



GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO E CONFIGURAÇÃO APLICADOS AO PROJETO NANOSATC-BR2

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBITI/INPE - CNPq/MCTIC)

Tiago Travi Farias
(UFSM – Bolsista PIBITI/INPE – CNPq/MCTIC)
E-mail: tiago.travi.farias@gmail.com

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

Junho de 2016



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título:

**GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO E CONFIGURAÇÃO
APLICADOS AO PROJETO NANOSATC-BR2**

Processo: 126368/2015-5

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

Tiago Travi Farias

Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Co-Orientador:

Dr. Eng. Otávio S. C. Durão

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCTIC

Colaboradores:

Artur Gustavo Slongo

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial da UFSM

Leonardo Zavareze da Costa

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

Lorenzo Quevedo Mantovani

Acadêmico do Curso de Engenharia Aeroespacial da UFSM

Marcos Laurindo Dal Piaz

Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção da UFSM

Rodrigo Passos Marques

Graduado em Engenharia Mecânica da UFSM

Viktor Leon Bizarro Dutra

Graduado em Engenharia Aeroespacial da UFSM



Locais de Trabalho/Execução do Projeto:

- Laboratório de Radiofrequência e Comunicações - LRC/CRS/INPE – MCTIC

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



AGRADECIMENTOS

Primeiro agradeço a toda à Equipe de colaboradores que me ajudaram de alguma forma a desenvolver meu Projeto de Pesquisa. Um agradecimento especial ao meu Orientador e Mentor Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCTIC, que sempre com muita atenção me deu suporte e apoio, acreditou em meu trabalho e me deu essa grande oportunidade de participar do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.

Deixo meus sinceros agradecimentos:

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

Aos Servidores do CRS/INPE – MCTIC tanto pela infraestrutura disponibilizada, quanto ao apoio e atenção dos funcionários.

Aos meus familiares, que sempre me deram apoio e motivaram nos meus estudos e atividades, minhas decisões, ajudando com apoio psicológico em minha caminhada.

Tiago Travi Farias

Endereço para acessar este espelho: dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/7794549117333980

Dados Gerais

Nome em citações bibliográficas: FARIAS, T. T.

Nível de Treinamento

Áreas de atuação:

- Engenharia de Produção
- Nanossatélites

Bolsista CNPq:

- IT

Última atualização do Currículo Lattes: 23/05/2016

Contato:

Homepage:

Grupos de pesquisa em que atua

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

Linhas de pesquisa em que atua

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

Orientadores participantes de grupos de pesquisa

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

Grupos de pesquisa de que é egresso

Nome do grupo	Instituição	Ações
Nenhum registro adicionado		

Indicadores de produção

Indicadores: [Visualizar](#)

RESUMO

O Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica – PIBITI/INPE-CNPq/MCTIC, apresenta os estudos e atividades realizadas por **Tiago Travi Farias**, desenvolvidas pelo bolsista, no período de Agosto de 2015 até Julho de 2016, referentes ao Projeto “GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO E DE CONFIGURAÇÃO APLICADOS AO PROJETO NANOSATC-BR2”.

O principal Objetivo do trabalho, é a realização de estudos e aplicações na parte de gerenciamento de projetos, mais especificamente o gerenciamento do Projeto NANOSATC-BR2. Foi usada a Engenharia de Sistemas e algumas normas da Cooperação Europeia para Normalização Espacial (ECSS), mais especificamente as normas da parte "*Space Project Management Branch*" como Metodologia de referência.

Foi finalizado o Plano de Engenharia de Sistemas para o Projeto NANOSATC-BR2, tendo com isso o objetivo de ter um projeto realizado de forma segura, bem gerenciada, organizada e padronizada. Com a padronização do Plano de Engenharia de Sistemas, futuras missões espaciais poderão aproveitar e utilizar este documento como referência, principalmente missões do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.

Foi feito uma revisão bibliográfica e estudos mais aprofundados na parte de Controle Térmico de satélites, abordando vários aspectos do ambiente espacial, conceitos básicos sobre transferência de calor e controle térmico de satélites, testes térmicos em satélites e o planejamento de como realizar um projeto de controle térmico de satélites.

Técnicas de Engenharia de Produção foram utilizadas para dar continuidade ao gerenciamento e organização da informação e configuração do Projeto NANOSATC-BR2.



Sumário

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	9
INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 1.....	12
PROGRAMA NANOSATC-BR, DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS	12
1.1 - INTRODUÇÃO	12
1.2 – PROJETO NANOSATC-BR1	12
1.3 – PROJETO NANOSATC-BR2	13
CAPÍTULO 2.....	15
CAPÍTULO 3.....	17
ENGENHARIA DE SISTEMAS	17
3.1 – INTRODUÇÃO	17
3.2 – OTIMIZAÇÃO DO PLANO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR2	17
3.3 – POSSÍVEIS MELHORIAS PARA FUTURAS MISSÕES DE NANOSATÉLITES	24
CAPÍTULO 4.....	28
CONTROLE TÉRMICO DE SATÉLITES	28
4.1 – AMBIENTE AEROESPACIAL	28
4.2 – CONCEITOS BÁSICOS SOBRE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	29
4.3 – CONCEITOS SOBRE CONTROLE TÉRMICO DE SATÉLITES	30
4.4 – TESTES TÉRMICOS EM SATÉLITES.....	32
4.5 – COMO REALIZAR UM PROJETO DE CONTROLE TÉRMICO DE SATÉLITES.....	35
CAPÍTULO 5.....	37
PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E HONRAS ACADÊMICAS	37
CAPÍTULO 6.....	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: CHECAGEM FUNCIONAL E OPERACIONAL DO NCBR1	13
FIGURA 2: MODELO DE ENGENHARIA DA PLATAFORMA 2U DO NANOSATC-BR2 EM BANCADA	14
FIGURA 3: PADRÃO ORGANIZACIONAL DA DOCUMENTAÇÃO DO	15
FIGURA 4: CAPA DO PLANO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS DO PROJETO NANOSATC-BR2	18
FIGURA 5: MODELO ‘V’ DE ENGENHARIA DE SISTEMAS APLICADA A UM PROJETO, FIGURA ADAPTADA DE LOUREIRO, 1999.	19
FIGURA 6: WBS DO PROGRAMA NANOSATC-BR, DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS	20
FIGURA 7: FUNCTION TREE DE CARGAS ÚTEIS CIENTÍFICAS DO PROJETO NANOSATC-BR2.....	21
FIGURA 8: FUNCTION TREE DAS CARGAS ÚTEIS TECNOLÓGICAS DO PROJETO NANOSATC-BR2	22
FIGURA 9: ARQUITETURA FÍSICA DA MISSÃO DO PROJETO NANOSATC-BR2	23
FIGURA 10: CICLO PDCA	24
FIGURA 11: PONTOS DE RISCOS E PONTOS CRÍTICOS DO PROJETO NCBR2.....	26
FIGURA 12: CONDUÇÃO DE ENERGIA EM UMA BARRA DE METAL	29
FIGURA 13: CORRENTES DE CONVECÇÃO.....	30
FIGURA 14: RADIAÇÃO TÉRMICA ENTRE UMA FOGUEIRA E AS MÃOS DO CORPO HUMANO.....	30
FIGURA 15: TESTE TERMO VÁCUO DO SATÉLITE NANOSATC-BR1, NO LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO E TESTES – LIT/INPE-MCTIC, EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP.....	34



LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CICLO PDCA APLICADO A MISSÕES DE NANOSSATÉLITES	25
TABELA 2: DESCRIÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE AEROESPACIAL	28

INTRODUÇÃO

O Relatório descreve as atividades realizadas no Projeto “**GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO E DE CONFIGURAÇÃO APLICADOS AO PROJETO NANOSATC-BR2**” (Processo nº 126368/2015-5) com vigência de Agosto de 2015 até Julho de 2016, as atividades foram realizadas pelo bolsista **Tiago Travi Farias**, graduando do curso de Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, bolsista no Programa PIBITI/INPE – CNPq/MCTIC no CRS/INPE-MCTIC.

O Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats tem dois grandes Projetos: NANOSATC-BR1 (NCBR1) e NANOSATC-BR2 (NCBR2). Estes projetos têm por objetivo uma missão espacial baseada na aquisição de um nanossatelite e sistemas de hardware e software, cujo fornecedor é a empresa holandesa ISL/ISIS, com o intuito da capacitação de Recursos Humanos. O Projeto NCBR1 foi um sucesso, enquanto o Projeto NCBR2 aguarda para realizar testes e após ser lançado, com expectativa para metade de 2017.

