



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET)
PARA O NANO-SATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO -
NANOSATC-BR**

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

PROCESSO Nº: 119908/2008-5

**Igor Freitas Fagundes - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Radiofrequência e Comunicações
LRC/CRS/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/INPE – MCT
E-mail: igorfreitas@lacesm.ufsm.br**

**Dr. Pawel Rozenfeld - Orientador
Centro de Rastreo e Controle de Satélites
CRC/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE - MCT
E-mail: pawel@ccs.inpe.br**

Santa Maria, junho de 2009



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

PROJETO

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET) PARA O
NANO-SATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO - NANOSATC-BR**

PROCESSO Nº: 119908/2008-5

Relatório elaborado por:

Igor Freitas Fagundes - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

E-mail: igorfreitas@lacesm.ufsm.br

Dr. Pawel Rozenfeld – Orientador

Centro de Rastreo e Controle de Satélites – CRC/INPE – MCT

E-mail: pawel@ccs.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch - Co-orientador

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

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes - Co-orientador

Depto. Eletrônica e Computação - DELC/CT-UFSM

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria -

LACESM/CT - UFSM

E-mail: natanael@lacesm.ufsm.br



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

**Projeto: DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET) PARA O
NANOSATÉLITE CIENTÍCO BRASILEIRO - NANOSATC-BR**

Processo CNPq Nº: 119908/2008-5

Bolsista:

Igor Freitas Fagundes

Curso de Engenharia Elétrica

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

Orientador:

Dr. Pawel Rozenfeld

Centro de Rastreo e Controle de Satélites – CRC/INPE – MCT.

Co-orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Co-orientador:

Dr. Natanael Rodrigues Gomes

Depto. Eletrônica e Computação – DELC/CT–UFSM e Pesquisador do
Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.

Colaboradores/Acadêmicos:

Guilherme Simon da Rosa, Tiago Jaskulski, Tardelli Ronan Coelho Stekel.



Alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) que desenvolvem programas de Iniciação Científica no CRS/INPE – MCT.

Local de Trabalho/Execução do projeto:

Laboratório de Radiofrequência e Comunicações – LRC/CRS/INPE – MCT

Observatório Espacial do Sul – OES/INPE – MCT

Projeto executado no âmbito da parceria INPE/MCT – UFSM, através do

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



Grupo de Pesquisa
Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo: Interações
Terra - Sol, NanoSatC-Br



<u>Identificação</u>	<u>Recursos Humanos</u>	<u>Linhas de Pesquisa</u>	<u>Indicadores do Grupo</u>
----------------------	-------------------------	---------------------------	-----------------------------

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: 23/06/2009 11:43

Líder(es) do grupo:

Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br

Natanael Rodrigues Gomes - natanael.gomes@lacesm.ufsm.br

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

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

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 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), Austrália (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: 42**[Ademar Michels](#)[Jean Pierre Raulin](#)[Alan Prestes](#)[Joao Paulo Minussi](#)[Alicia Luisa Clúa de Gonzalez](#)[Jose Humberto Andrade Sobral](#)[Alisson Dal Lago](#)[Juliano Moro](#)[Antonio Claret Palerosi](#)[Mangalathayil Ali Abdu](#)[Barclay Robert Clemesha](#)[Marcelo Barcellos da Rosa](#)[Caitano Luiz da Silva](#)[Marco Ivan Rodrigues Sampaio](#)[Carlos Roberto Braga](#)[Marcos Vinicius Dias Silveira](#)[Clezio Marcos De Nardin](#)[Nalin Babulau Trivedi](#)[Cristiano Max Wrasse](#)[Natanael Rodrigues Gomes](#)[Delano Gobbi](#)[Nelson Jorge Schuch](#)[Eurico Rodrigues de Paula](#)[Nivaor Rodolfo Rigozo](#)[Ezequiel Echer](#)[Odim Mendes Junior](#)[Fabiano Luis de Sousa](#)[Osmar Pinto Junior](#)[Fábio Augusto Vargas dos Santos](#)[Otávio Santos Cupertino Durão](#)[Fernanda de São Sabbas Tavares](#)[Pawel Rozenfeld](#)[Fernando Luís Guarnieri](#)[Petrônio Noronha de Souza](#)[Gelson Lauro Dal' Forno](#)[Polinaya Muralikrishna](#)[Hisao Takahashi](#)[Rajaram Purushottam Kane](#)[Ijar Milagre da Fonseca](#)[Severino Luiz Guimaraes Dutra](#)[Jean Carlo Santos](#)[Walter Demetrio Gonzalez Alarcon](#)**Estudantes****Total: 33**[Aline Seeger Santos](#)[Jose Fernando Thuorst](#)[Bernardo Henz](#)[Josemar de Siqueira](#)[Carlos Pinto da Silva Neto](#)[Lilian Piecha Moor](#)[Cassio Espindola Antunes](#)[Lucas Antunes Tambara](#)[Cássio Rodinei dos Santos](#)[Lucas Lopes Costa](#)[Celito Muck Felipetto](#)[Lucas Ramos Vieira](#)[Claudio Machado Paulo](#)[Luis Fernando Nicolini](#)[Cristiano Sarzi Machado](#)[Nikolas Kemmerich](#)[Edson Rodrigo Thomas](#)[Rafael Lopes Costa](#)



[Eduardo Escobar Bürger](#)

[Eduardo Weide Luiz](#)

[Felipe Cipriani Luzzi](#)

[Fernando de Souza Savian](#)

[Guilherme Aluizio Steffens Lorenset](#)

[Guilherme Grams](#)

[Guilherme Simon da Rosa](#)

[Igor Freitas Fagundes](#)

[Ricardo Cartier dos Santos](#)

[Rodrigo da Rosa Azambuja](#)

[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)

[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)

[Thalis José Girardi](#)

[Tiago Jaskulski](#)

[Willian Rigon Silva](#)

Técnicos

Total: 2

Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação

Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função

Linhas de pesquisa

Total: 4

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

Relações com o setor produtivo

Total: 0

Indicadores de recursos humanos do grupo

	Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)		42
Estudante(s)		33
Técnico(s)		2



Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



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
Alisson Dal Lago
Antonio Claret Palerosi
Clezio Marcos De Nardin
Ezequiel Echer
Fabiano Luis de Sousa
Fernando Luís Guarnieri
Ijar Milagre da Fonseca
Jean Pierre Raulin
Jose Humberto Andrade Sobral
Nalin Babulal Trivedi
Natanael Rodrigues Gomes
Nelson Jorge Schuch
Nivaor Rodolfo Rigozo
Odim Mendes Junior
Otavio Santos Cupertino Durão
Pawel Rozenfeld
Petrônio Noronha de Souza
Severino Luiz Guimaraes Dutra
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

Estudantes:

Bernardo Henz
Cassio Espindola Antunes
Celito Muck Felipetto
Eduardo Escobar Bürger
Fernando de Souza Savian
Guilherme Grams
Guilherme Simon da Rosa



[Igor Freitas Faundes](#)
[Jose Fernando Thuorst](#)
[Josemar de Siqueira](#)
[Lucas Antunes Tambara](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Ramos Vieira](#)
[Luis Fernando Nicolini](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Rafael Lopes Costa](#)
[Ricardo Cartier dos Santos](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[Tiago Jaskulski](#)
[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

Meus sinceros agradecimentos: (i) aos funcionários, servidores e Chefia do CRS/INPE - MCT pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada; (ii) 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; (iii) ao Coordenador Dr. José Carlos Becceneri e a Secretária do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, 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 de I. C. & T do CRS/INPE - MCT.

