falta de componentes no EM”) dos EM e FM foram analisadas algumas maneiras para qualificação do EM nos testes de vibração a serem válidas para o FM. Faltam no EM os seguintes componentes: Células Solares e os 3 Painéis Laterais, nos quais estão embutidos: sensor de temperatura (Termistor) os sistemas de determinação (Sensor Solar e Giroscópio) e controle de atitude (*Magnetorquer*). Das reuniões feitas neste setor, foi decidido que a necessidade ou não do uso de dummies é resultado da análise em software, comparando-se a resposta gerada na PL dos ensaios de vibração entre os dois modelos existentes. Existindo a necessidade da construção de *dummies* para representação física dos componentes de determinação e controle de atitude, os mesmos devem ser construídos de acordo com os componentes reais, com mesmas características físicas de dimensão, massa, centro de gravidade e, não estritamente necessário, do momento de inércia. Ainda sabendo que os dummies devem ser fixados exatamente da mesma maneira que os componentes reais.
- Determinar, através de análise em software, os pontos críticos a serem monitorados através dos sensores (acelerômetros) para o NANOSATC-BR1 durante os testes de vibração. Além disso, verificar a necessidade e modo de efetuar medições em componentes/partes internas ao satélite.

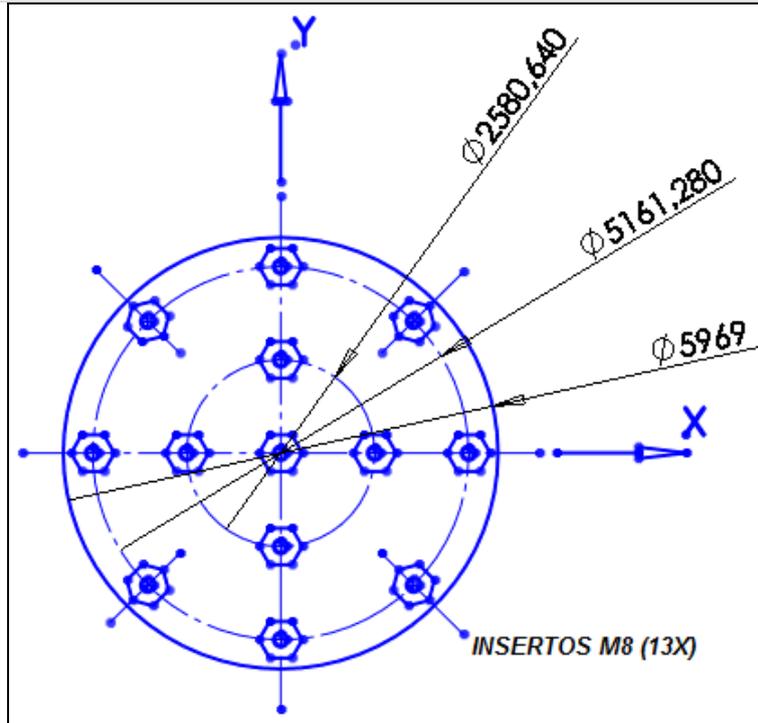


Figura 23 - Desenho Técnico da Armadura do Shaker de 13KN

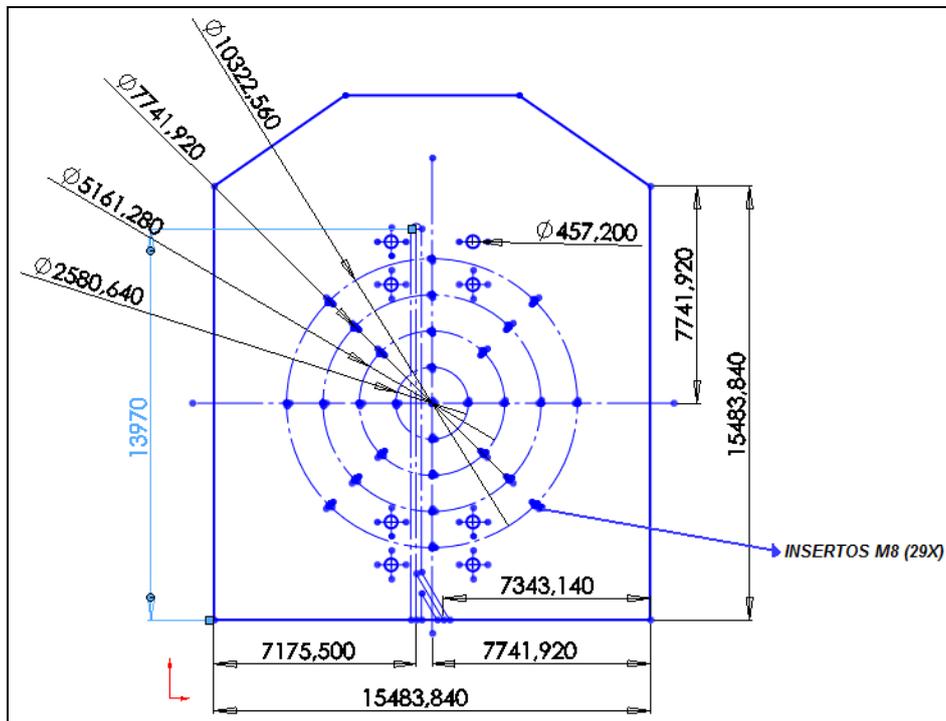


Figura 24 - Desenho Técnico da Mesa do Shaker de 13KN

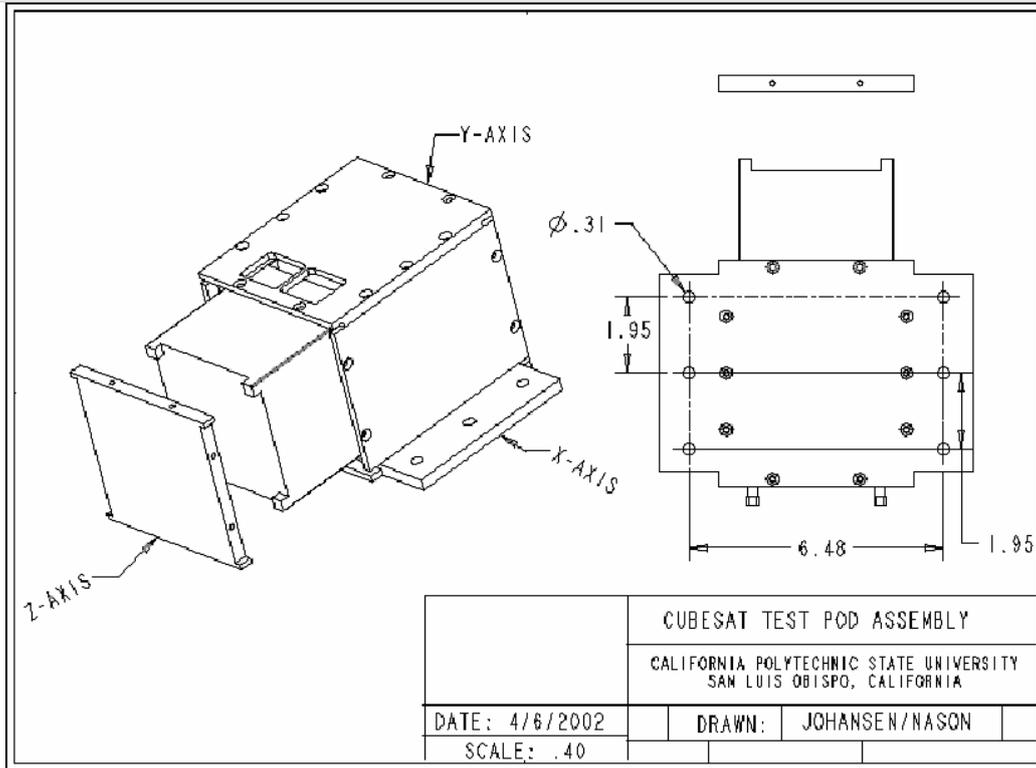


Figura 25 - Desenho técnico da furação do Test-POD



### 7.1.3 Testes Vácuo-Térmicos

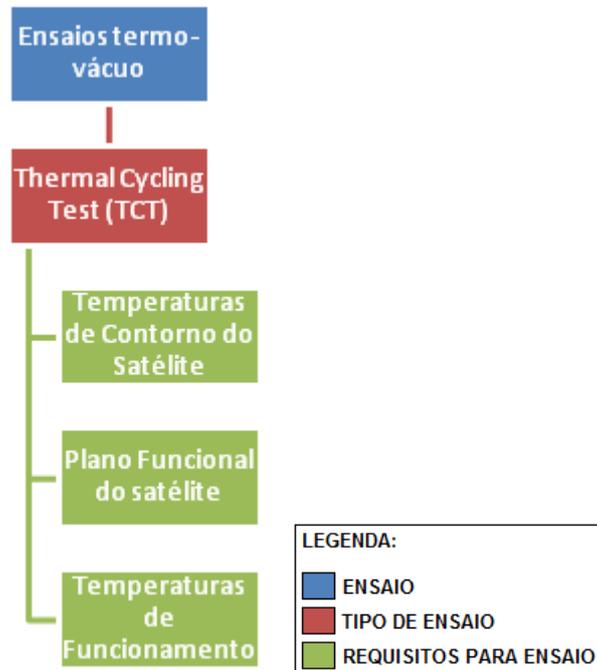


Figura 26 - Requisitos de Ensaio Vácuo-Térmicos

**APOIO DOS TECNOLOGISTAS:** MÁRCIO BUENO, ÉZIO, JOSÉ SÉRGIO E DÊNIO.

#### COMENTÁRIOS:

- Foi proposta a execução dos testes e análise dos resultados. Se houver temperaturas fora dos níveis aceitáveis será necessária a aplicação de um controle térmico.
- Chegou-se à conclusão que testes termo-vácuo a nível de subsistema são necessários na Payload, pois é o único subsistema não qualificado pela ISL/ISIS.
- Fazer simulação em software para descobrir a potência que chega à placa da estrutura sem as placas solares, para poder simular tal valor na câmara de testes.
- Há algumas formas de inserir o satélite na câmara de teste, a escolha é baseada em simulação em software, podendo ser: satélite sobre uma manta de teflon, suspenso por cabos ou sobre uma malha térmica de um material especial.
- Verificar a necessidade de local para passar termo-pares para o interior do satélite.

