



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



SOFTWARE C&DH EMBARCADO EM NANOSSATÉLITES (ScdhNa)

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

Erik Buozzi Fleming (UNIFEI, Bolsista PIBIC/CNPq)

Laboratório de Simulação

LABSIM/INPE –MCT

E-mail:erik.fleming@inpe.br

Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco –Orientadora

Coordenação de Gestão Tecnológica

(TEC)/INPE –MCT

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INPE -MCT

E-mail:fatima.mattiello@inpe.br

São José dos Campos, Julho de 2015

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

PROJETO

**SOFTWARE C&DH EMBARCADO EM
NANOSATÉLITES(ScdhNa)**

Relatório elaborado por:

Erik Buozzi Fleming– Bolsista PIBIC/INPE –CNPq/MCT
Acadêmico do Curso de Engenharia de Controle e
Automação

E-mail:erik.fleming@inpe.br

Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco –Orientadora

Coordenação de Gestão Tecnológica

(TEC)/INPE –MCT

E-mail:fatima.mattiello@inpe.br

Marcelo Essado – Co-Orientador **EMSISTI**
EMSISTI – Sistemas Espaciais e Tecnologia

E-mail:marcelo@emsisti.com.br

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Projeto:

**SOFTWARE C&DH EMBARCADO EM
NANOSSATÉLITES (ScdhNa)**

Bolsista:

Erik Buozi Fleming

Acadêmico do Curso de Engenharia de Controle e Automação
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Orientadora:

Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco

Coordenação de Gestão Tecnológica - (TEC)/INPE –MCT

Co-Orientador:

Marcelo Essado

Engenheiro de Sistemas
EMSISTI – Sistemas Espaciais e Tecnologia

Colaboradores/Acadêmicos:

Cristiano Strieder – Mestre em Computação Aplicada –INPE

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Simulação – LABSIM/INPE – MCT, São José dos Campos, SP.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha Orientadora, Dr. Maria de Fátima Mattiello-Francisco e ao meu Co-Orientador Marcelo Essado pela atenção e apoio prestados em todas as dificuldades encontradas no decorrer do trabalho desenvolvido, gerando grande crescimento pessoal e profissional.

Meus sinceros agradecimentos: aos colegas de Laboratório Cristiano Strieder e Thiago Alberto Souza, pelo apoio e disponibilização de tempo para ajudar no Trabalho; ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT pelo apoio financeiro; ao Coordenador Dr. Ezzat Selim Chalhoub PIBIC/INPE – CNPq/MCT, e à Secretária do Programa, Sra. Egidia Inácio da Rosa, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	10
2. SATÉLITES	11
2.1 PROJETO NANOSATC-BR1	12
2.2. PROJETO NANOSATC-BR2	12
3. DESENVOLVIMENTO	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
6. ANEXOS.....	23

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES E GRÁFICOS

Figura 1– Nano Satélite, classe CubeSat, padrão 2U. Fonte: GomSpace,2015.....	11
Gráfico 1 – Bateria carregando (17/03 – Manhã)	16
Gráfico 2 – Bateria descarregando (17/03 – Tarde)	16
Gráfico 3 – Bateria carregando ao longo do dia.	17
Figura 2 – Máquina de estados finitos.....	19

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Modos de Operação e subsistemas.....	18
Tabela 2 – Eventos de entrada.....	19
Tabela 3 – Eventos de saída	20
Tabela 4 – Tabela de artefatos.....	15
Tabela 5 - Cronograma.....	24

RESUMO

O trabalho realizado se insere, no contexto do Programa NanosatC-BR, Desenvolvimento de Cubesats, iniciado em 2013, com o objetivo de desenvolver software embarcado em missões espaciais críticas. O foco do trabalho é o desenvolvimento do software de controle de atitude e de gestão de bordo (*Data Handling*) do nanossatélite NanosatC-BR2, referenciado por **ScdhNa**. As atividades realizadas compreendem a análise e modelagem do sistema **ScdhNa**, familiarização com o Software Aplicativo NanosatCS v1.1 das Estações Terrenas da missão NanosatC-BR1, o primeiro nanossatélite científico brasileiro, lançado em 19 de Junho de 2014 e ainda em operação. Os estudos são realizados em ambiente de laboratório no INPE com o uso dos modelos de engenharia de ambos satélites (Br1 e Br2). Até o momento foi realizada a compatibilização do ambiente de desenvolvimento utilizando a IDE Eclipse com computador de bordo Nanomind da A712, com sistema operacional LINUX.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório descreve o trabalho realizado na bolsa PIBIC no período de 09/03/2015 até 30/07/2015, visando o desenvolvimento do software embarcado da missão do nanossatélite NanosatC-BR2.