O Projeto de Pesquisa teve foco total no Projeto NCBR2, onde o objetivo foi dar continuidade nas atividades que vinham sendo realizadas, entre elas: i - Continuar com o gerenciamento da informação e configuração do Projeto NANOSATC-BR2, para um controle de melhora contínua nesse processo; ii - A finalização e otimização do Plano de Engenharia de Sistemas do Projeto NANOSATC-BR2; iii - Estudos mais aprofundados em nanossatélites, padrão CubeSat, com foco na parte de controle térmico de satélites.

O Relatório foi dividido em 6 Capítulos, descritos a seguir:

O Capítulo 1 aborda o Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, explicando seus objetivos de realização, importância e atualização dos dois projetos: NCBR1 e NCBR2;

O Capítulo 2 mostra algumas técnicas de Engenharia de Produção para dar continuidade ao Gerenciamento de Informação e Configuração do Projeto NANOSATC-BR2 de forma a ter um melhoramento contínuo;

O Capítulo 3 abrange a área de Engenharia de Sistemas, focada na parte de planejamento. É mostrado alguns pontos do Plano de Engenharia de Sistemas do Projeto NANOSATC-BR2 e suas técnicas;



O Capítulo 4 mostra a revisão bibliográfica e estudos realizados na grande área de Controle Térmico de Satélites;

O Capítulo 5 relata as principais atividades desenvolvidas e honras acadêmicas;

O Capítulo 6 envolve as considerações finais do bolsista sobre o Projeto realizado e desenvolvido no período.

CAPÍTULO 1

PROGRAMA NANOSATC-BR, DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS

1.1 - Introdução

O Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, surgiu da parceria entre o INPE/MCTIC e a UFSM e é desenvolvido no CRS/INPE-MCTIC. O Programa consiste em desenvolver nanossatélites, padrão CubeSat (100mm de aresta e máximo 1,33kg por unidade – U), com alguns objetivos principais, entre eles:

- A Capacitação de Recursos Humanos, ou seja, capacitar estudantes de graduação com instrumentação espacial, para que possam desenvolver pesquisas e estudos referentes a alguma parte da missão (planejamento, satélite, testes, lançamento e monitoramento);

- Capacitação Tecnológica das Instituições parceiras do Programa, as quais podem ter um desenvolvimento das áreas de ciências, engenharias e tecnologia;

- Monitoramento e estudos na parte da Anomalia Magnética do Atlântico Sul – AMAS e do Eletrojato Ionosférico Equatorial;

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

1.2 – Projeto NANOSATC-BR1

O Projeto NANOSATC-BR1 desenvolveu um nanossatélite do padrão CubeSat – 1U, que se tornou no primeiro Nanossatélite Científico Brasileiro – NCBR1. O NCBR1 foi lançado em junho de 2014 e ainda está em órbita, sendo o primeiro nanossatélite brasileiro lançado com sucesso. Os alunos de graduação participaram da parte de integração e testes, que ocorrem na sede central do INPE, no Laboratório de Integração e Testes – LIT, em São José dos Campos, SP. O Projeto tem duas missões:

- Missão Científica: Coletar dados da AMAS, utilizando o magnetômetro XEN1210.

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

O Projeto foi um sucesso, atendendo as suas missões de forma efetiva.



Figura 1: Checagem funcional e operacional do NCBR1

1.3 – Projeto NANOSATC-BR2

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

O objetivo principal da missão do Projeto NANOSATC-BR2 é a utilização de uma sonda de Langmuir para captação de dados da região da Ionosfera. A missão se deu pela necessidade de pesquisadores do INPE precisam de medidas dos parâmetros da região ionosférica da Atmosfera Terrestre para estudar a dinâmica de fenômenos, tais que afetam diretamente os sistemas de comunicação que utilizam nesta região como meio de propagação. As cargas úteis do NANOSATC-BR2 são:

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

- Tecnológicas: 2 FPGAs, 1 CI e o primeiro Sistema de Controle de Atitude de um satélite com Tripla Redundância desenvolvido no Brasil.



Figura 2: Modelo de Engenharia da plataforma 2U do NANOSATC-BR2 em bancada

CAPÍTULO 2

GERENCIAMENTO DA INFORMAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO PROJETO NANOSATC-BR2

O Projeto NANOSATC-BR2 conta com uma vasta documentação de informações e arquivos, os quais precisavam ser reagrupados e organizados de forma que possam ser encontrados e utilizados quando necessário. Com essa demanda, foram usadas técnicas de Engenharia de Produção para padronização organizacional dessa documentação, que foram organizadas, Figura 3, da seguinte maneira:

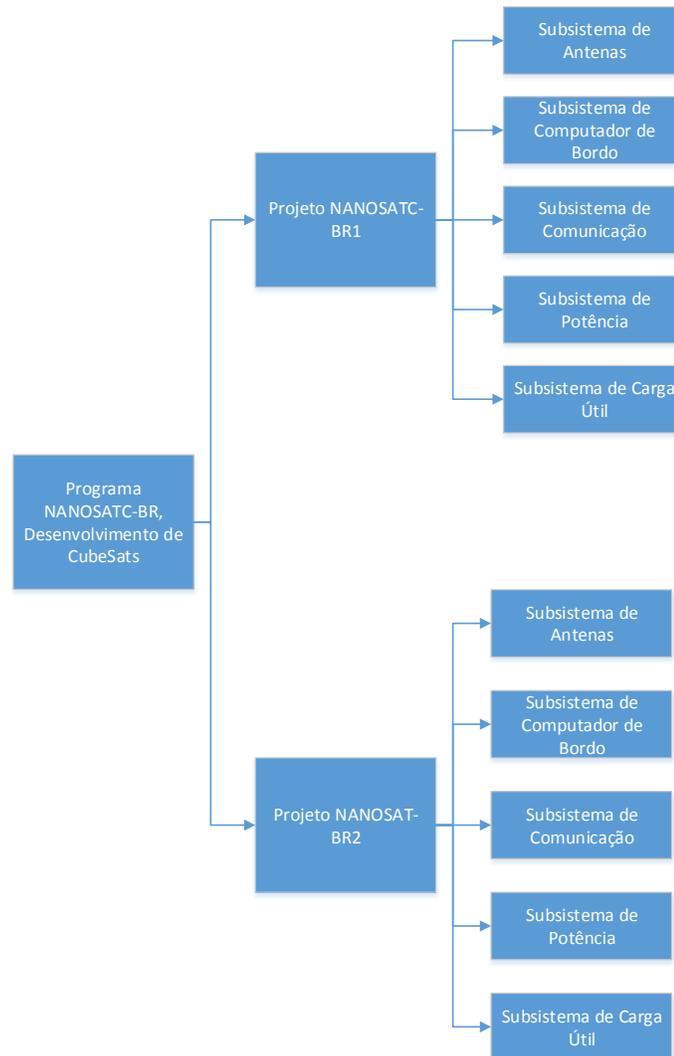


Figura 3: Padrão organizacional da documentação do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats

Os documentos e arquivos foram separados por subsistemas, como mostrado na Figura 3. Foi realizado um padrão para o Programa NANOSATC-BR.

É de suma importância a organização e gerenciamento dessa documentação, pois muitos requisitos e informações são necessários, para otimizar tempo de busca e de utilização, esses arquivos tem de estar de forma de fácil acesso para que se possa achar o que se procura de forma rápida e efetiva.

Os alunos e colaboradores do Programa NANOSATC-BR podem usar o *software* FileZilla, o qual é uma plataforma *online*, onde podem se colocar e compartilhar arquivos pertinentes e encontrar informações que se precisam, já organizadas e agrupadas como foi mostrado na Figura 3, com acesso restrito aos participantes do Programa (contendo nome de usuário e senha).

Dentro de cada pasta dos subsistemas, estão vários documentos referentes aquele assunto, contendo tudo o que já foi feito em relação ao subsistema em questão, ou seja, trabalhos e pesquisas por outros alunos podem ser utilizados, formando uma ‘cultura’, para que todos que passarem pelo Programa deixem alguma contribuição não só para os Projetos NCBR1 e NCBR2, mas também para os alunos que participam e que virão a participar.

CAPÍTULO 3

ENGENHARIA DE SISTEMAS

3.1 – Introdução

O Plano de Engenharia de Sistemas do Projeto NANOSATC-BR2 foi revisado e sugerindo algumas modificações, com o objetivo de otimizar o mesmo. A Engenharia de Sistemas é uma técnica muito importante para projetos complexos, com o objetivo de suprir todas as necessidades das partes envolvidas. As técnicas de Engenharia de Sistemas consistem em utilizar um método de planejamento organizacional para analisar, verificar e realizar todas as etapas do Projeto NANOSATC-BR2.