## 7.1.4 Propriedades de Massa<sup>2</sup>

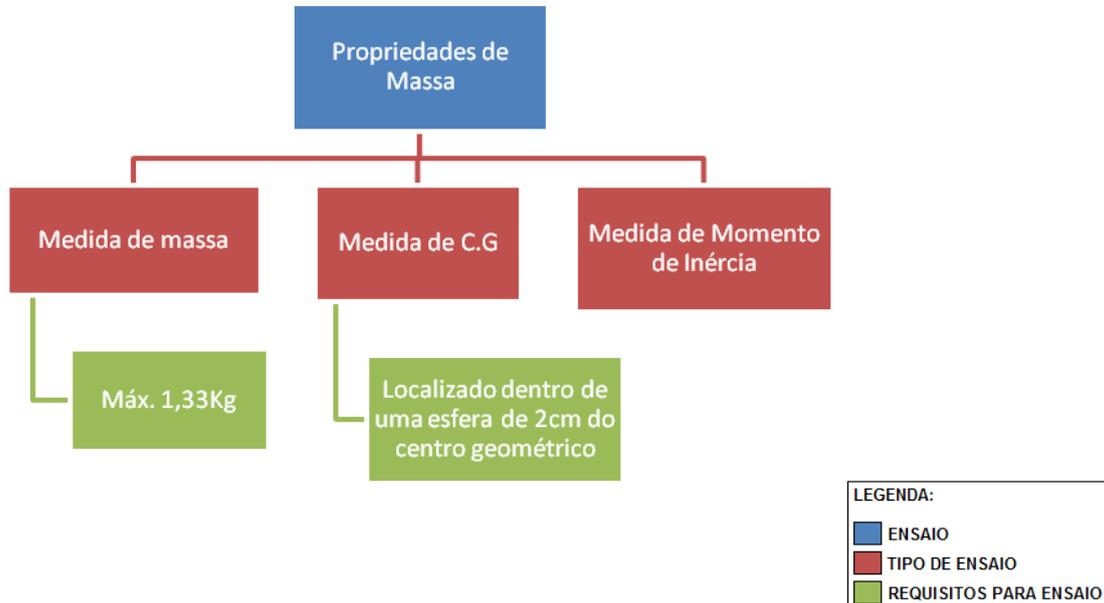


Figura 27 - Requisitos para medição das propriedades de massa

APOIO DOS TECNOLOGISTAS: MAURO KAKIZAKI

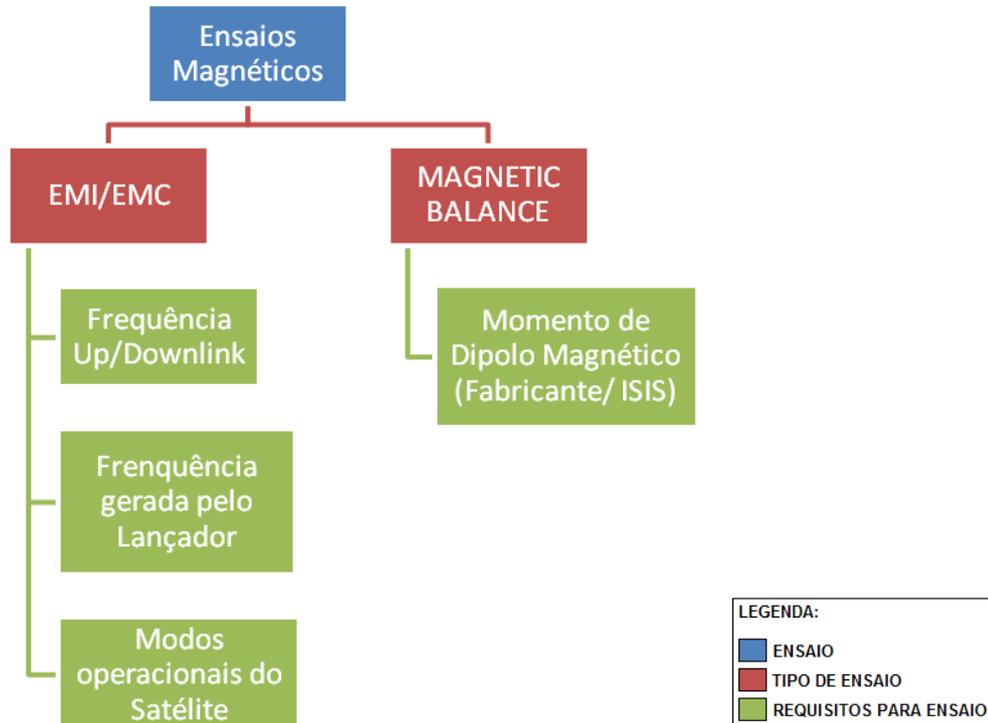
### COMENTÁRIOS:

- Verificar em Software CAD a medida do Centro de Gravidade e Medidas de Momento de inércia. Caso o resultado não for satisfatório perante os requisitos, é necessário fazer medições em Laboratório para confirmar a validade do modelo CAD.
- Testes de alinhamento só necessários com cargas úteis que contenham elemento óptico, ou seja, não serão necessários no NANOSATC-BR1.
- Em laboratório as medidas de C.G e Momento de Inércia podem ser feitas em um eixo, confirmando o resultado obtido com o CAD do Projeto.

<sup>2</sup> Nota-se que medidas de propriedades de massa não fazem parte dos ensaios ambientais, porém também foram analisados neste documento.



### 7.1.5 Testes EMI/EMC e Balanço Magnético



**APOIO DOS TECNOLOGISTAS:** MARCO STROBINO E ADALBERDO COMIRAN

#### COMENTÁRIOS:

- Há a possibilidade de dois testes de balanço magnético: para verificar se há torque gerado por dipolo magnético (o que interfere no controle de atitude), e a medição da interferência eletromagnética no local do magnetômetro, pois devido à presença de corrente elétrica podem haver erros na leitura do mesmo.
- Um teste de EMI/EMC também pode ser realizado, expondo o satélite a uma varredura de sinais RF, excluindo frequência de recepção do *transceiver*.
- Requisitos são basicamente o ambiente RF do lançador, os modos de operação definidos para o ciclo de vida do satélite. Para os testes são usadas as normas militares *MIL-STD-461E, Electromagnetic Interference Characteristics Requirements for Equipment*.



## 7.1.6 Fluxogramas De Teste

### 7.1.6.1 Introdução

Nesta seção, serão definidos os fluxogramas de logística e testes do CubeSat NANOSATC-BR1 modelo de engenharia. Estes fluxogramas foram gerados a partir de análise e adaptação do material de AI&T do INPE utilizado para satélites de grande porte, e também análise de planos de teste de outras equipes CubeSat. No quarto e último nível de desdobramento de fluxogramas, serão expostos níveis de teste que satisfazem os requisitos de teste previamente indicados no item 3.1 deste documento. Estes níveis, por ainda não se ter certeza do foguete lançador, serão supostos como sendo utilizado o foguete indiano PSLV, juntamente com documento GEVS, da NASA, o qual os níveis de teste englobam a grande maioria de lançadores existentes.