O software alvo de desenvolvimento nesse projeto é o software que realiza as funções de comando, manipulação de dados e aquisição de telemetria, embarcado do computador de bordo do satélite NanosatC-BR2, da classe CubeSat.

A metodologia adotada na realização do projeto compreende:

- Aplicação de um processo de desenvolvimento de software embarcado para missões críticas, em conformidade com as normas ECSS;

- Desenvolvimento de um protótipo de software embarcado que implemente as funções de comando, manipulação de dados e aquisição de telemetria no computador de bordo de plataforma de satélites, conhecidas como On-Board Data Handling.

O relatório está dividido em 5 partes. Na parte 2 temos uma breve descrição sobre as missões NanosatC-BR1 e NanosatC-BR2. Na parte 3 temos uma descrição do desenvolvimento das atividades realizadas durante o período relatado. A parte 4 dá um relato dos resultados e artefatos produzidos durante o trabalho. Por fim, na parte 5 estão as conclusões e considerações finais.

2. SATÉLITES

Os satélites artificiais são catalogados ou agrupados segundo sua massa (CONASAT, 2015):

- Grandes satélites: cujo peso seja maior a 1000kg;
- Satélites médios: cujo peso seja entre 500 e 1000kg;
- Mini satélites: cujo peso seja entre 100 e 500kg;
- Micro satélites: cujo peso seja entre 10 e 100kg;
- Nano satélites: cujo peso seja entre 1 e 10kg;
- Pico satélite: cujo peso seja entre 0,1 e 1kg;
- Fento satélite: cujo peso seja menor a 100g.

O Programa NanosatC-BR, Desenvolvimento de Cubesats, considera o uso de um nanossatélite, classe Cube Sat, padrão2U.

Cube Sats são uma classe de plataforma espacial de pesquisa com forma cúbica e aproximadamente 10 cm de aresta (padrão 1U). O padrão 2U apresenta dimensões de 10cmX10cmX20cm, como pode ser visualizado na Figura1.



Figura 1– Nano Satélite, classe CubeSat, padrão 2U. Fonte: GomSpace,2015.

2.1 PROJETO NANOSATC-BR1

O Programa NANOSATC-BR, Desenvolvimento de Cubesats, consiste em um Programa de Desenvolvimento de Engenharias e Tecnologias Espaciais através do estudo e projeto de nano satélites baseado em Cubesats. O Nanossatélite Científico Brasileiro1(NANOSATC-BR1) é a primeira aplicação de Cubesat no Brasil, cuja missão classifica-se como: tecnológica: qualificação de circuitos integrados em ambiente espacial; e científica: estudo da variabilidade das condições geomagnéticas na superfície terrestre e em baixa órbita, sobre o território brasileiro.

O nanossatélite, lançado em 19 de junho de 2014, está em operação há mais de 1 ano enviando os resultados obtidos dos experimentos científicos.

2.2. PROJETO NANOSATC-BR2

O Projeto NanosatC-Br2 tem como missão o desenvolvimento técnico e científico através da realização de alguns experimentos:

- O estudo da dinâmica da atmosfera ionizada, com ênfase em estudos referentes à bolhas de plasma. Pretende-se utilizar como cargas úteis um Fotômetro e uma Sonda de Langmuir (Bürger, 2012).

- O experimento com FPGA: Testar o FPGA ProAsic3 não protegido contra a radiação ionizante, com o intuito de torná-lo mais resistente a radiação cósmica ionizante. Podem ser futuramente aplicados, dois métodos distintos de proteção à radiação ionizante para componentes em projetos espaciais: I2a e por software.

- O experimento utilizando o magnetômetro para medir o campo magnético terrestre na região de operação do satélite.

- O experimento radioamador para transmissão e retransmissão de mensagens.

- Teste de um circuito integrado, desenvolvido no Brasil, com a função de liga/desliga de cargas úteis a serem futuramente utilizadas na Plataforma Multi Missão

(PMM). O circuito deve atuar como interface entre as cargas úteis e a plataforma de serviço do satélite.