Com o trabalho desenvolvido na parte de Engenharia de Sistemas aplicada ao Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, foi feito um trabalho para a Jornada Acadêmica Integrada – JAI/UFSM, o qual foi selecionado dentre mais de 3000 trabalhos entre os 40 melhores, ganhando assim, o direito de representar o INPE/MCTIC e a UFSM na Jornada Nacional de Iniciação Científica - JNIC, que acontece na 68ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso (SBPC), sediada na Universidade Federal do Sul da Bahia, em Porto Seguro – BA, no período de 03 a 09 de julho de 2016. O trabalho também foi selecionado para ser publicado na Revista Brasileira de Iniciação Científica – RBIC.

3.2 – Otimização do Plano de Engenharia de Sistemas do Projeto NANOSATC-BR2

Foram feitas alterações e adições pertinentes no Plano de Engenharia de Sistemas, visto que alguns fatos mudam no decorrer do tempo sobre o planejamento do Projeto, no momento as informações estão atualizadas. No Plano de Engenharia de Sistemas, Figura 4, é apresentado:

- Objetivos e restrições do Projeto NANOSATC-BR2;
- Estratégias de desenvolvimento;
- Fases do Projeto, revisões e planejamento;
- Estratégias de aquisição;
- Organização e responsabilidades do grupo de Engenharia de Sistemas;
- Implementação e planos relacionados;

- Método, modelos e ferramentas de Engenharia de Sistemas;
- Visão geral do sistema;
- Segmento de solo da missão do NANOSATC-BR2;
- Atividades e cronogramas;
- Práticas de Engenharia de Sistemas.

		PÁGINA / PAGE	VERSÃO / ISSUE		
		i	1		
TÍTULO / TITLE					
NANOSATÉLITE NANOSATC-BR2: PLANO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS					
CÓDIGO / CODE AP					
ESTE DOCUMENTO É DE PROPRIEDADE DO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE NÃO PODENDO SER REPRODUZIDO, NO TODO OU EM PARTE, NEM TAM-POUCO TRANSMITIDAS SUAS INFORMAÇÕES A TERCEIROS SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.		THIS DOCUMENT IS PROPERTY OF INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, AND CAN NOT BE REPRODUCED OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT AUTHORIZATION.			
PREPARADO POR / PREPARED BY		APROVADO POR / APPROVED BY			
ASS./SIGN NOME/NAME	Lucas Lourencena Caldas Franke Pesquisa e Desenvolvimento	DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME	Dr. Nelson Jorge Schuch Gerente do Programa	DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	Maurício Ricardo Balestrin Pesquisa e Desenvolvimento	DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME	Dr. Otávio S. C. Durão Gerente de Engenharias do Programa	DATA/DATE
ASS./SIGN NOME/NAME	Tiago Tavares Farias Pesquisa e Desenvolvimento	DATA/DATE	ASS./SIGN NOME/NAME	Lucas Lopes Costa Engenheiro do INPE/MCTI	DATA/DATE

Figura 4: Capa do Plano de Engenharia de Sistemas do Projeto NANOSATC-BR2

Foi utilizado o modelo em ‘V’ de Engenharia de Sistemas como modelo referencial, Figura 5. Este modelo em ‘V’ mostra todas as partes de um Projeto em cada lado do ‘V’: No lado esquerdo temos a parte de planejamento, necessidades, requisitos e desenvolvimento de componentes, ou seja, é a parte de definição do que vai ser feito e como vai ser feito; Já no lado direito temos a parte de integração, verificação e validação dos componentes e de tudo que foi desenvolvido.

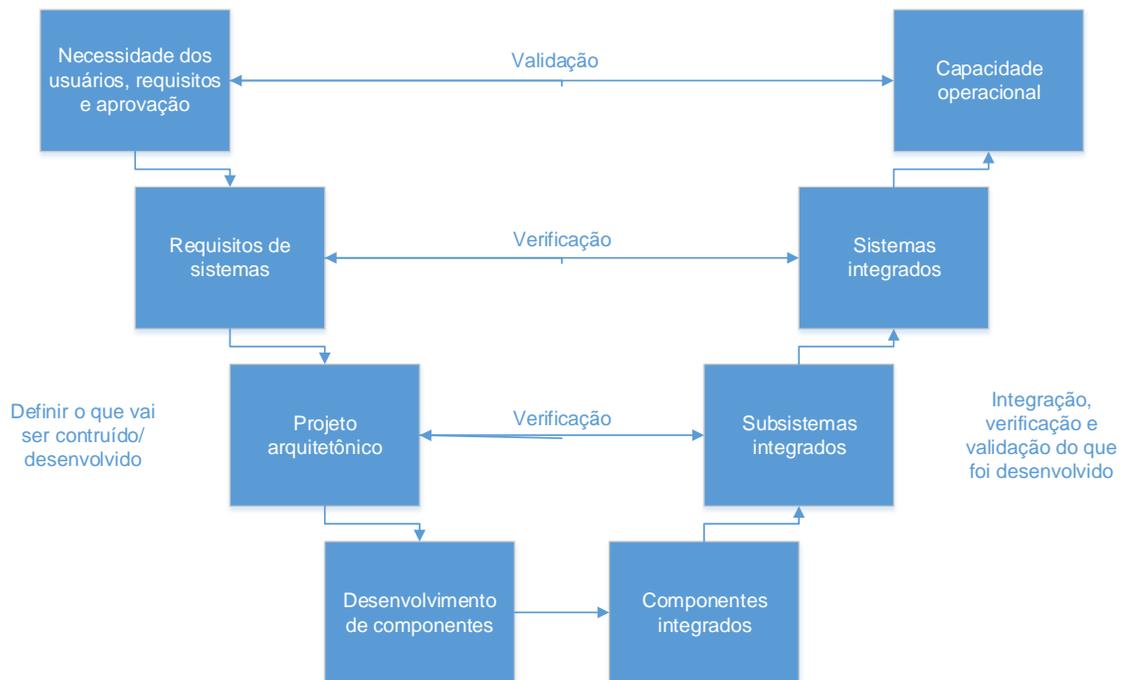


Figura 5: Modelo ‘V’ de Engenharia de Sistemas aplicada a um Projeto, figura adaptada de LOUREIRO, 1999.

Fonte: LOUREIRO, G. *A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products*. Thesis (Doctor thesis in Manufacturing Engineering) - Loughborough University, England, 1999, pag. 56

Para manter um controle do trabalho da missão, foi utilizada a técnica do *Work Breakdown Structure* – WBS, Figura 6, aplicado ao Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimentos de CubeSats, servindo para os dois Projetos NCBR1 e NCBR2. Amplamente utilizado por sua capacidade de estruturar detalhadamente e mostrar a importância das interações entre as partes envolvidas em todo o projeto. Apresenta todo projeto de estrutura de trabalho desde a parte de planejamento até sua homologação.