### 7.1.6.2 Fluxograma Nível 1

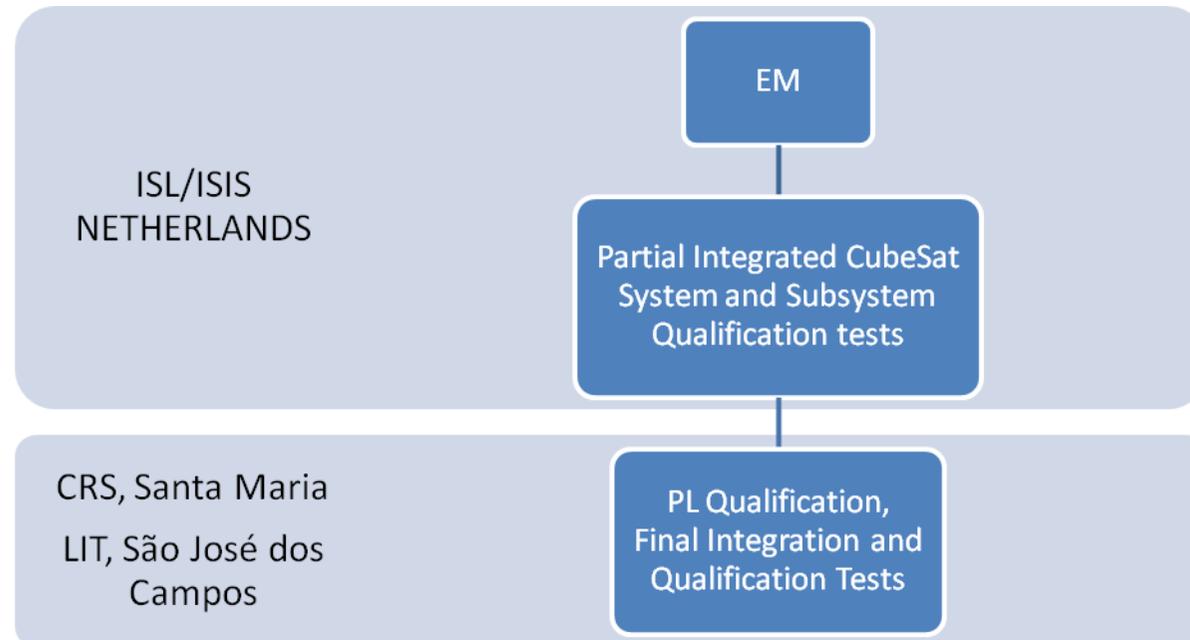


Figura 28 - Fluxograma de Testes - Nível 1



### 7.1.6.3 Fluxograma Nível 2

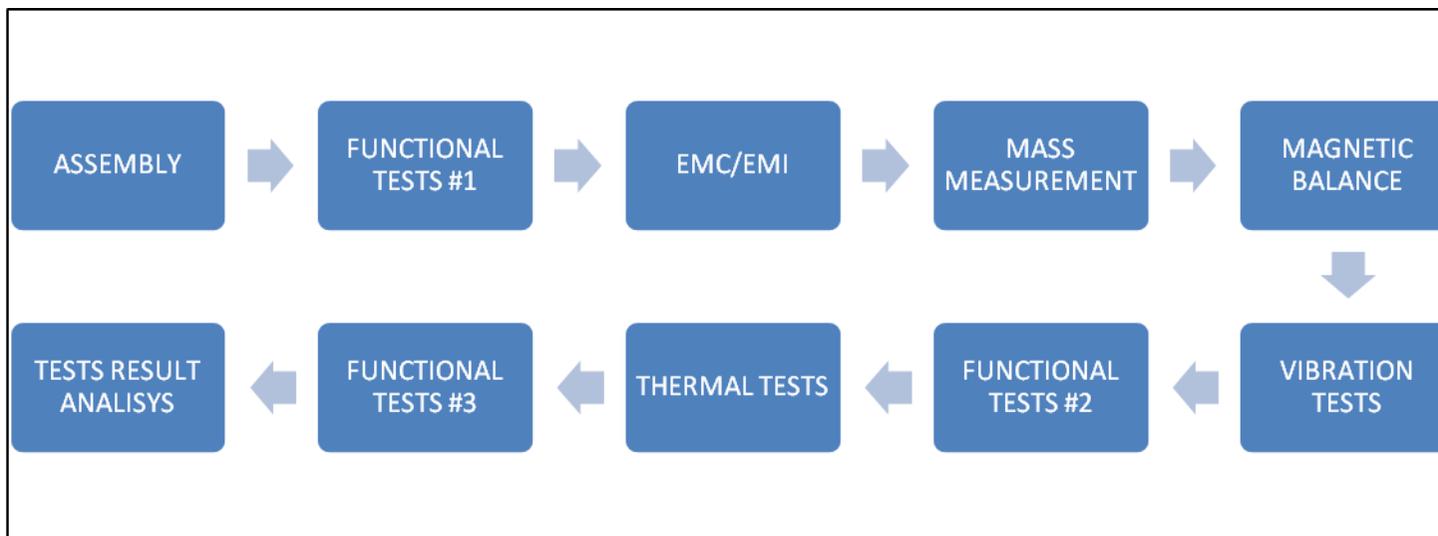


Figura 29 - Fluxograma de Testes - Nível 2



### 7.1.6.4 Fluxograma Nível 3

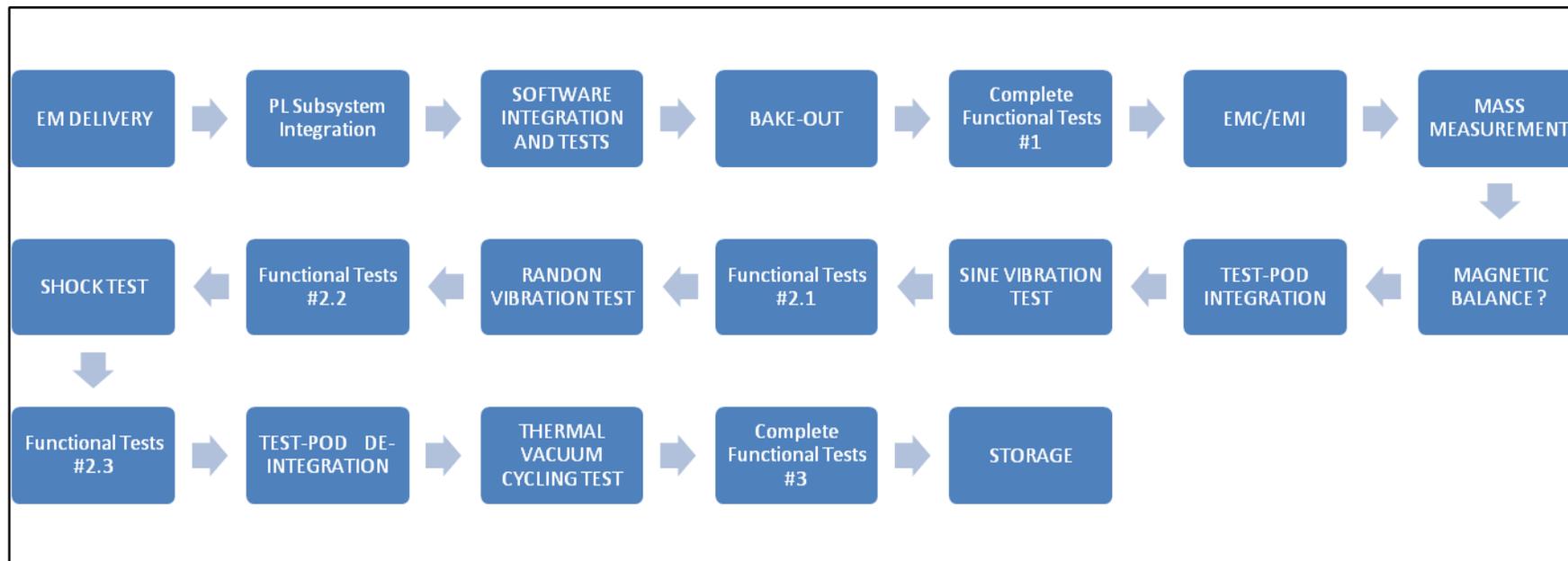


Figura 30 - Fluxograma de Testes - Nível 3



### 7.1.6.5 Fluxograma Nível 4.1 – EM DELIVERY

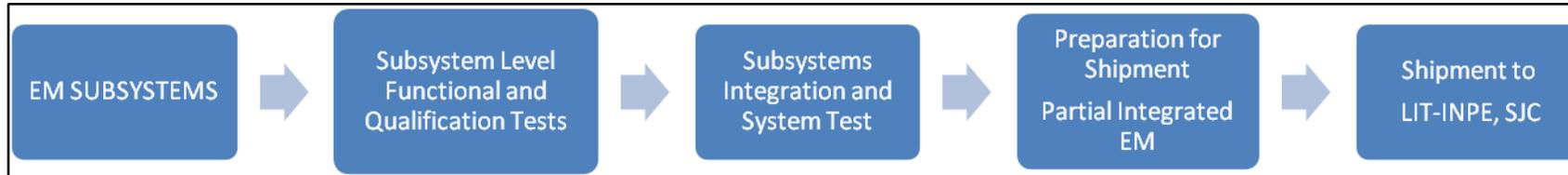


Figura 31 - Fluxograma de Testes - Nível 4.1



### 7.1.6.6 Fluxograma Nível 4.2 – PL SUBSYSTEM INTEGRATION

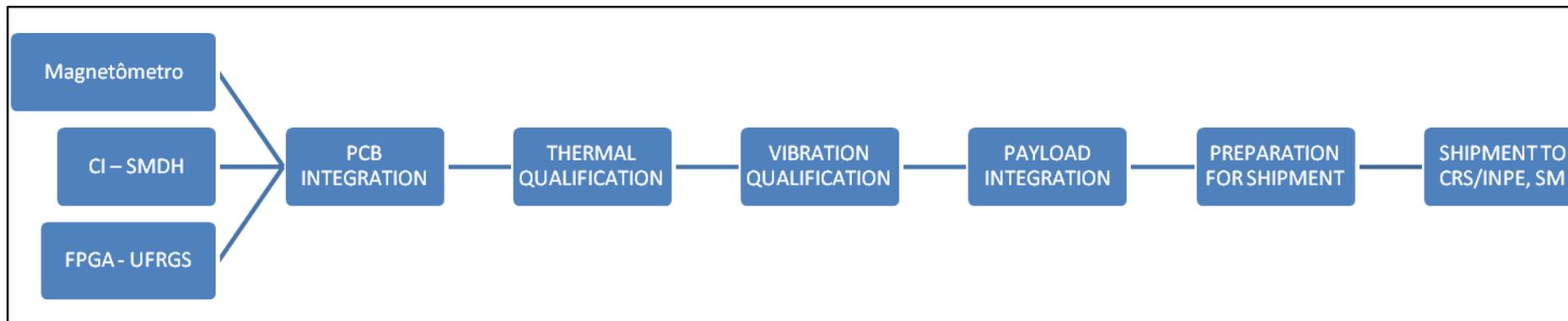


Figura 32 - Fluxograma de Testes - Nível 4.2



### 7.1.6.7 Fluxograma Nível 4.3 – SOFTWARE INTEGRATION (reestruturar processos)

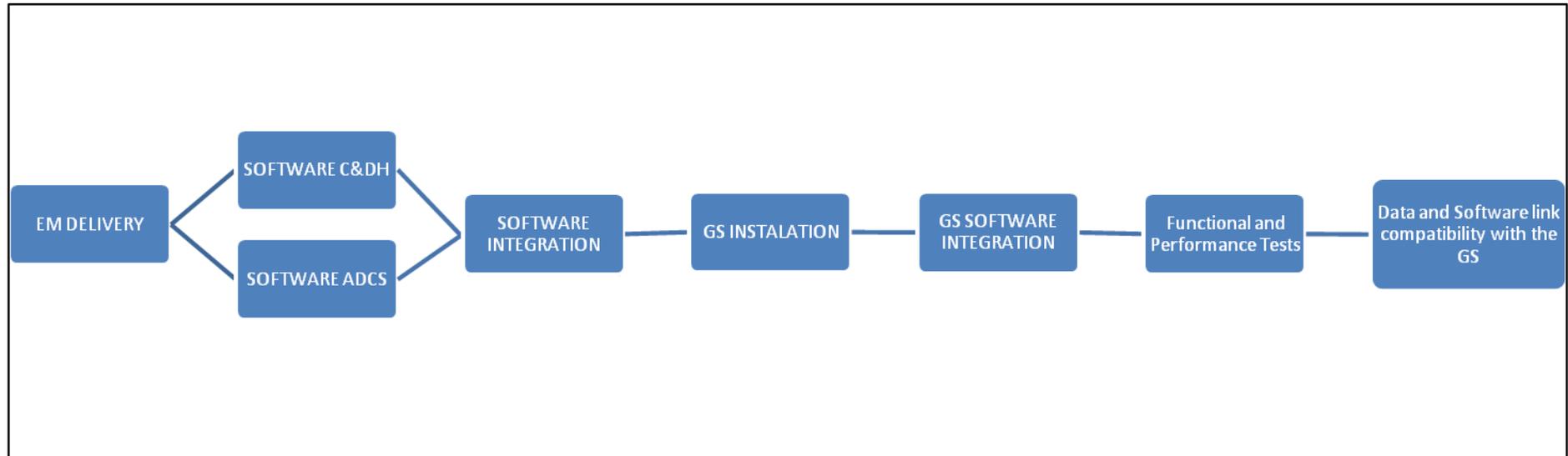
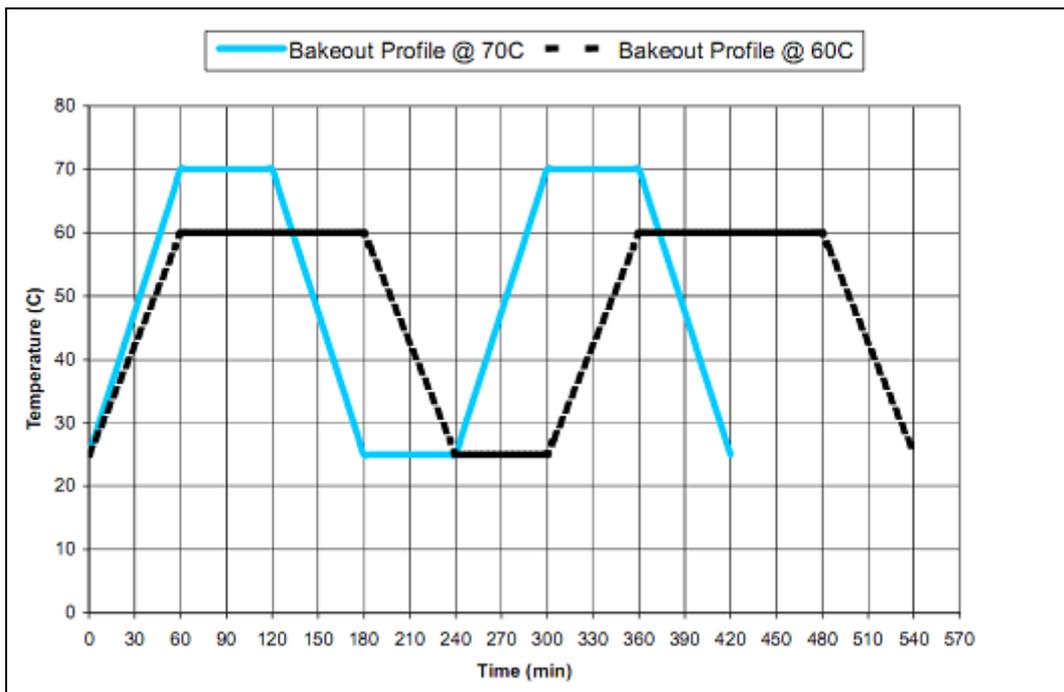