O algoritmo do subsistema de determinação de atitude foi totalmente desenvolvido pelo INPE e será a primeira vez que o Brasil testará o algoritmo inovador deste subsistema em voo.

3. DESENVOLVIMENTO

As atividades realizadas até o presente momento são descritas a seguir:

3.1- Instalação e configuração do software de operação da missão NC-BR1: Foi realizada a instalação e configuração do software NanoSatCS e programas auxiliares (putty, wamp Server, ISIS software), usados para a operação do NanosatC-BR1, com o objetivo de familiarização com os softwares utilizados na missão.

3.2- Execução dos POVs: Foram executados os planos de vôo referentes ao NC-BR1 para observação e entendimento da resposta do satélite aos comandos enviados (telemetrias e telecomandos).

3.3- Instalação e configuração do ambiente de desenvolvimento do software do computador de bordo (OBC): Foi realizada a instalação e configuração do software Eclipse, utilizado para o desenvolvimento do software de bordo do OBC.

3.4- Especificações: Foram produzidos documentos de requisitos e especificações da comunicação e dos subsistemas do satélite. Foram feitas tabelas de relação dos subsistemas, lista de comandos e diagramas de comunicações para facilitar o entendimento de quais são os pré-requisitos e como funciona a integração dos subsistemas com o OBC.

3.5- Análise da bateria: Foi realizado um processo de monitoramento do ciclo de carga da bateria do modelo de engenharia do NanosatC-BR2 com o intuito de ter o conhecimento das limitações da carga da bateria do mesmo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As atividades realizadas produziram dados a respeito do comportamento do satélite e ao que esperar de sua funcionalidade.

A tabela abaixo apresenta, em ordem cronológica, os artefatos elaborados até o momento: O bolsista Sr. Erik Buozi Fleming é autor de alguns documentos e colaborador de outros.

Documento	Descrição	Data de publicação
Relatório de monitoramento do ciclo de carga da bateria do modelo de engenharia do satélite NanosatC-BR2.	Este documento apresenta uma análise do ciclo de carga da bateria do modelo de engenharia do satélite NanosatC-BR2.	25/03/2015
Relato do curso de “LABVIEW básico turma 1”	Este relato inclui os códigos-fontes dos exercícios e projetos produzidos durante o curso realizado no centro de treinamento do INPE no período de 06/04/2015 a 10/04/2015.	15/04/2015
Documento de especificação de requisitos do software de bordo do satélite NanosatC-BR2.	Este documento descreve os requisitos do software de bordo do satélite, tabelas de telecomandos e de telemetrias e diagramas de maquinas de estados finitos da interface interna entre o OBC e subsistemas do satélite.	03/06/2015
Documento de instalação e configuração do ambiente de desenvolvimento do software de bordo da missão NanosatC-BR2.	Este documento descreve os procedimentos para instalação, configuração do ambiente de desenvolvimento Gomspace	17/06/2015

Tabela 1 – Tabela de artefatos

4.1–Monitoramento da bateria

A atividade de monitoramento do ciclo de bateria nos deu uma idéia de como ela se comportara durante os testes e possivelmente durante a operação.

Foram gerados gráficos para demonstrar os resultados obtidos ao longo dos dois dias de testes:

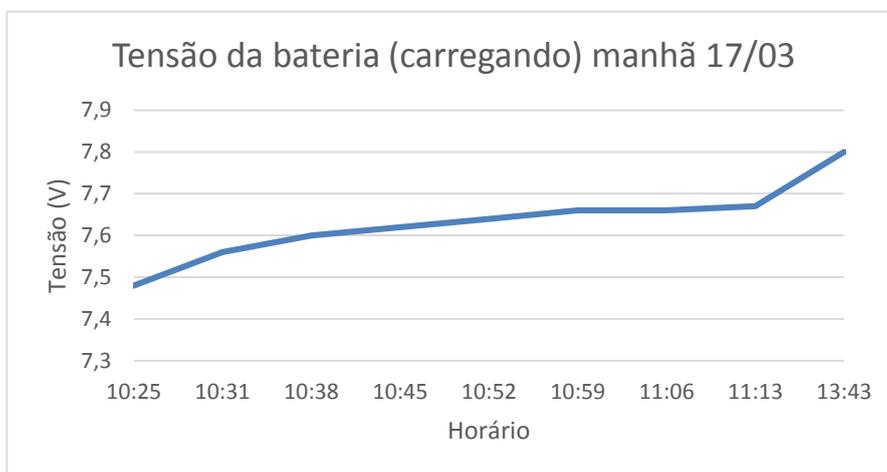


Gráfico 1 – Bateria carregando (17/03 – Manhã)