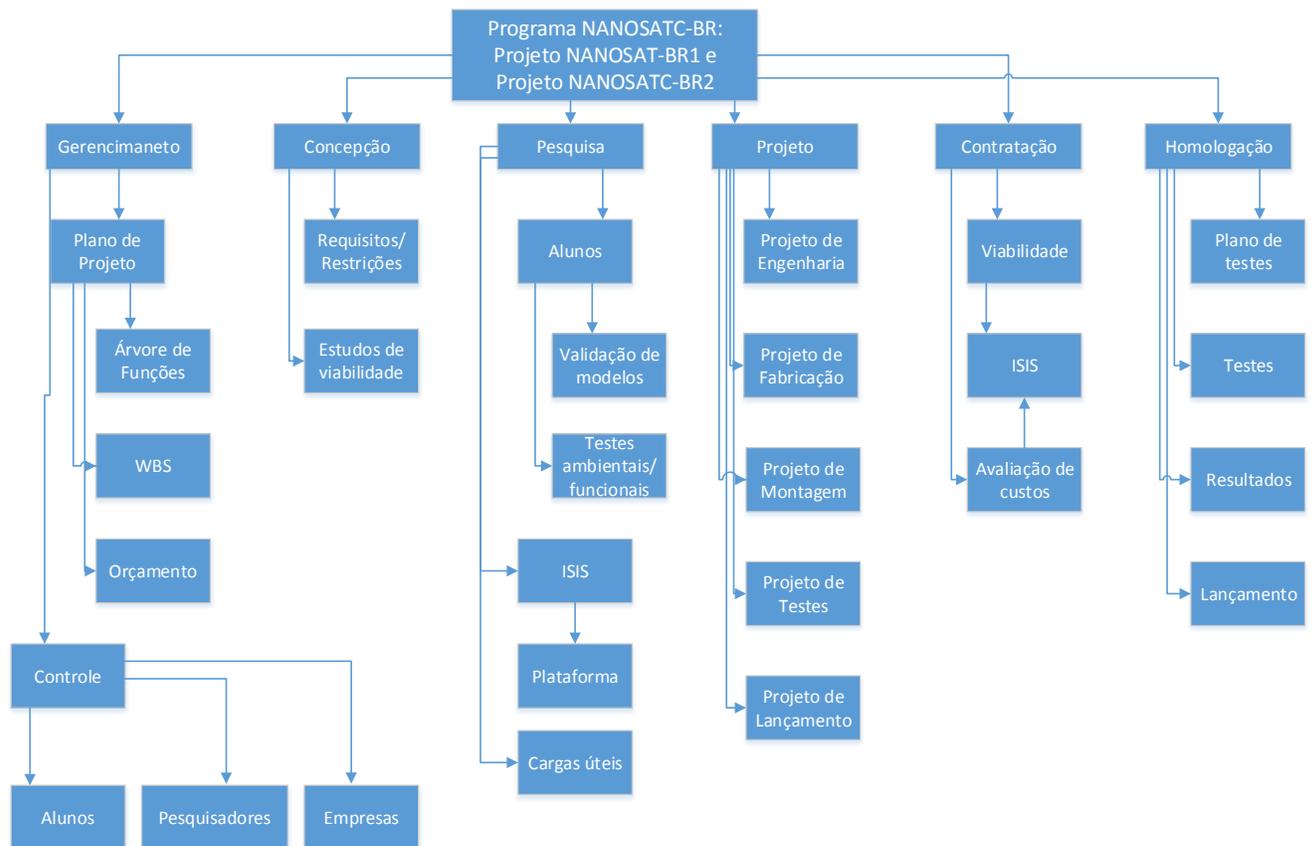


Figura 6: WBS do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats

Com o objetivo de aperfeiçoar e atualizar as informações pertinentes do Projeto NANOSATC-BR2, foi refeita a *Function Tree* do mesmo. O objetivo dessa técnica é a especificação dos requisitos da missão do satélite NCBR2, mostrando suas cargas úteis em funções e estratificando em outras sub-funções para que possa ser reduzidas de sistemas complexos até os mais básicos, dessa maneira quando houver alguma falha, ela poderá ser localizada rapidamente e conseqüentemente corrigida. Foram feitas duas *Function Trees*, uma para as Cargas Úteis Científicas, Figura 7 e outra para as Cargas Úteis Tecnológicas, Figura 8.

Na *function tree* de Cargas Úteis Científicas, Figura 7, é demonstrado o motivo científico da missão do Projeto NCBR2. As Cargas Úteis Científicas são compostas por:

- Sonda de Langmuir, a qual tem o objetivo de medir a densidade iônica da Ionosfera Equatorial;

- Dois magnetômetros XEN 1210, um externo e outro interno, os quais tem o objetivo de medir a intensidade do Campo Magnético Terrestre, principalmente na região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).

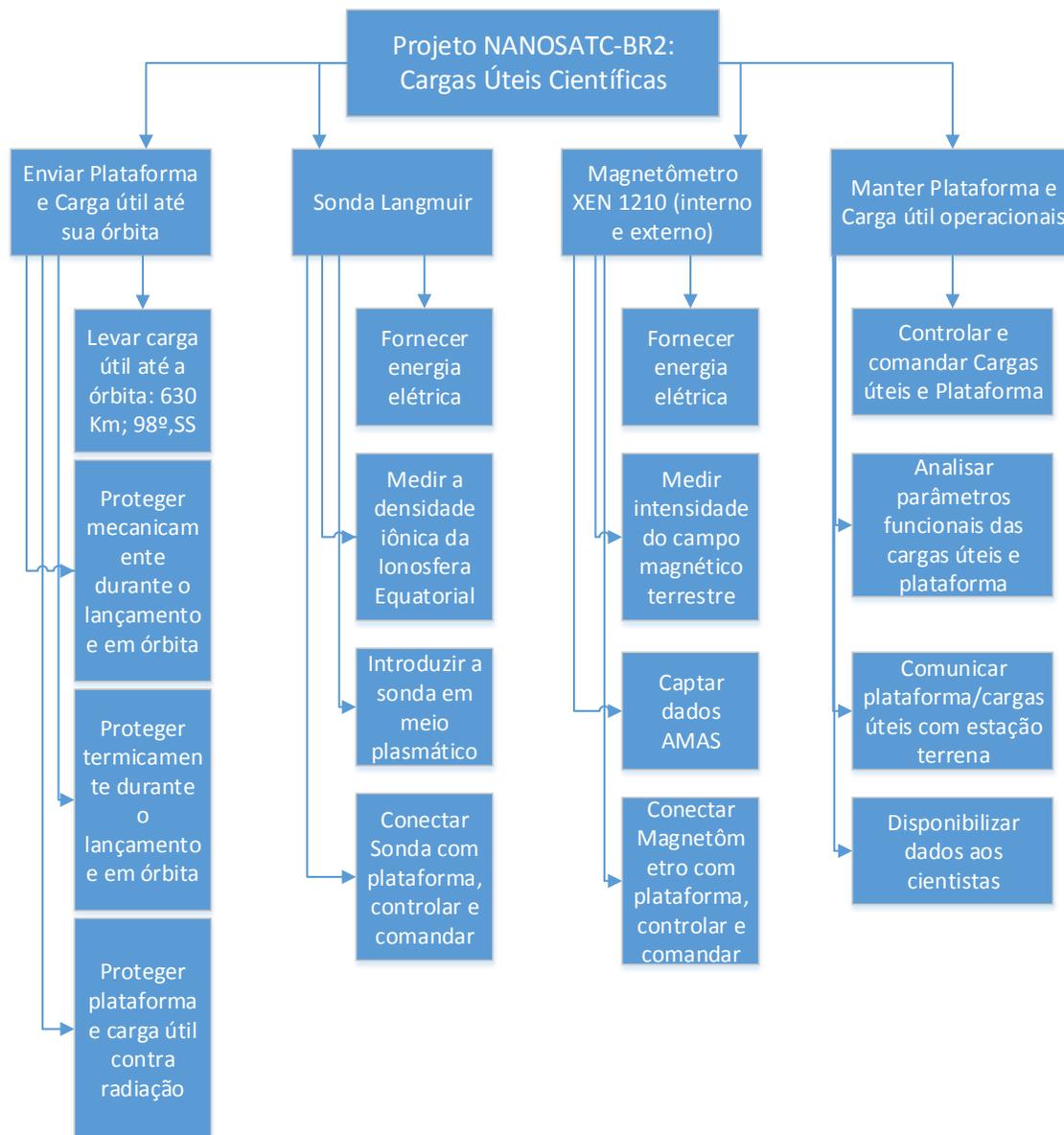


Figura 7: Function Tree de Cargas Úteis Científicas do Projeto NANOSATC-BR2

Pela *Function Tree* do Projeto NCBR2, temos o objetivo tecnológico da missão do Projeto NCBR2, onde as Cargas Úteis Tecnológicas são mostradas na Figura 8 que são:

-1º FPGA: Tem a função de validar a placa e comandar todos os periféricos do subsistemas de Carga Útil;

- CI: Tem o objetivo de validar uma biblioteca de células resistentes/tolerantes à radiação;

- 2º FPGA: Tem o objetivo de validar técnicas para minimizar efeitos de radiação em circuitos eletro-eletrônicos;

- O primeiro Sistema de Controle de Atitude de um satélite com Tripla Redundância desenvolvido no Brasil: Tem o objetivo de regular o spin em órbita para controlar movimentos do satélite.

