

## Aplicação de Técnicas de Engenharia de Sistemas ao Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats

### Systems Engineering Techniques Applied to the NANOSATC-BR, CubeSats Development Program

Tiago Travi Farias, [tiago.travi.farias@gmail.com](mailto:tiago.travi.farias@gmail.com)

Lorenzo Quevedo Mantovani

Marcos Antônio Laurindo Dal Piaç

Dr. Eng. Otavio Santos Cupertino Durão

Dr. Nelson Jorge Schuch

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS,  
parceria com o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCTI

Submetido em 10/05/2016

Revisado em 20/07/2016

Aprovado em 10/08/2016

**Resumo:** O trabalho tem como objetivo estudar as recentes técnicas de Engenharia de Sistemas, iniciadas há algumas décadas pela NASA devido à quantidade e complexidade de trabalhos a serem realizados e a sua aplicação no Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats. É demonstrado o quanto estas técnicas de Engenharia de Sistemas são benéficas para a Gestão de projetos complexos, que no caso do Programa NANOSATC-BR, abrange dois grandes Projetos: Projeto NANOSATC-BR1 - CubeSat 1U e Projeto NANOSATC-BR2 - CubeSat 2U. O Programa possui como primeiro objetivo o desenvolvimento e capacitação de Recursos Humanos, trabalhando com nanossatélites de padrão CubeSat (cada unidade - 1U - possui 100mm de aresta e aproximadamente 1,33 Kg de massa). O Programa tem suporte e apoio da Agência Espacial Brasileira (AEB).

**Palavras chave:** Plano. Engenharia de Sistemas. NANOSATC-BR. CubeSats.

**Abstract:** This work has the main objective the study of the most recent Systems Engineering techniques, which were developed by NASA a few decades ago in order to manage complex projects, and its applicability to the NANOSATC-BR, CubeSats Development Program. It is shown the different benefits of these Project Management techniques when applied to high complexity Programs, such as the NANOSATC-BR Program, which consists in two main projects, NANOSATC-BR1Project - 1U CubeSat and NANOSATC-BR2Project - 2U CubeSat. These projects aims Capacity Building Program, to develop scientific instrumentation and, simultaneously, the design development, construction,

qualification and launch of national scientific nanosatellites in a CubeSats standards (cube shape with 100 mm of edge and near to 1,33kg of mass, per unit - 1U). This Program is sponsored and supported by the Brazilian Space Agency (AEB).

**Keywords:** Plan. Systems Engineering. NANOSATC-BR. CubeSats.

## Introdução

O Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, visa a capacitação de Recursos Humanos através de estudos e desenvolvimento dos Projetos: NANOSATC-BR1 - CubeSat 1U e NANOSATC-BR2 - CubeSat 2U. As Missões tem por objetivo o desenvolvimento e operação de nanossatelites, padrão CubeSat (cada unidade - 1U - possui 100mm de aresta e aproximadamente 1,33 Kg de massa). O NANOSATC-BR1, (NCBR1), foi o primeiro Nanossatelite Científico Brasileiro lançado ao espaço, completando em 19 de Junho de 2016 dois (02) anos operacional em órbita Terrestre. Já o NANOSATC-BR2, (NCBR2), ainda não lançado, possui o dobro de volume do NCBR1, sendo o segundo nanossatelite científico deste Programa Brasileiro. Seu lançamento esta sendo planejado para ser efetuado em uma janela entre Outubro/Novembro de 2016, provavelmente por um lançador DNEPER de uma base de lançamento na Rússia.