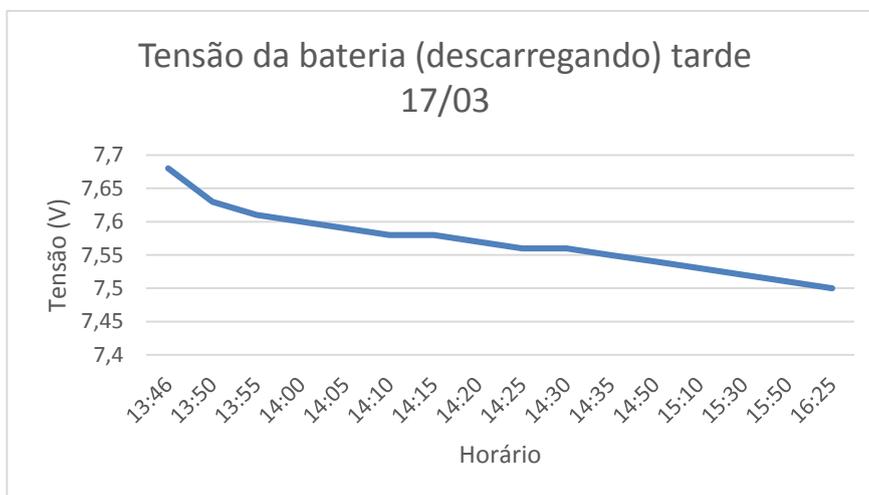


Gráfico 2 – Bateria descarregando (17/03 – Tarde)

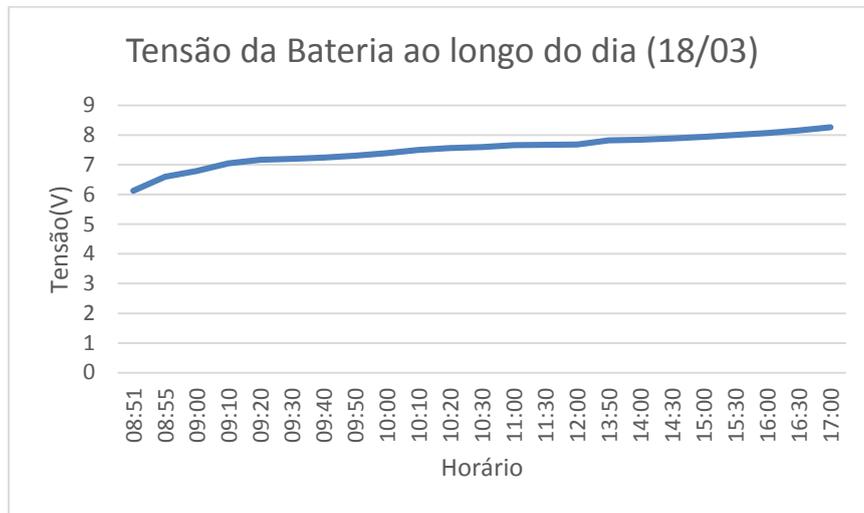


Gráfico 3 – Bateria carregando ao longo do dia.

Os gráficos mostram que, apesar de o ciclo não ser totalmente linear, os valores permaneceram na faixa de tensão especificada pelo manual do subsistema de energia.

4.2 – Especificação

Foi criado um documento de requisitos de comunicação dos subsistemas com o computador de bordo (OBC). Nesse documento foi descrita a interação dos modos de operação do satélite. Conforme apresentado na Tabela 2, onde as linhas representam os modos de operação do OBDH e as colunas os subsistemas em operação em cada modo. As células em verde indicam que o subsistema deve estar em operação no correspondente modo e as células em vermelho indicam que o subsistema deve estar desabilitado no correspondente modo.