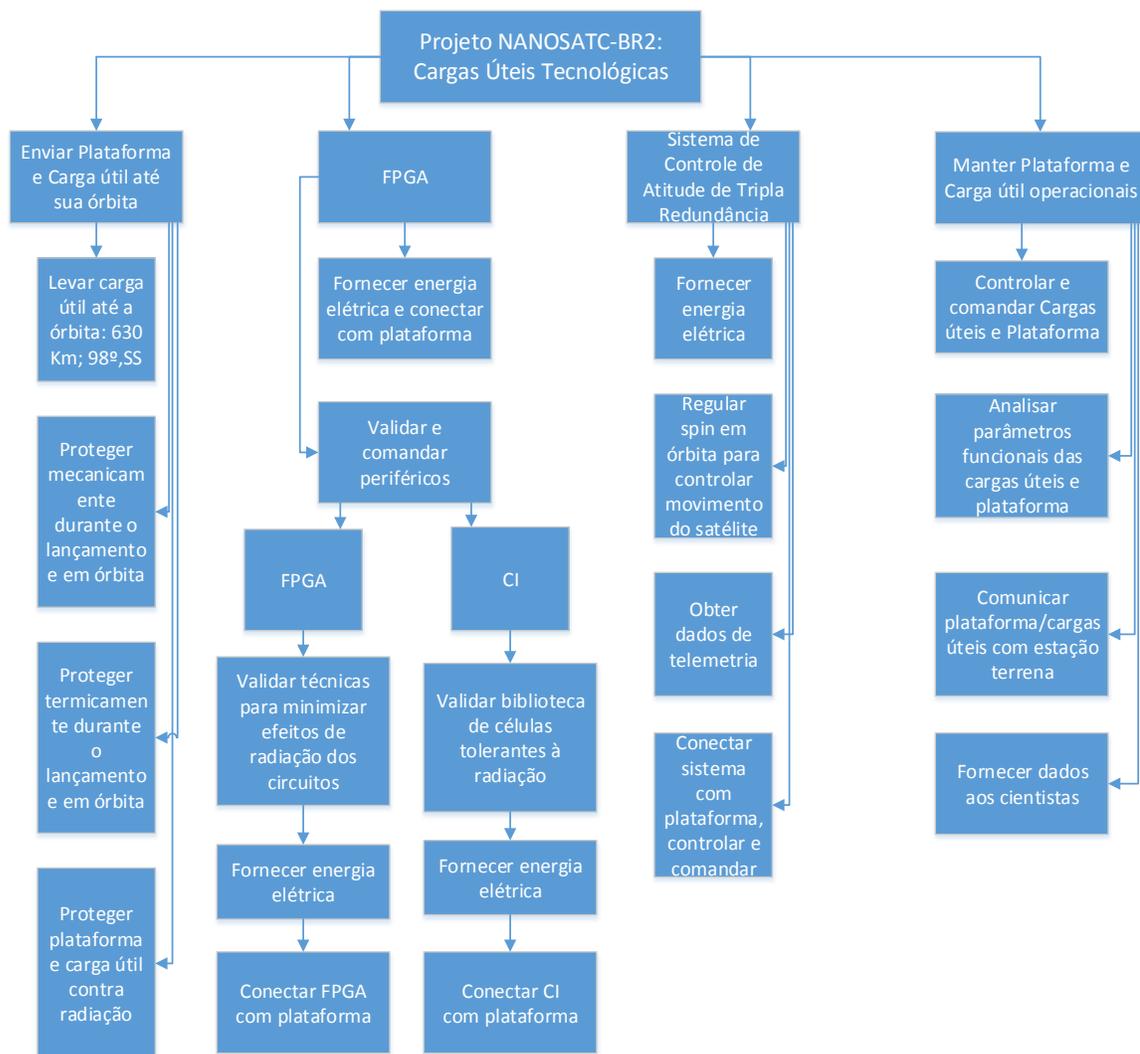


Figura 8: Function Tree das Cargas Úteis Tecnológicas do Projeto NANOSATC-BR2

A Arquitetura Física da missão do Projeto NCBR2 foi mantido, Figura 9 , o qual tem objetivo de mapear o projeto, mostrando todos os segmentos em que necessita de suporte e planejamento para o projeto, no caso do NCBR2 são: Segmento Lançador, Segmento Espacial, Segmento Usuário e Segmento Solo.

Basicamente, os sistemas a serem desenvolvidos e utilizados devem atender os seguintes requisitos:

- Fornecer suporte para manter o satélite CubeSat funcional por 360 dias em órbita;
- Disponibilizar dados de propriedades da Ionosfera;
- Disponibilizar dados das cargas úteis tecnológicas que visam a sua validação.

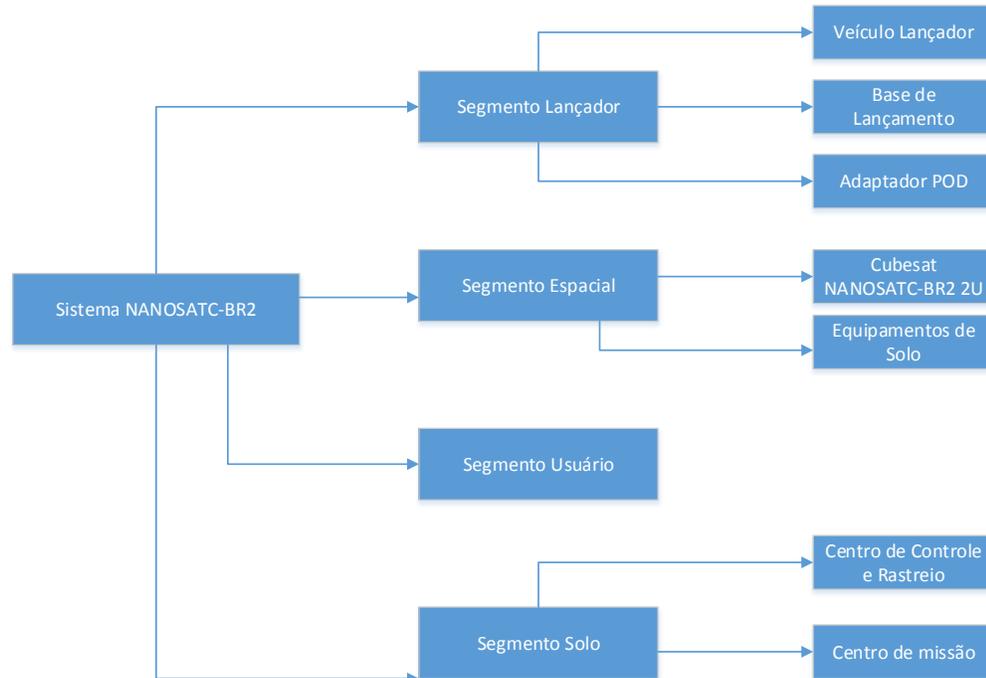


Figura 9: Arquitetura Física da Missão do Projeto NANOSATC-BR2

A partir da Arquitetura Física pode-se começar a mapear o Projeto NANOSATC-BR2. O Segmento lançador será contratado externamente, ou seja, não é de responsabilidade de desenvolvimento do Projeto; O segmento espacial será o satélite NCBR2, cujas plataformas Modelo de Voo e Modelo de Engenharia foram adquiridas da empresa ISL/ISIS, operando de forma segura e efetiva em órbita; O segmento Usuário é representado pela Equipe, colaboradores envolvidos no Projeto NCBR2; Para finalizar, o segmento Solo, Centro de Controle e Rastreamento, será utilizado o mesmo sistema previamente

utilizado pelo NANOSATC-BR1, por tanto, deverá ser considerado o desenvolvimento de softwares e adaptações nestes elementos para atendimento da missão NANOSATC-BR2.

3.3 – Possíveis Melhorias para Futuras Missões de Nanossatélites

Em conjunto com mais dois colaboradores do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, foi elaborado um trabalho com o objetivo de, através da Engenharia de Sistemas, aprimorar a missão de nanosatélites com base na análise de riscos e outras ferramentas. Para o trabalho proposto, foi utilizado o *software Risk Analysis* desenvolvido pela Dr. Katharine Gamble (da *Society of Women Engineers*). Esse software utiliza missões já realizadas de nanosatélites como base para prever, através da análise de recorrência, os riscos associados a uma nova missão.

Como Metodologia foi utilizado o Modelo em "V" de Engenharia de Sistemas, Figura 5, explicado anteriormente e um Ciclo PDCA, Figura 10, ferramenta muito utilizada na Engenharia de Produção, o qual tem o objetivo de melhoria contínua da missão por cada vez que o ciclo PDCA é acabado e começado.

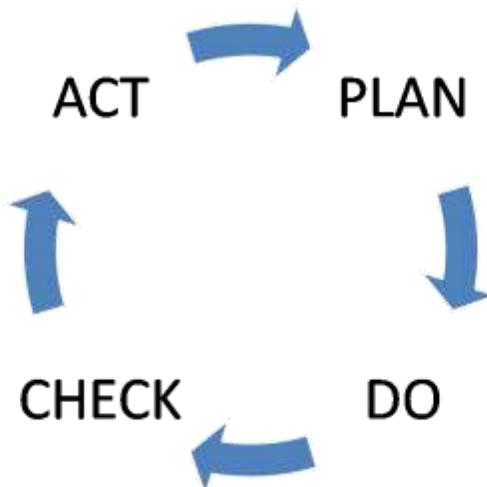


Figura 10: Ciclo PDCA

As etapas do ciclo PDCA estão apresentadas pela Tabela 1.

Tabela 1: Ciclo PDCA aplicado a missões de nanossatélites

<i>Plan</i>	Objetivo é reduzir os riscos da missão (especialmente os pontos críticos)
<i>Do</i>	Coletar dados da missão e aplicar no software
<i>Check</i>	Analisar os antigos dados da Missão para entender e comparar o avanço dos riscos.
<i>Act</i>	Sugestões de possíveis melhorias para reduzir os riscos e melhorar a missão.