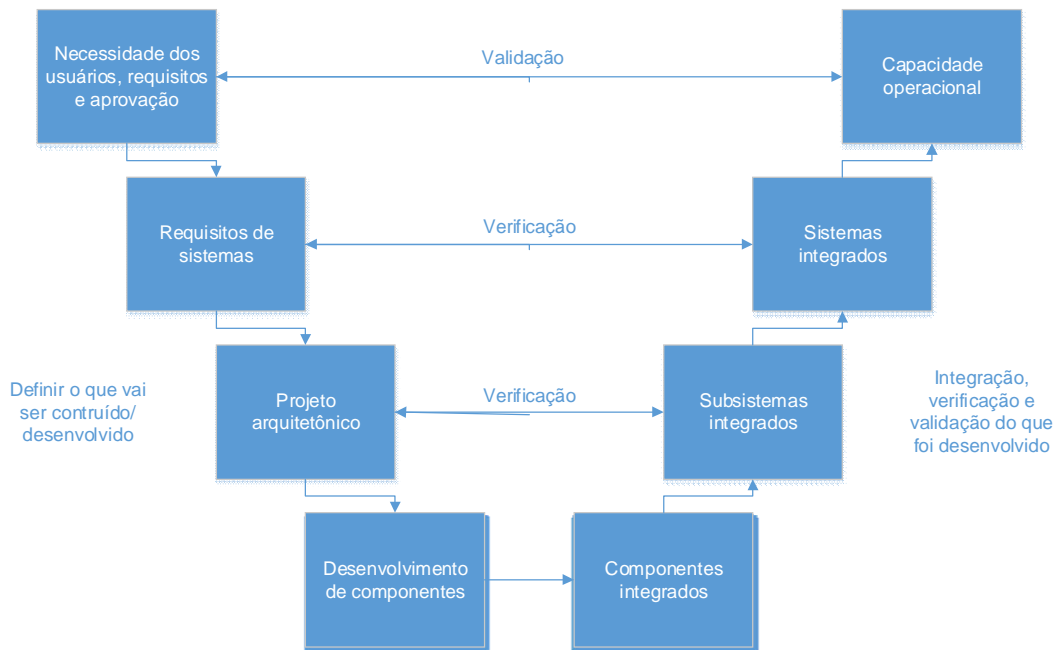
Devido a complexidade e similaridade com as grandes missões espaciais, aplicou-se ao Programa NANOSATC-BR Técnicas de Engenharia de Sistemas, desenvolvidas pela NASA e outras grandes companhias. O objetivo foi de desenvolver um projeto de forma segura, padronizada e bem gerenciada.

As técnicas e conceitos: - *Work Breakdown Structure - WBS* [1], que possui a estruturação geral do Programa; - *Function Tree* [2] para melhor identificação de falhas de cada Projeto; - Modelo "V" de Engenharia de Sistemas [3] foi utilizado como Metodologia de referência.

## Metodologia

A Engenharia de Sistemas de um modo geral tem a missão de suprir as necessidades dos *stakeholders*, utilizando Método de Gestão, Organização e Planejamento para analisar e executar todas as etapas de um projeto complexo. A Metodologia utilizada para a realização do Plano de Engenharia de Sistemas foi o Modelo em 'V' (Figura 1), que descreve tanto o planejamento (lado esquerdo do 'V') quanto sua integração (lado direito), simultaneamente conectando ambos os lados para verificação e validação do desenvolvimento da respectiva missão do projeto em análise.

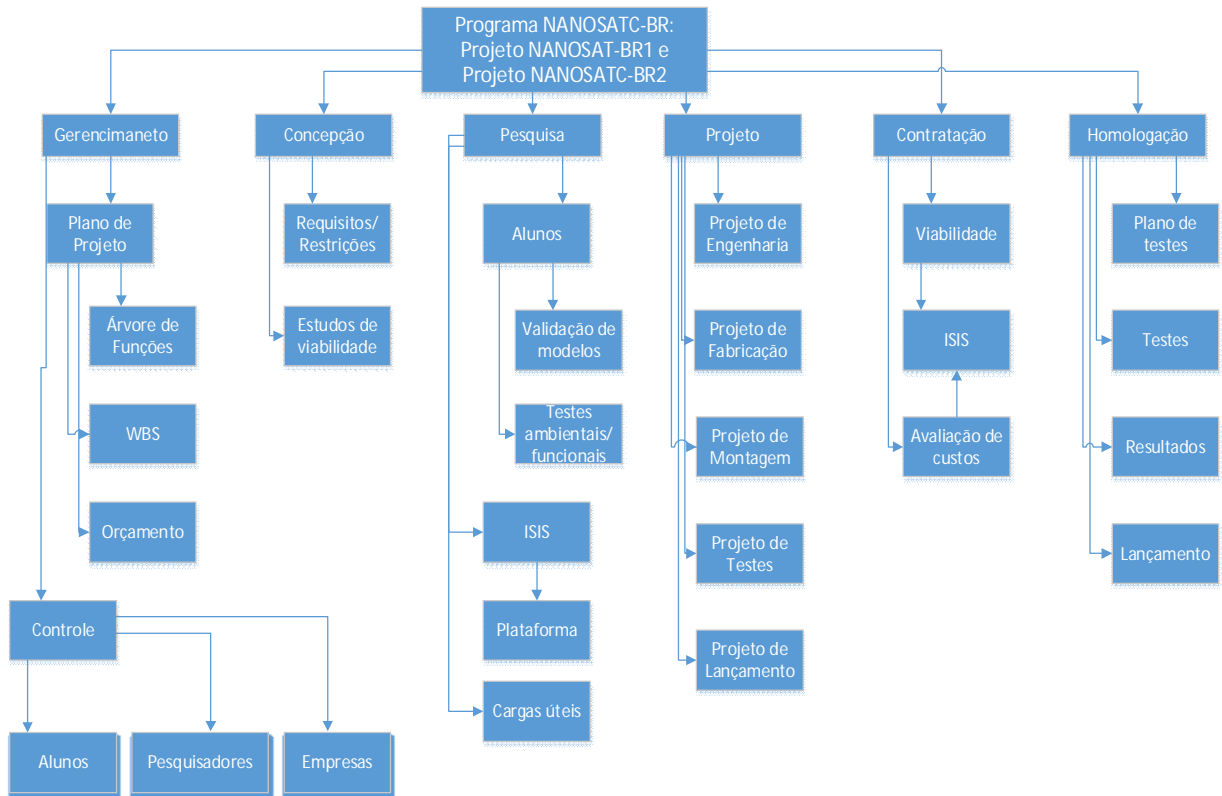
**Figura 1** - Modelo 'V' de Engenharia de Sistemas aplicada a um Projeto, figura adaptada de LOUREIRO, 1999 [3].