Modos de operação / Subsistemas	NanoMind OBC	ISIS VHF/UHF Transceiver	Magneto-torquer	Nano-Power	Solar panels	Sonda de Langmur (SLP)	Sistema de determinação de atitude (DAS)	FPGA	SMDH	Magneto-meter
Idle	on	off	off	on	On	off	off	off	off	off
Deployment	on	on	off	on	on	off	off	off	off	off
Safe	on	on	off	on	on	off	off	off	off	off
Nominal	on	on	off	on	on	on	on	on	on	on
Stabilization	on	on	on	on	on	off	off	off	off	off

Tabela 2 – Modos de Operação e subsistemas.

Os modos de operação considerados são descritos a seguir:

- a) Idle: satélite energizado, sem realizar nenhuma operação.
- b) Deployment: satélite executa procedimento de “deployment” das antenas.
- c) Safe: satélite com cargas úteis desligadas e transmitindo respectivo *Beacon* (em código morse, a definir).
- d) Nominal: satélite com experimentos científicos e tecnológicos em operação.
- e) Estabilização: satélite executa procedimento de “stabilization”, com ativação do subsistema de magnetotorquer.

Também foi feito um diagrama de máquina de estados finitos representando o comportamento nominal do satélite.

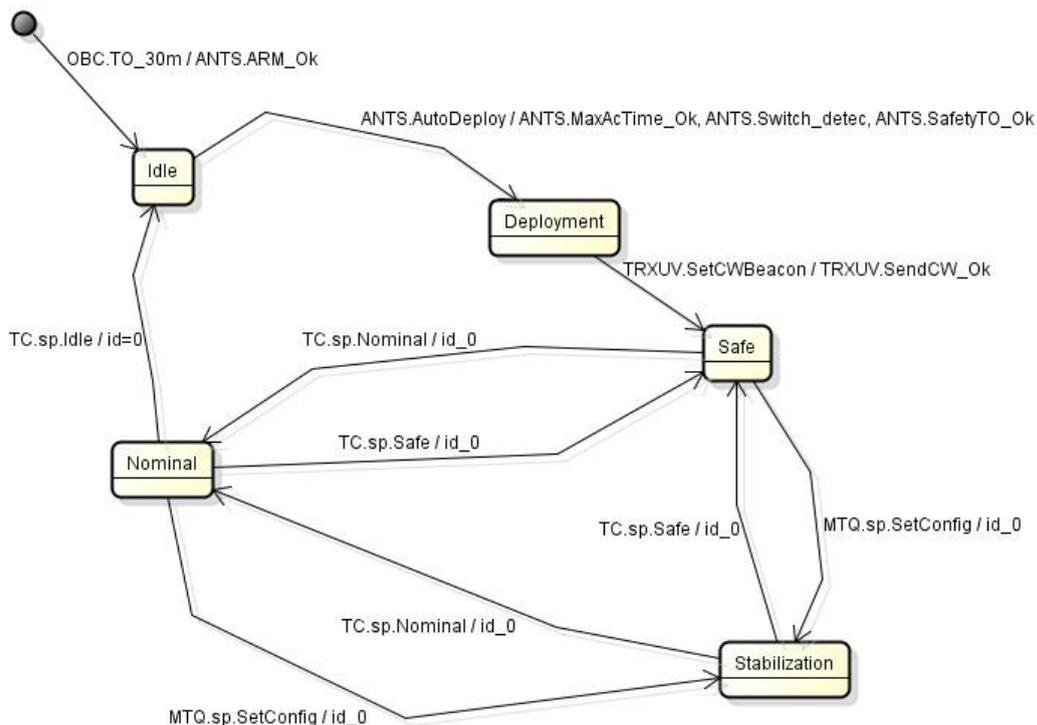


Figura 2 – Máquina de estados finitos

As tabelas abaixo descrevem os eventos de entrada e a resposta do sistema:

Lista de eventos de entradas		
Nome do evento	Valor	Descrição
ANTS.AutoDeploy		Inicia seqüência automática de deployment das antenas no período especificado (0 a 255 segundos).
OBC.TO	30m	Termino de temporizador de 30 minutos.
TRXUV.SetCWBeacon		Configura os dados que serão enviados pelo beacon do satélite
TC.sp.Nominal		Comando para o satélite entrar em modo de operação Nominal
MTQ.SetConfig		Inicia o subsistema do magnetotorquer e sua estabilização
TC.sp.Safe		Comando para o satélite entrar em modo de operação Safe
TC.sp.Idle		Comando para o satélite entrar em modo de operação Idle