Também gostaria de agradecer ao meu orientador Dr. Pawel Rozenfeld e aos meus co-orientadores Dr. Nelson Jorge Schuch e Dr. Prof. Natanael Rodrigues Gomes pelo apoio técnico e incentivo para o desenvolvimento do projeto de pesquisa, que proporcionou grande crescimento pessoal. Ainda gostaria de agradecer aos colegas de laboratório Guilherme Simon da Rosa e Tiago Jaskulski pelas sugestões durante o desenvolvimento das atividades. Por fim, gostaria de agradecer aos radioamadores de Santa Maria pelas sugestões que contribuíram para o andamento do projeto.



RESUMO

O trabalho de pesquisa tem como objetivo definir uma arquitetura para implementação da Estação Terrena (ET) de comunicação e rastreamento para o Nano-satélite Científico Brasileiro (NanosatC-Br). Estação que deverá ser desenvolvida na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE – MCT), em Santa Maria, RS. A missão NanosatC-Br – Clima Espacial vem sendo desenvolvida por alunos de graduação dos cursos de Engenharia Elétrica e Mecânica, Ciência da Computação e Física, através da parceria entre o CRS/INPE – MCT e o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM), sob orientação de pesquisadores e professores das instituições envolvidas. Visando melhores opções para implementação da ET, foi realizado um estudo de métodos empregados em projetos de satélites miniaturizados do tipo *CubeSat*. Grande parte dos projetos de ETs utilizam faixas de frequência destinadas aos serviços de radioamador, contando com o apoio de radioamadores em etapas de projeto e operação. Uma das características do radioamadorismo é o desenvolvimento de pesquisas e investigações técnico-científicas voltadas ao desenvolvimento próprio, por pessoas autorizadas, sem fins pecuniários ou comerciais. Buscou-se tomar conhecimento das principais instituições nacionais e internacionais que podem auxiliar no desenvolvimento do subsistema de comunicação do projeto. Visando aumentar as possibilidades de sucesso para a missão, foi analisada a possibilidade de aquisição de dispositivos de comunicação produzidos por empresas especializadas em projetos de satélites miniaturizados. São dispositivos conhecidos como *Commercial off-the-shelf (COTS)*, que proporcionam redução das falhas e tempo de desenvolvimento dos sistemas. Foi efetuado um estudo inicial das principais características dos dispositivos disponíveis no mercado, visando determinar a sua compatibilidade com os objetivos da missão.



SUMÁRIO

RESUMO	11
LISTA DE FIGURAS	15
CAPÍTULO 1	17
INTRODUÇÃO.....	17
CAPÍTULO 2	19
MISSÃO NANOSATC-BR – CLIMA ESPACIAL.....	19
2.1 INTRODUÇÃO	19
2.2 PROJETO CUBESAT.....	19
2.3 MISSÃO NANOSATC-BR - CLIMA ESPACIAL	23
2.3.1 Metas da Missão e Carga Útil	24
2.3.2 Principais subsistemas do NanosatC-Br	24
CAPÍTULO 3	27
COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES	27
3.1 INTRODUÇÃO	27
3.2 COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES.....	27
3.3 SEGMENTO SOLO	28
3.3.1 Estações Terrenas	29
3.4 CARACTERÍSTICAS DA COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES.....	29
3.4.1 Equações de propagação	30
3.4.2 Distância real do satélite	31
3.4.3 Efeito Doppler de deslocamento da Frequência	31
3.4.4 Potência Efetiva Isotropicamente Irradiada (EIRP).....	32
3.4.5 Perdas do sinal transmitido	33
CAPÍTULO 4	34
PROJETO DE ESTAÇÕES TERRENAS PARA PEQUENOS SATÉLITES.....	34
4.1 INTRODUÇÃO	34
4.2 SUBSISTEMAS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS POR CUBESATS	34