**Fonte:** [3] - 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 o maior controle da missão do projeto em análise, foi desenvolvido o *WBS*[1], (Figura 2), amplamente utilizado por sua capacidade de estruturar detalhadamente e mostrar a importância das interações entre as partes envolvidas em todo o projeto, apresentando um *overview* da estrutura de trabalho de projeto, no caso, do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats e de suas particularidades.

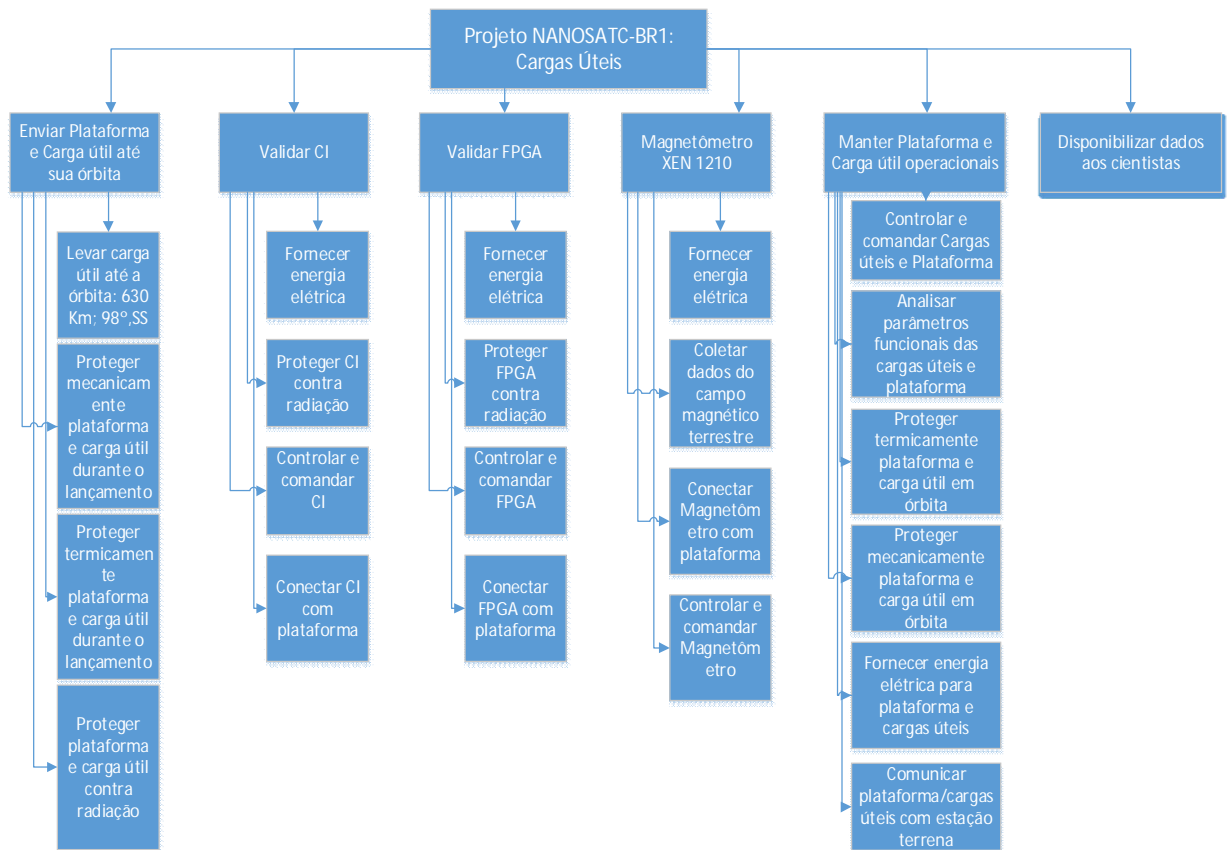
**Figura 2 - WBS do Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.**