Figura 33 - Fluxograma de Testes - Nível 4.3



### 7.1.6.8 Fluxograma Nível 4.4 – BAKE-OUT

O processo Bake-Out é necessário para garantir que o modelo em questão estará apto, em relação à níveis de contaminação, para ser manuseado em área limpa e/ou para garantir que não haverão gases ou substâncias voláteis que poderão interferir no lançamento. Como regra geral, a câmara de termo vácuo deve chegar de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  Torr e a temperatura da câmara variar, estabilizando duas horas na temperatura de 70°C e duas horas a temperatura ambiente. Deve haver uma verificação de mudança de pressão na câmara, em seguida mais um ciclo do teste é repetido para garantir que não há mudança de pressão.



Figur

a 34 - Exemplo de Teste Bake-Out (DNEPR SCR)<sup>3</sup>

<sup>3</sup> DNEPR Safety Compliance Requirements, Ver. 1.0, Last Updated 8.5.04



### **7.1.6.9 Fluxograma Nível 4.5 – Complete Functional Tests #1**

A serem definidos.

### **7.1.6.10 Fluxograma Nível 4.6 – EMI/EMC**

A ser definido.

### **7.1.6.11 Fluxograma Nível 4.7 – MASS MEASUREMENT**

Para a realização das medições de massa, dois requisitos são impostos pelo documento CubeSat Design Specification:

- Satélite com no máximo 1,33Kg;
- Centro de gravidade do satélite localizado dentro de uma esfera imaginária de 2cm do centro geométrico.

### **7.1.6.12 Fluxograma Nível 4.8 – MAGNETIC BALANCE**

A ser definido.

### **7.1.6.13 Fluxograma Nível 4.9 – TEST-POD INTEGRATION**

Os procedimentos para integração/desintegração do CubeSat na interface Test-POD são descritos no documento Test-POD User Guide, revisão 6.