4.3 MISSÃO CANX-2.....	35
4.3.1 Sistema de comunicação de bordo	37
4.3.2 Antenas da ET	38
4.3.3 Rádios.....	40
4.3.4 Posicionador das Antenas e Controle.....	40
4.3.5 Terminal Central de Controle	41
4.3.6 Protocolo de comunicação	42
4.4 DELFI-C3 NANOSATÉLITE	43
4.4.1 Subsistema de comunicação.....	44
4.4.2 Antenas de Bordo	46
4.4.3 Segmento solo	46
4.4.4 Estação Terrena de Comando.....	48
CAPÍTULO 5	50
USO E REGULAMENTAÇÃO DE RADIOFREQUÊNCIAS E O SERVIÇO DE RADIOAMADOR.....	50
5.1 INTRODUÇÃO	50
5.2 REGULAMENTAÇÃO DO USO DA RADIOFREQUÊNCIA	50
5.2.1 União Internacional de Telecomunicações.....	50
5.2.2 Regulamentação das Faixas de Frequência no Brasil - ANATEL	51
5.3 SERVIÇO DE RADIOAMADOR.....	52
5.3.1 Organizações de radioamadores.....	53
5.3.2 Regulamentação do Radioamadorismo no Brasil	54
CAPÍTULO 6	56
ESPECIFICAÇÕES INICIAIS DO SUBSISTEMA DE COMUNICAÇÃO DO NANOSATC-BR	56
6.1 INTRODUÇÃO	56
6.2 EQUIPAMENTOS DE BORDO DO SATÉLITE	56
6.2.1 Rádio Transceptor	56
6.2.2 Antenas de bordo.....	58

6.3 ESTAÇÃO TERRENA NANOSATC-BR	59
6.3.1 Estação Terrena VHF/UHF/S-Band desenvolvida pela ISIS	59
6.3.2 Parâmetros iniciais para o desenvolvimento de uma Estação Terrena.....	60
CAPÍTULO 7	66
CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO 1	71
ATIVIDADES COMPLEMENTARES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Exemplo de projeto utilizando o padrão CubeSat 1U (czCube).....	21
Figura 2.2 - Exemplo de projeto utilizando o padrão CubeSat 3U (Delfi-C3).....	21
Figura 2.3 - P-PODS montados no veículo lançador russo Dnper.	22
Figura 2.4 - P-POD Mk. III desenvolvido pela CalPoly.....	22
Figura 3.1 - Representação da geometria típica de comunicação com satélites.....	31
Figura 4.1 - Ilustração do nanosatélite CanX-2 desenvolvido pelo Space Flight Laboratory (UTIAS/SFL) da University of Toronto Institute for Aerospace Studies (UTIAS), em Toronto, Canadá.	36
Figura 4.2 - Diagrama esquemático da estação terrena desenvolvida para o projeto do nanosatélite CanX-2.	37
Figura 4.3 - Estrutura das antenas para comunicação em VHF e Banda-S do nanosatélite CanX-2 instaladas no topo do prédio principal da UTIAS em Toronto, Canadá.	39
Figura 4.4 - Estrutura das antenas para comunicação em UHF instalada no topo do prédio principal da UTIAS em Toronto, Canadá.....	39
Figura 4.5 - Placa de controle do terminal de controle central (TNC) da estação terrena implementada pelo projeto CanX-2.....	42
Figura 4.6 - Estrutura do pacote de dados do protocolo de comunicação AX.25 utilizado pelo projeto CanX-2.	43
Figura 4.7 - Ilustração do nanosatélite Delfi-C3 desenvolvido pela Delft University of Technology, em Delft, Holanda.	44
Figura 4.8 - Arquitetura proposta para o sistema de comunicação do nanosatélite Delfi-C3.....	48
Figura 4.9 - Antenas UHF e VHF montadas sobre um posicionador no telhado do prédio mais alto em Delft, Holanda.	49
Figura 4.10 - Equipamentos da estação terrena redundante de comando do nanosatélite Delfi-C3 instalada em Eindhoven, Holanda.	49
Figura 5.1 - Divisão das regiões para administração das Faixas de Frequência Segundo a	