Foram coletadas as informações necessárias e aplicadas junto ao *software Risk Analysis* para construir o gráfico de riscos e pontos críticos, que é mostrado como foi realizado para o Projeto NCBR2, Figura 11. Os riscos foram divididos em 7 grandes sub-grupos, sendo eles:

- SCH - *Schedule*, representa o atraso no cronograma da missão;
- PAY – *Payload*, representa a falha para obter dados científicos do satélite;
- SC-1 – *Spacecraft-1*, representa a incapacidade de comunicar com o satélite;
- SC-2 – *Spacecraft-2*, representa a incapacidade de receber dados do satélite;
- SC-3 – *Spacecraft-3*, representa a incapacidade de encontrar os requisitos necessários;
- PER – *Personnel*, representa a perda de conhecimento e recursos humanos;
- COST – *Cost*, representa o custo para a conclusão da missão;

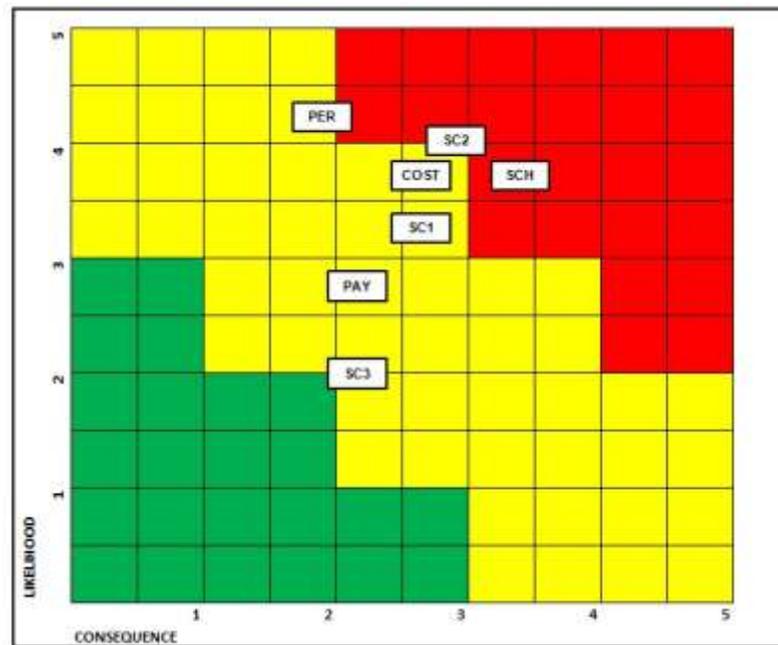


Figura 11: Pontos de riscos e pontos críticos do Projeto NCBR2

O gráfico da Figura 11 é constituído de três partes principais com as seguintes regiões: inferior esquerdo (riscos com baixa interferência para a missão), central (riscos médios que podem interferir significativamente na missão) e superior direito (pontos críticos para a missão).

Podemos interpretar pela Figura 11 que os riscos para a situação atual do Projeto NANOSATC-BR2 que apresentam classificação de pontos críticos são: PER, SC-2, SCH, COST. Através da análise do gráfico plotado e da definição dos pontos críticos, realizou-se propostas para minimização de riscos da missão do Projeto NANOSATC-BR2:

- SCH – Como o projeto depende de verba governamental, já sofreu diversos atrasos. Infelizmente não existe grandes medidas a serem tomadas para reduzir o risco já que depende de diversos fatores externos.

- PER – Considerando-se que o Programa NANOSATC-BR é de nível universitário e os integrantes estão em constante troca, a perda de conhecimento e recursos é considerável. Para reduzir esse risco utilizamos o servidor interno (*Filezilla*) com os dados adquiridos desde o início do Programa. O servidor estava desatualizado e para que voltasse a ser útil, os dados nele presentes foram analisados e separados por pastas, como explicado no Capítulo 3, para que todos tenham acesso e possam deixar uma contribuição ao Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.

- SC-2 – Neste ponto, podemos fazer uma comparação com o NANOSATC-BR1: Primeiramente para o problema da bateria que o NANOSATC-BR1 enfrentou, o NANOSATC-BR2 possui um sistema *switch-on, switch-off* para ligar e desligar a alimentação nas baterias, podendo assim a alimentação ser direta dos painéis solares para os subsistemas; Também podemos destacar os problemas de colheita de dados científicos, o qual o NANOSATC-BR2 possui sistemas de redundância, o que acaba reduzindo riscos de apresentar inconsistência nos dados coletados; O último ponto a se destacar é o problema de produção de energia nos painéis solares, o qual o NANOSATC-BR2 possui um número bom de células solares para alimentá-lo (16), o que reduz o risco de missão.

CAPÍTULO 4

CONTROLE TÉRMICO DE SATÉLITES

4.1 – Ambiente Aeroespacial

O ambiente aeroespacial tem muitas características e pode ser muito perigoso. Na Terra temos oxigênio, pressão atmosférica, campo magnético, dentre outras características, porém para viajar ao espaço precisamos ter equipamentos especiais. A Tabela 2 apresenta algumas particularidades do ambiente Espacial:

Tabela 2: Descrições das características do Ambiente Aeroespacial

Características	Descrição
Vácuo	Ambiente de pressão desprezível, devido à baixa concentração molecular. Em energia quântica define-se como estado de energia mínima.
Baixa Pressão	O espaço possui uma quantidade de moléculas a qual é desprezível e densidade muito baixa (ao contrário da terra que exerce pressão para todos os lados). No espaço, a pressão é praticamente nula.
Variação de Temperatura	Existem variações de temperatura muito grandes no universo, por exemplo, a uma distância terra-sol, o lado dos objetos iluminados pelo sol atingem 120°C enquanto a sombra pode atingir até -100°C.
Micro gravidade	No espaço ocorre a ausência de peso aparente, ou seja, parece que as pessoas não tem peso algum. Diferente da Terra, a qual atrai o peso das pessoas para o centro da Terra.
Efeitos Clima Espacial	Efeitos que as emissões de plasma do Sol com o campo magnético da Terra podem afetar satélites artificiais e outros aparelhos em órbita.
Meteoroides	Pequenos pedaços de rocha e metal arrancados de choques da formação do Sistema Solar.
Lixo Espacial	Peças soltas, pinturas, colisões, artefatos desconhecidos...

Outras Formas de Radiação	Raios cósmicos por exemplo.
----------------------------------	-----------------------------

Fonte: Adaptada de Ambiente Espacial, Reis, N.T.O. Disponível em: www.educacaoespacial.wordpress.com/recursos-2/materiais-de-estudo/conteudos/astronautica/traje-de-astronauta/

4.2 – Conceitos Básicos sobre Transferência de Calor

Transferência de calor é a transição de energia térmica de um corpo para outro. Ocorre quando dois ou mais corpos, de temperaturas diferentes, são colocados em contato ou em aproximação, acontecendo uma troca de calor entre eles. O corpo que tem maior energia térmica passa para o que tem menor energia térmica. Existem três modos de ocorrer essa propagação de calor, são elas: Condução; Convecção e Radiação.

Na condução, Figura 12, o calor se propaga de partícula em partícula, de uma região de alta temperatura para outra de baixa temperatura, em um meio (líquido, sólido ou gasoso) ou entre meios diferentes de contato direto. Por exemplo: Uma pessoa segurando uma barra de metal em uma extremidade e a outra extremidade exposta ao fogo, as partículas passam a vibrar com maior intensidade, transmitindo essa energia adicional as partículas mais próximas, que também começam a vibrar mais intensamente e assim sucessivamente até alcançar a outra extremidade e toda barra seja aquecida.



Figura 12: Condução de energia em uma barra de metal

Fonte: www.triplex.com.pt/sala-de-estudo/a7%C2%BAano/a31/

O método de propagação por convecção, Figura 13, é o processo de transferência de calor em que a energia se propaga através do transporte de matéria, devido a uma diferença de densidade e ação da gravidade. Ocorre movimentação de partículas, levando consigo a energia de uma posição para outra, por esse motivo ela não pode ocorrer no vácuo (espaço).

Apenas ocorre convecção em fluidos (líquidos e gases) e suas características (velocidade, viscosidade e turbulência) são muito importantes e afetam significativamente a

transmissão de calor na convecção.