**Fonte:** Desenvolvida pelos autores para o Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.

Com o objetivo de especificar os requisitos para cumprir as missões dos Projetos NCBR1 (Figura 3) e NCBR2 (Figuras 4 e 5), foram construídas as suas *Function Trees*, as quais possibilitam reduzir sistemas complexos aos seus pontos mais básicos, dividindo o Projeto em funções e sub-funções. Dessa maneira, as necessidades das missões são atendidas mais facilmente e de forma mais clara, para que no caso da ocorrência de falhas, as mesmas sejam identificadas e corrigidas rapidamente.

**Figura 3 - Function Tree do Projeto NANOSATC-BR1.**



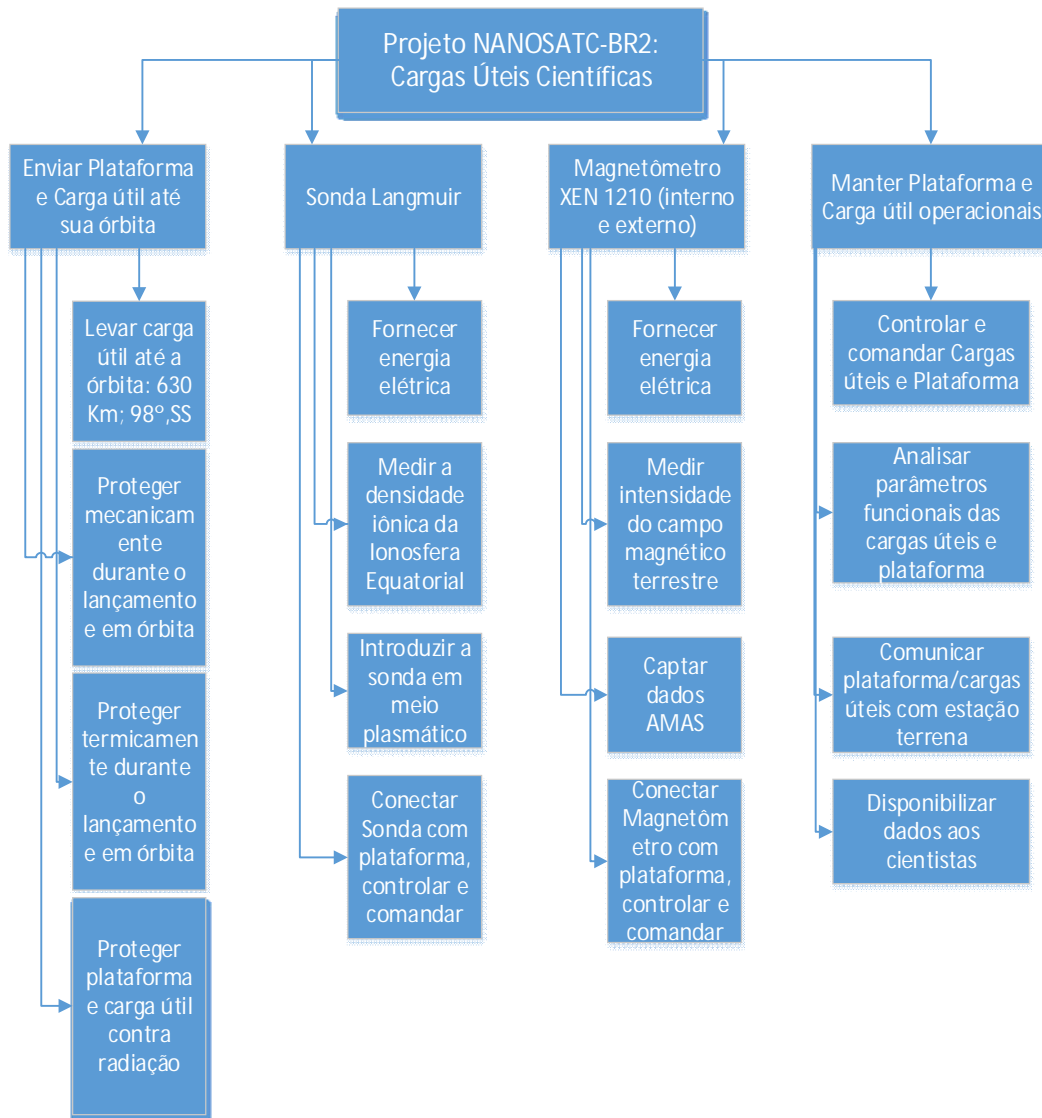
**Fonte:** Desenvolvida pelos autores para o Projeto NANOSATC-BR1.