Tabela 3 – Eventos de entrada

Lista de ações de saída		
Nome do evento	Valor	Descrição
id	0	Comando executado com sucesso
	-1	Comando executado com erro
ANTS.Arm	Ok	Arma o sistema de antenas com sucesso.
	Nok	Arma o sistema de antenas com erro.
ANTS.Switch	detec	Switch da respectiva antena é detectada com sucesso após ativação
	Ndetec	Switch da respectiva antena é detectada com erro após ativação
ANTS.MaxAcTime	Ok	Tempo setado no temporizador contado com sucesso
	Nok	Tempo setado no temporizador não contado até o final
ANTS.SafetyTO	Ok	Deployment automático não atingiu o Safety TO máximo
	Nok	Deployment automático atingiu o Safety TO máximo
TRXUV.SendCW	Ok	Beacon enviado com sucesso
	Nok	Beacon enviado com erro

Tabela 4 – Eventos de saída

4.3–Instalação do ambiente de desenvolvimento

Foi criado um documento descrevendo o processo de instalação do ambiente de desenvolvimento do software de bordo do NC-BR2. O documento contém os passos de instalação do software “Eclipse” e sua configuração assim como as maneiras de realizar a compilação e upload da programação para o satélite.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Relatório descreveu as atividades desenvolvidas pelo aluno no projeto **“SOFTWARE C&DH EMBARCADO EM NANOSSATÉLITES (ScdhNa)”**, no período de março de 2015 à julho de 2015.

Os estudos realizados ajudaram a construir a base para facilitar o desenvolvimento do software de bordo.

A experiência do período de trabalho contribuiu para uma melhor noção de trabalhos em projetos que reúnem várias equipes trabalhando juntas e a gestão dessas equipes como um todo.

Os trabalhos futuros incluem o estudo das normas ECSS que preconizam os processos de desenvolvimento de software embarcado adotados pelo INPE, o estudo do computador alvo, barramentos de interface CAN e I2C e sistema operacional FreeRTOS e o desenvolvimento e validação do próprio software embarcado para a missão de nanossatélite Nanosat-BR2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Camponogara, A., Relatório final de iniciação científica PIBIC/INPE – CNPq, 07/2013.

CONASAT, Constelação de Nano Satélites Ambientais. Disponível *online*

<<http://www.crn2.inpe.br/conasat1>>. Acessado em: 14 jul 2015.

GOMSPACE. **GOMX-Platform.** Disponível *online* em:

<<http://gomspace.com/index.php?p=products-platforms>>. Acesso em: 14 jul 2015.

Kastendmidt, Fernanda G.L., Relatório Carga Útil – NanoSatC-BR1 – FPGA ProASIC3

LABRE-AMSAT-BR, DCX1 – Amateur Radio Communications Experiment. a LABRE - AMSAT-BR Proposal for the Nanosatellites/CubeSats ITASAT-1 & NANOSATC-BR2, Version 1.3, May 20th 2015.

Marchezi, J. P., Mendes, Odim Jr, Denardini C. M, Trivedi, N. B., Durão, O. C., Shuch, N. J.. The NANOSATC-BR1 Scientific Payload: Magnetometer System. IAA-CU-13-03-01

Medeiros, L., Zaffari, C.A., Noval, J. J. S., Teixeira, L., Martins, J. B. S., Using the NANOSATC-BR1 to evaluate the effects of space radiation incidence on a radiation hardened ASIC. IAA-XX-14-0S-0P.

6. ANEXOS

6.2 – Cronograma

O cronograma macro do projeto é apresentado na Tabela abaixo.

	Março		Abril		Maio		Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro	
	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2	Qz1	Qz2		
Estudo das Normas ECSS-M-30; ECSS-E-40 e ECSS-Q-80 que preconizam os processos de desenvolvimento de software embarcado adotados pelo INPE																								
Estudo do computador alvo (NanoMInd A702/A712) a. Processador ARM7 b. Barramento de interface CAN (Controller Area Network) e I2C. c. Sistema Operacional de TempoReal - FreeRTOS																								
Participar da equipe de projeto e desenvolvimento do Software C&DS para a missão de picosatélite Nanosat-BR2.																								
Prototipação de funcionalidades de software C&DS no computador alvo																								

Tabela 5 - Cronograma