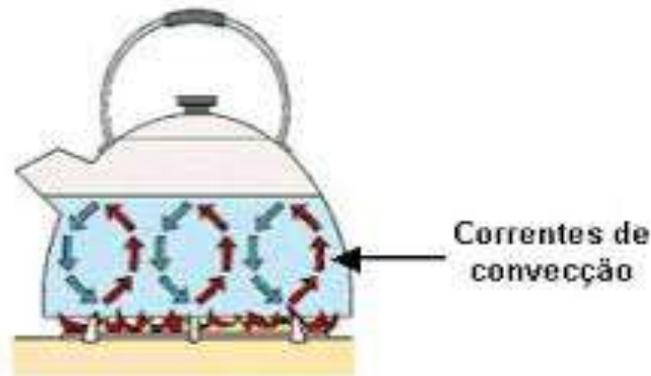


Figura 13: Correntes de Convecção
Fonte: www.calorporconveccao.tumblr.com

Correntes de convecção são exemplificadas na Figura 13, ou seja, o fogo esquentava a panela e assim consequentemente vai esquentando a água, e na parte mais baixa as partículas vão se agitando, expandindo e sua densidade fica mais baixa, começam a trocar com a parte superior (a qual ainda é mais densa), formando correntes de convecção e com o decorrer do tempo esquentava todo o volume de água.

O fenômeno de Radiação é muito diferente da condução e convecção. A radiação térmica é o fluxo de radiação eletromagnética emitida por um corpo devido a sua temperatura absoluta finita e é regida pela vibração molecular do material. Como exemplo ver Figura 14, a qual é um exemplo de radiação térmica entre uma fogueira e as mãos do corpo humano.

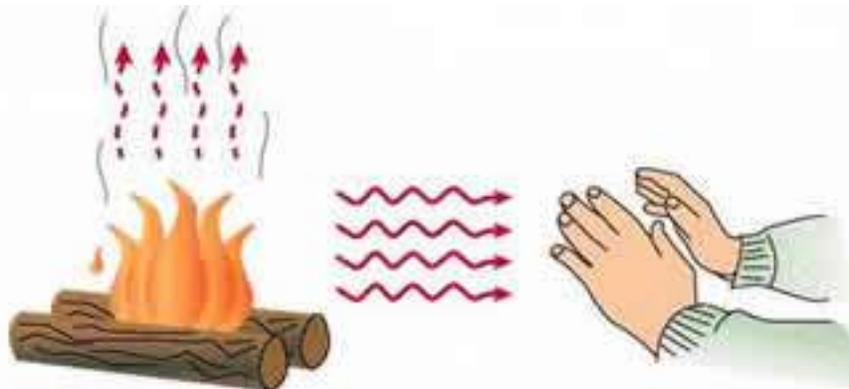


Figura 14: Radiação térmica entre uma fogueira e as mãos do corpo humano
Fonte: http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Calor7.php

4.3 – Conceitos sobre Controle Térmico de Satélites

A parte de controle térmico de satélites, tem como principal objetivo manter todos

os subsistemas funcionais, evitando que com as extremas temperaturas sofridas pelo satélite em órbita, ocorra alguma pane ou falha dos componentes. Como estamos falando em nanossatélites, padrão Cubesat, eles possuem 100mm x 100mm x 100mm de arestas, máximo de 1,33 kg, e geralmente possuem os subsistemas: Subsistema de Potência; Subsistema de Comunicação; Subsistemas de Atitude; Subsistemas de Computador de Bordo; e Subsistema de Carga Útil, geralmente integrados em um único módulo, pelo seu limitado volume. O controle térmico mantém os subsistemas operacionais dentro dos requisitos de temperatura, transientes (variação de temperatura com o tempo) e gradientes (variação de temperatura com o comprimento). Um satélite em órbita pode ser afetado termicamente por fatores externos (provindos do ambiente espacial) e internos (provindo da dissipação térmica dos equipamentos).

Apresenta-se a seguir dois jeitos de utilizar o controle térmico em satélites: Controle térmico ativo e passivo. Textos adaptados de [12] Franke, L.L.C (2012):

Controle térmico passivo: Neste primeiro método, são usados dispositivos que não necessitam de energia elétrica para funcionarem, geralmente são utilizados para projetos mais simples e pelo seu baixo custo, ou seja, pelo custo-benefício. Segue alguns dispositivos de controle térmico passivo:

→Tubos de Calor (*Heat Pipe*): O tubo de calor funciona por capilaridade e seu princípio de funcionamento é a troca de calor por convecção. Através de um fluido interno, transporta o calor de uma região a outra. Como a capilaridade é uma força relativamente fraca, utilizada em campo gravitacional, fica vulnerável a degradação de desempenho;

→Radiadores: Esses dispositivos podem aparecer em formas diversas (painéis estruturais, chapas irradiadoras...) e todo o tipo de radiador rejeita/elimina o calor através da radiação infravermelha. A capacidade de irradiação é proporcional à emitância da superfície, a área e a temperatura do radiador;

→Superfícies seletoras: As superfícies em geral são divididas entre refletores solares e absorvedores solares. Os absorvedores são caracterizados por uma alta taxa de fração absorvidade/emissividade (α/ϵ), usa-se tintas pretas, por exemplo, pois aumentam o nível de absorção de radiação. Já os refletores tem uma taxa muito baixa de fração absorvidade/emissividade (α/ϵ), utilizam-se materiais dourados, metais polidos e entre outros para minimizar a absorção da energia solar;

→Montagens de interface: A montagem dos equipamentos eletrônicos, é feita de

forma a minimizar ou maximizar a transferência de calor entre os equipamentos e seu suporte, de forma a dissipar melhor o calor através dos suportes do satélite considerando o caminho térmico pela estrutura até chegar ao radiador, aonde é rejeitado/eliminado para o espaço. Destaca-se a área de contato entre as interfaces, pois elas não são totalmente lisas, assim, a área de contato real é menor do que a vista macroscopicamente, reduzindo a passagem de calor de uma superfície para outra através da condução térmica. As cavidades entre as superfícies no espaço são preenchidas pelo vácuo (diferentemente na Terra, que é preenchida pelo ar), dessa forma, o vácuo representa uma forma de resistência térmica, a transferência de calor é feita por condução em alguns pontos de contato e por radiação, o que ocasiona na redução de passagem de calor entre as superfícies. Se fosse na Terra, com a presença de ar, preencheria esses “furos” entre as superfícies e a troca de calor seria feita por condução e convecção;

→MLI (*Multilayer insulation*) – Isolamento multicamada: Muito utilizado nos satélites, ele tem o objetivo de prevenir o excessivo fluxo de calor externo para dentro do satélite e vice-versa. O MLI consiste em sobrepor diversas camadas finas de material com baixa emissividade, geralmente mylar aluminizado, intercalados com uma teia de seda ou teflon. A propagação de calor nesse dispositivo isolamento multicamada ocorre sobre condições atmosféricas, convecção, devido ao ar entre as camadas do material e pela combinação de condução e radiação através dos sólidos. Com essas teias entre as superfícies, a condução é minimizada e a radiação é minimizada devido à baixa emissividade das camadas reflexivas.

Controle Térmico ativo: Neste segundo método, são dispositivos que necessitam de energia elétrica, geralmente mais cara e eficaz que os de controle térmico passivo. São utilizados quando o controle passivo não consegue manter as temperaturas do satélite dentro dos requisitos exigidos. São exemplos de dispositivos para o controle térmico ativo: Aquecedores elétricos (*heaters*), sistemas criogênicos, tubos de calor circuitados, resfriadores termoelétricos e entre outros.

4.4 – Testes Térmicos em Satélites

Para projetos caros e demorados como a de homologação de um satélite, não é permitido incertezas ou baixa confiabilidade operacional. São feitos vários teste ambientais para verificação dos componentes de um satélite, expondo o objeto a condições

semelhantes ou até piores do que ele vai enfrentar durante sua vida útil. É preciso simular todas as etapas desde o lançamento até o final de sua vida útil no espaço, e por isso são utilizados os testes ambientais, pois são capazes de reproduzir e simular de forma muito parecida com o real. São exemplos de testes ambientais: Vibração senoidal; Vibração randômica; Acústico; Choque mecânico. Focando nos testes térmicos, são feitos para validação e qualificação de satélites, com o objetivo da verificação completa do funcionamento dos componentes e equipamentos em temperaturas extremas (tanto positivas, quanto negativas) para que o satélite esteja apto para voo e para permanecer operacional durante sua órbita.

Alguns dos testes térmicos são: Ciclagem Térmica, *Burn-In*, Termo Vácuo e Balanço Térmico. Destaca-se os principais, com textos adaptados de [14] Jaenisch, G. P. (2013):

→ Choque Térmico: O teste de Choque Térmico é aplicado para equipamentos e peças diretamente expostos, como: Antenas; células solares; revestimentos térmicos e entre outros. Neste teste, são realizados ensaios com o objetivo de demonstrar a capacidade resistência dos materiais, sem que haja dano físico ou deterioração no desempenho perante as variações repentinas da temperatura no espaço. O teste de choque térmico é mais barato em relação a outros testes térmicos, sendo assim, pode ser utilizado antes, analisando os resultados encontrados para posteriormente tomar a decisão (aprovado ou reprovado no teste) e poder evitar a aplicação prematura de testes mais caros, como o de termo vácuo.