A principal função do NCBR1 é o subsistema de Carga Útil, como pode ser observada na Figura 3, a qual representa o propósito da Missão do nanosatélite. Assim, as demais sub-funções dividem-se com o objetivo de estratificar em menores especificações, sendo elas: - Enviar a Plataforma com sua Carga Útil até sua Órbita Terrestre, para que possa cumprir a Missão de forma efetiva; - Validar a Placa de Circuito Integrado (CI); - Validar a *Field Programmable Gate Array*(FPGA); - Obter dados da região Magnetosférica com o Magnetômetro XEN 1210; - Manter a Plataforma e as Cargas Úteis operacionais, evitando falhas/erros nos demais subsistemas, recebendo e transmitindo informações; - Por fim, disponibilizar dados aos cientistas, para que o estudo seja realizado e concretizado.

O NCBR2 por ser um CubeSat- 2U tem o dobro de volume do NCBR1, ou seja, mais cargas úteis podem ser instaladas e mais funções poderão ser

realizadas em órbita. Pode-se observar este fato pela sua *Function Tree* realizada para suas Cargas Úteis Científicas (Figura 4) e para as suas Cargas Úteis Tecnológicas (Figura 5).

**Figura 4 - Function Tree** do Projeto NANOSATC-BR2(Cargas Úteis Científicas).

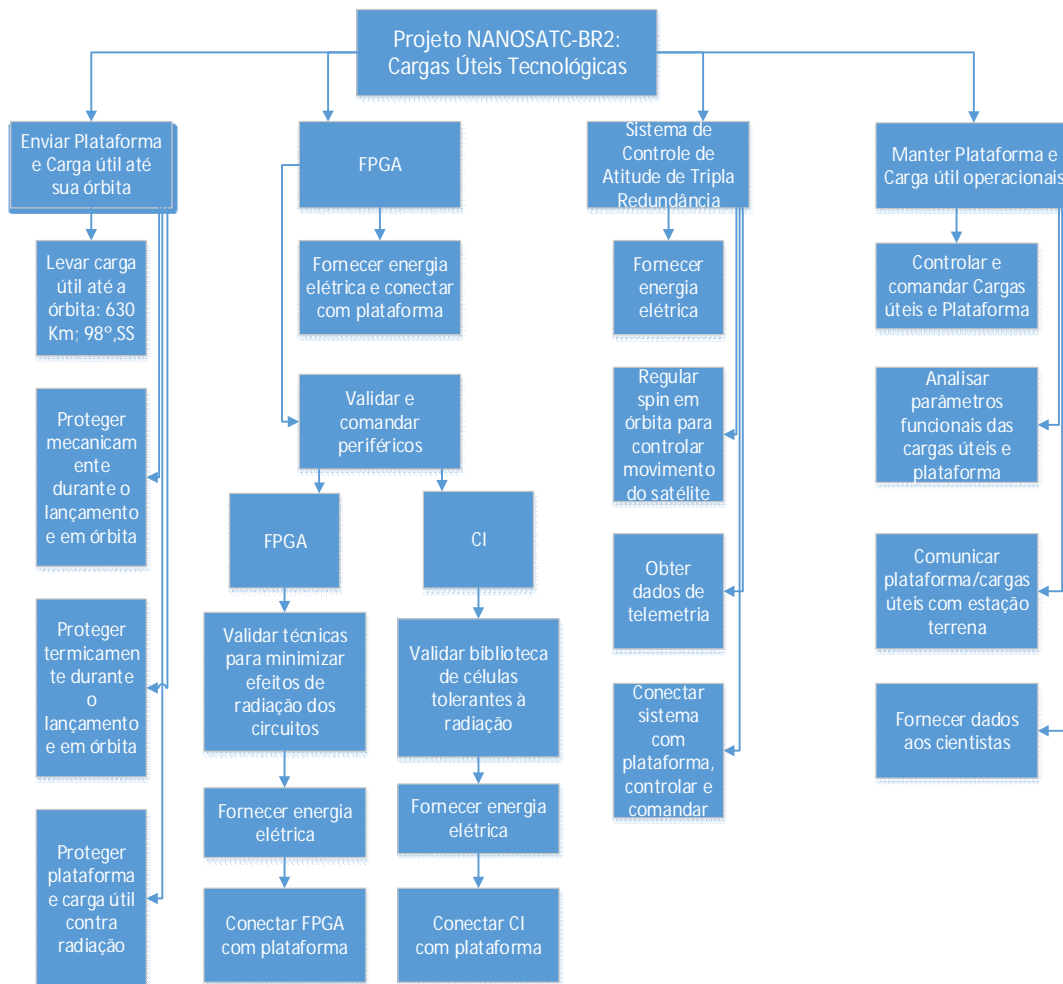


**Fonte:** Desenvolvida pelos autores para o Projeto NANOSATC-BR2.

A finalidade científica da Missão do Projeto NCBR2, pode ser observada na Figura 4. 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).

Pela Figura 5, pode-se ver a *Function tree* das Cargas Úteis Tecnológicas do Projeto NCBR2, as quais têm as seguintes funções: - 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; - a 2º FPGA, a qual tem o objetivo de validar técnicas para minimizar efeitos de radiação em circuitos eletroeletrônicos; - O primeiro Sistema de Controle de Atitude de um satélite com Tripla Redundância desenvolvido no Brasil, o qual tem o objetivo de regular o spin em órbita para controlar movimentos do satélite.