### 7.1.6.14 Fluxograma Nível 4.10 – SINE VIBRATION TEST

O sistema deve suportar o teste de vibração senoidal de qualificação nos três eixos para os níveis de frequências especificados nas figuras 14 e 15.

Frequency [Hz]	5	8	100
Amplitude [g]	1	4.5	4.5
Sweep rate	2 oct/mn		

Figura 35 - Níveis de qualificação de Testes de Vibração Senoidal do foguete PSLV<sup>4</sup>

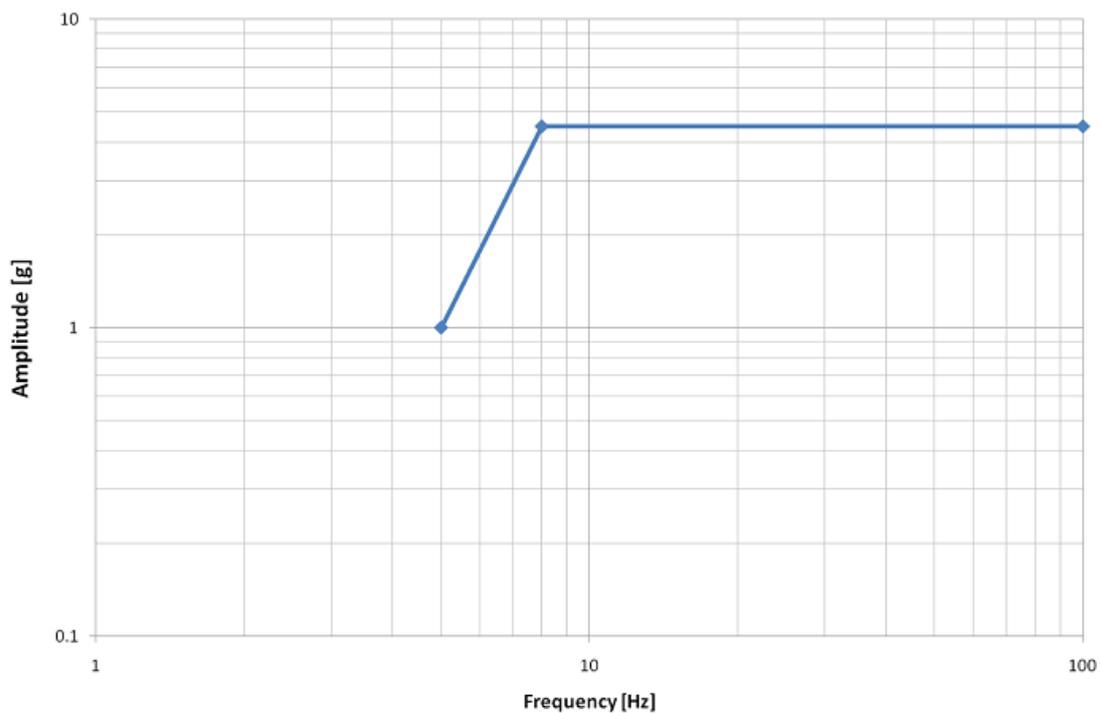


Figura 36 - Amplitude das Vibrações senoidais a nível de qualificação do foguete PSLV<sup>3</sup>.

### 7.1.6.15 Fluxograma Nível 4.11 – Functional Tests #2.1

A serem definidos.

<sup>4</sup> Fonte: PSLV User's Manual Issue 5, Rev.0, ISRO – 2005



### 7.1.6.16 Fluxograma Nível 4.12 – RANDON VIBRATION TEST

O sistema deve suportar o teste de vibração randômica de qualificação nos três eixos para os níveis de freqüências especificados nas figuras 16 (GEVS) ou 17 e 18 (PSLV).

Frequency (Hz)	ASD Level (G <sup>2</sup> /Hz)	
	Qualification	Acceptance
20	0.026	0.013
20-50	+6 dB/oct	+6 dB/oct
50-800	0.16	0.08
800-2000	-6 dB/oct	-6 dB/oct
2000	0.026	0.013
Overall	14.1 G <sub>rms</sub>	10.0 G <sub>rms</sub>

Figura 37 - NASA GEVS Randon Vibration Profiles<sup>5</sup>

Frequency [Hz]	20	110	250	1000	2000	Overall G <sub>rms</sub>
PSD [10 <sup>-3</sup> g <sup>2</sup> /Hz]	2	2	34	34	9	6.71
Duration	2mn per axis					

Figura 38 - PSLV Random Vibration Test Levels<sup>3</sup>.

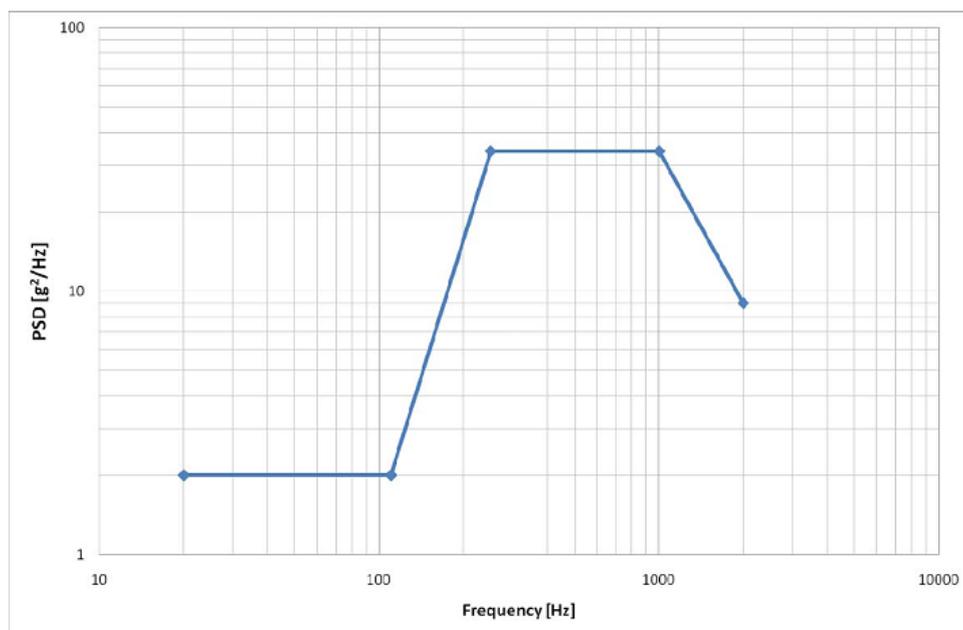


Figura 39 - Densidade de Potência Espectral para teste de Qualificação do foguete PSLV<sup>3</sup>.