→ Termo Vácuo: O objetivo do teste de termo vácuo, Figura 15, é expor o satélite a um ambiente com condições de vácuo e faixas de temperaturas extremas (incluindo uma margem de segurança).



Figura 15: Teste termo vácuo do satélite NANOSATC-BR1, no Laboratório de Integração e Testes – LIT/INPE-MCTIC, em São José dos Campos, SP.

A máquina de termo vácuo funciona em etapas:

- i- A máquina simula o vácuo para simular o ambiente espacial;
- ii- A temperatura dos tubos é modificada para simular os ciclos térmicos causados pela incidência e ausência de luz solar quando o satélite entra e sai da eclipse em órbita e em faces opostas quando exposto ao sol;
- iii- A câmara é resfriada através da pulverização e transformação de nitrogênio líquido em gás;
- iv- São montadas resistências no interior da câmara com o objetivo de aquecer e por radiação aquecer o modelo testado.

Para a realização do teste, é realizada a parametrização e *set-up* do teste de Termo Vácuo, estabelecendo-se os limites de temperaturas e desta maneira acompanha-se os testes pelos status fornecidos pelos termopares instalados no satélite em questão.

4.5 – Como Realizar um Projeto de Controle Térmico de Satélites

Para começar um projeto de controle térmico de satélite, deve ser levado em conta:

- Estudar e analisar informações sobre mecanismos de transferência de calor presentes no satélite, no caso do ambiente aeroespacial (vácuo), condução e radiação. Convecção não, pois não há um número significativo de moléculas no espaço, assim, não ocorrendo as correntes de convecção e não ocorrendo a troca de calor;
- Analisar os requisitos térmicos a serem satisfeitos, observando os casos extremo/críticos de temperaturas a serem avaliados (máximas e mínimas cargas térmicas);
- Os intervalos de temperaturas operacionais e não operacionais;
- A variação de dissipação térmica dos componentes do satélite ao longo da órbita e se o equipamento apresenta uma alta densidade de dissipação de calor;
- Estipular qual método de controle a ser utilizado (Ativo ou Passivo) e quais os dispositivos mais eficazes na presente situação;
- Realizar uma análise e estipular o *layout* dos componentes e equipamentos internos do satélite;
- No caso da utilização de algum controle térmico ativo, respeitar os limites de massa e potência do satélite;
- Necessidade de algum tipo de isolamento térmico;
- Necessidade de o equipamento trabalhar na temperatura criogênica (temperaturas relativamente baixas, -150°C como exemplo)
- Realizar um modelo matemático para aproximar ao máximo o satélite a uma situação real, reproduzindo o comportamento térmico do mesmo nas várias condições orbitais (testes térmicos);
- Realizar um modelo térmico, realizado por um software especializado, tal como o Sinda Fluint/Thermal Desktop®. Após é feito testes de qualificação, como o Teste de Balanço Térmico (TBT), com o objetivo de qualificar o modelo térmico realizado, para a aplicação ao modelo de voo;
- Fazer uma análise dos dados coletados através das simulações e então fazer uma



conclusão sobre todo o trabalho desenvolvido.

CAPÍTULO 5

PRINCIPAIS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E HONRAS ACADÊMICAS

Foram realizadas várias tarefas ao longo do período entre Agosto de 2015 e Julho de 2016, entre elas:

- Otimização do Plano de Engenharia de Sistemas do Projeto NANOSATC-BR2, desenvolvendo um padrão que poderá ser utilizado como modelo de referência para futuras missões do Projeto;
- Continuação do uso de técnicas de Engenharia de Produção para o Gerenciamento da Informação e Configuração do Projeto NANOSATC-BR2;
- Estudos mais aprofundados na área espacial, com foco em Controle Térmico de Satélites;
- Trabalho realizado para a JAI e selecionado para publicação digital na RBIC e para representação de INPE/MCTIC e UFSM na JNIC que ocorrerá na 68^o SBPC em Porto Seguro - BA;
- Trabalho realizado em conjunto com os colaboradores Lorenzo Mantovani Quevedo e Marcos Antônio Laurindo Dal Piaz para a “*2nd IAA Latin American CubeSat Workshop*”. O trabalho desenvolvido tem o título de “*Applicable Solution for Optimizing Critical Point on Nanosatellite Missions – NANOSATC-BR, CubeSats Development Program*” e foi selecionado e apresentado oralmente.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo desenvolvimento e trabalho feito no período de vigência da bolsa, o bolsista continuou a fazer o Gerenciamento da Informação e Configuração do Projeto NANOSATC-BR2 de forma efetiva e também desenvolveu um padrão para o Plano de Engenharia de Sistemas para o Projeto NANOSATC-BR2, podendo ser útil como modelo de referência para futuros projetos do setor espacial. Foram feitos trabalhos e colaborações em paralelos com os membros da Equipe do Programa, tendo assim um acréscimo de conhecimento e de diversidade nas atividades realizadas. As Técnicas de Engenharia de Produção foram úteis ao bolsista no tempo de trabalho desenvolvido e puderam contribuir para gestão organizacional do Projeto. Os estudos e revisões bibliográficas foram realizados no laboratório de Radiofrequência e Comunicações do CRS/INPE-MCTIC.

Vale enfatizar o prêmio de estar entre os 40 melhores trabalhos ganho na participação da 30ª Jornada Acadêmica Integrada da UFSM, com direito de participação da 68ª Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC que ocorrerá na Universidade Federal do Sul da Bahia, em Porto Seguro – BA.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space Project Management – Project Planning and Implementation**. Noordwijk, 2009. (ECSS-M-ST-10C);
- [2] EUROPEAN COOPERATION FOR SPACE STANDARDIZATION. **Space Project Management – Project Breakdown Structure**. Noordwijk, 2003. (ECSS-M-10B);
- [3] LOUREIRO, G. **A systems engineering and concurrent engineering framework for the integrated development of complex products**. Tese de Doutorado (Doctor Thesis in Manufacturing Engineering) - Loughborough University, England, 1999;
- [4] 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;
- [5] WERTZ, J. R.; LARSON, W. J. **Space mission analysis and design**. 3. ed. New York, 2005;
- [6] PISACANE, V. L. **Fundamentals of space systems**. Oxford: University Press, 2005;
- [7] PMBOK, **Um guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos, Terceira Edição**, ANSI/PMI 99 – 001 – 2004, 2004;
- [8] DE SOUSA, F. L., MURAOKA, I. & VLASSOV, V. **Ciclo de Palestras Sobre Controle Térmico de Satélites**. INPE-11246-PUD/138. 2003-04;
- [9] GILMORE, D. G., “**Satellite Thermal Control Handbook**”. 2ª ed. Aerospace Corporation, California, EUA. 1994.
- [10] Costa, L. L. –Trabalho de conclusão de curso - **PROJETO DO SUBSISTEMA DE CONTROLE TÉRMICO PARA CUBESATS**, 2010 – UFSM – Santa Maria/RS.
- [11] Marcos Antonio Laurindo Dal Piaz, Lucas Lourencena Caldas Franke, Maurício Ricardo Balestrini, Iago Camargo Silveira, Guilherme Paul Jaenisch , Tiago Travi Farias, Otávio Santos Cupertino Durão, Nelson Jorge Schuch, **Risk Analysis Comparison between the Mission NANOSATC-BR1 and NANOSATC-BR2**, 2015, Journal of Mechanics Engineering and Automation 5,88-94.
- [12] FRANKE, L.L.C. – Relatório técnico – **Estudo de Técnicas e Dispositivos para o Controle Térmico de Satélites: Uma Aplicação ao NANOSATC-BR**, 2012 – UFSM – Santa Maria.

- [13] JAENISCH, G. P. – Relatório técnico – **Análise do Sistema de Controle Térmico: Uma Aplicação ao Projeto NANOSATC-BR**, 2013 – UFSM – Santa Maria.
- [14] *Inovation Solutions In Space*. Disponível em: www.isispace.nl. Acesso em: 23/09/2015;
- [15] Astronomia, Astronáutica e Ciências Espaciais na Escola. **Ambiente Espacial**. Disponível em: www.educacaoespacial.wordpress.com/recursos-2/materiais-de-estudo/conteudos/astronautica/traje-de-astronauta/. Acesso em: 02/12/2015;
- [16] Triplex. **Condução, Convecção e Radiação**. Disponível em: <http://www.triplex.com.pt/sala-de-estudo/a7%C2%BAano/a31/>. Acesso em: 08/02/2016;
- [17] Propagação de Calor - Convecção. Disponível em: www.calorporconveccao.tumblr.com. Acesso em: 08/02/2016.
- [18] Só Biologia. **Irradiação Térmica**. Disponível em: http://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Calor7.php. Acesso em: 08/02/2016;