**Figura 5 - Function Tree** do Projeto NANOSATC-BR2 (Cargas Úteis Tecnológicas).



**Fonte:** Desenvolvida pelos autores para o Projeto NANOSATC-BR2.

## **Conclusão**

Com a aplicação e implementação de técnicas de Engenharia de Sistemas ao Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats, pode-se concluir que os Projetos: NCBR1 e NCBR2 têm um padrão organizacional e gerencial ótimos, os quais poderão ser utilizado como modelos para futuras missões do próprio Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats.

O Projeto NCBR1 foi um sucesso, suas Missões Científicas e Tecnológicas foram concretizadas como o esperado e se encontram ainda operacionais em órbita espacial coletando dados.

O Projeto NCBR2 esta passando pela fase de finalização, faltando a realização dos testes ambientais esperada para meados de julho de 2016, e com provável lançamento planejado para ser efetuado em uma janela entre Outubro/Novembro de 2016, provavelmente por um lançador DNEPER de uma base de lançamento na Rússia.

## **Agradecimentos**

O autor agradece ao Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de CubeSats da Parceria e Convênio: UFSM - INPE/MCTI, ao Programa PIBITI/INPE-CNPq/MCTI, a 30ª Jornada Acadêmica Integrada (JAI) da UFSM, a AEB, ao colega Rodrigo Passos Marques e colegas do Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas (LAMEC/CRS/INPE-MCTI), aos colegas do Laboratório de Radiofrequência e Comunicações do CRS/INPE-MCTI, ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT-UFSM), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Santa Maria Design House (SMDH/FATEC-UFSM), a Jornada Nacional de Iniciação Científica na68ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso (SBPC) e a Revista Brasileira de Iniciação Científica (RBIC) pela oportunidade de apresentação, publicação e divulgação do trabalho.



## Referências

- [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 Programa NanosatC-Br – Desenvolvimento de Cubesats**. Documento apresentado a AEB. Maio 2011