<sup>5</sup> Fonte: NASA General Environmental Verification Specification - GSFC-STD-7000



### 7.1.6.17 Fluxograma Nível 4.13 – Functional Tests #2.2

A serem definidos.

### 7.1.6.18 Fluxograma Nível 4.14 – SHOCK TEST

O sistema deve suportar o teste de choque a nível de qualificação, para os níveis de frequência especificados na figura 19.

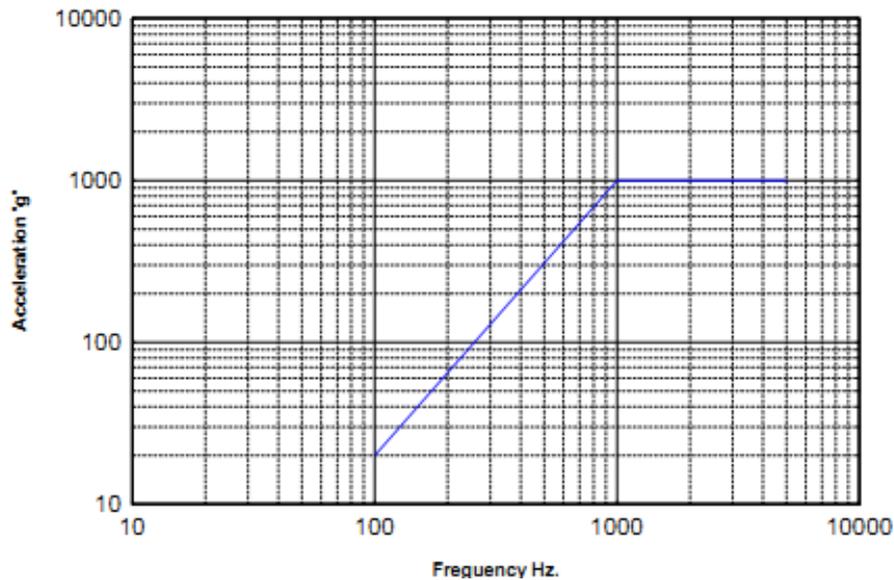


Figura 40 - Níveis de teste de Choque a nível de qualificação do foguete PSLV<sup>3</sup>.

### 7.1.6.19 Fluxograma Nível 4.15 – Functional Tests #2.3

A serem definidos.

### 7.1.6.20 Fluxograma Nível 4.16 – TEST-POD DE-INTEGRATION

Os procedimentos para integração/desintegração do CubeSat na interface Test-POD são descritos no documento Test-POD User Guide, rev. 6.



### **7.1.6.21 Fluxograma Nível 4.17 – THERMAL VACUUM CYCLING TEST (TCT)**

A ser definido.

### **7.1.6.22 Fluxograma Nível 4.18 – Complete Functional Tests #3**

A serem definidos.

### **7.1.6.23 Fluxograma Nível 4.19 – STORAGE**

Estágio final dos testes. Nesta fase o sistema do nanosatélite já foi 100% qualificado, atestando a funcionalidade do modelo de vôo nos níveis mais críticos em que o satélite será exposto durante o lançamento e em órbita. e os resultados dos testes analisados e documentados nos respectivos documentos *Test-Report*. Futuramente, este modelo de engenharia poderá se tornar um modelo de vôo e fazer parte de outra missão do Projeto **NANOSATC-BR Desenvolvimento de CubeSats**.

## **REFERÊNCIAS**

**AI&T Plan**. Documento Interno LIT. São José dos Campos, SP. 20XX. 34p.

**BOHRER, R. Z. G. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO MECÂNICO**



**ESTRUTURAL DO NANOSATC-BR.** Relatório Final de Atividades PCI/MCT. Maio 2011. 28p.

**BONEMA, A. NANOSATC-BR Platform and Ground Station STATUS UPDATE.** Documento de Projeto. mar. 2011. 6p.

**BÜRGER, E. E., Interface Lançador/Cubesat para o Projeto do NanoSatC-BR.** Relatório Final de Bolsa PIBIC/INPE – CNPq. pp.76 2009. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE, Santa Maria, RS. 2009.

**CENTRO REGIONAL SUL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Convênio UFSM.** Santa Maria, RS, 2010. Disponível em: <<http://www.inpe.br/crs/index.php>>. Acesso em: 8 jun. 2011.

**CubeSat Community** – Comunidade Internacional CubeSat. California Polytechnic State University, California, US, 2002. Disponível em <<http://www.cubesat.org/>>. Acesso em: 23 abr. 2011.

**DURÃO, O. S. C., SCHUCH, N. J., et. al. DOCUMENTO PRELIMINAR DE REVISÃO - STATUS DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS ESPACIAIS DO PROJETO NANOSATC-BR – DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS.** Documento apresentado a AEB. Maio 2011. p. 256.

**INFRA ESTRUTURA DE TESTES DO LIT.** Documento Interno LIT. São José dos Campos, SP. 20XX. 47p.

**LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES. Home, Sobre o LIT, Serviços.** São José dos Campos, SP, 2011. Disponível em: <<http://www.lit.inpe.br/>>. Acesso em 13 jun. 2011.

**LOUREIRO, G. LIT – LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES.** Apresentação Digital. Jun 2009.



SCHUCH, N. J., et al. **Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats.**  
Documento de Projeto. Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Santa Maria – RS,  
Junho 2010.