União Internacional de Telecomunicações (UIT).....	51
Figura 5.2 - Instituições nacionais e internacionais e suas relações para o auxílio no desenvolvimento do subsistema de comunicação do NanosatC-Br utilizando faixas de frequência reservadas para o serviço de radioamador.	54
Figura 6.1 - Representação das antenas para comunicação em UHF e VHF desenvolvidas pela empresa ISIS.	58
Figura 6.2 - Representação de alguns dos parâmetros utilizados e resultados obtidos através do cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br - Uplink	63
Figura 6.3 - Representação de alguns dos parâmetros utilizados e resultados obtidos através do cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br – Downlink.....	65



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE-MCT), através da colaboração entre o Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE-MCT) e o Laboratório de Pesquisas Espaciais de Santa Maria (LACESM-CT), está desenvolvendo um projeto para a especificação, integração e lançamento do primeiro satélite do tipo CubeSat brasileiro, o Nanosatélite Científico Brasileiro - NanosatC-Br. Esse projeto tem a participação de uma equipe de alunos de graduação da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) sob orientação de pesquisadores e professores do INPE e da UFSM, atuando na especificação dos diversos subsistemas que compõem o pequeno satélite.

A missão NanosatC-Br – Clima Espacial visa primeiramente o desenvolvimento de recursos humanos das instituições envolvidas através da possibilidade de participação dos alunos de graduação em uma missão espacial, desde o projeto e especificação até a utilização propriamente do satélite durante sua vida útil. A missão tem como objetivo científico observar as regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e a Região do Eletrojato da Ionosfera Equatorial sobre o território brasileiro em altitudes na faixa de 500-700km. Para isso, o nanosatélite apresentará como carga útil um magnetômetro que fará a medida das três componentes da intensidade do campo magnético e ainda encontra-se sob avaliação a presença de um dosímetro que fará a medida da precipitação de partículas.

Para estabelecer a comunicação entre o NanosatC-Br e a Terra uma estação terrena de comunicação e rastreamento necessita ser implementada, a qual será localizada no CRS/INPE – MCT, em Santa Maria-RS. Como principais funções essa estação deverá rastrear e estabelecer o contato com o nanosatélite, obter os dados e armazená-los para posterior disponibilização aos pesquisadores os quais farão uso dos dados coletados.

O objetivo do corrente trabalho é apresentar os principais aspectos relacionados



com o enlace de comunicação entre o nanosatélite e a estação terrena, visando definir a arquitetura e as opções de implementação para estação terrena a ser desenvolvida ou adquirida. Para isso um estudo foi feito para observar como os projetos utilizando pequenos satélites têm desenvolvido o subsistema de comunicação, em especial o subsistema de solo.

Este relatório apresenta a seguinte organização. No Capítulo 2 são apresentadas algumas características dos satélites miniaturizados do tipo CubeSat, além dos objetivos gerais da missão NanosatC-Br – Clima Espacial e um resumo de alguns dos subsistemas que o compõem. No Capítulo 3 são apresentadas algumas definições e aspectos técnicos que estão envolvidos no projeto do subsistema de comunicação com satélites. No Capítulo 4, uma revisão bibliográfica de dois projetos de ETs implementadas para missões utilizando pequenos satélites é apresentada, a fim de avaliar as possibilidades de implementação para o NanosatC-Br. No Capítulo 5 as principais instituições nacionais e internacionais que regulamentam o uso da radiofrequência são apresentadas, além da forma como a comunidade CubeSat tem se relacionado e utilizado os recursos do radioamadorismo para facilitar o desenvolvimento e implementação das suas estações. No Capítulo 6, as especificações iniciais dos equipamentos que irão compor o subsistema de comunicação de bordo do projeto NanosatC-Br são apresentadas, e é efetuado um cálculo simplificado de enlace a fim de estimar parâmetros iniciais dos equipamentos de solo. Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as conclusões a respeito do trabalho desenvolvido até o momento.

CAPÍTULO 2

MISSÃO NANOSATC-BR – CLIMA ESPACIAL

2.1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo são apresentadas algumas características dos satélites miniaturizados do tipo CubeSat. Também são apresentados os objetivos gerais da missão NanosatC-Br, bem como um resumo dos seus principais subsistemas, com ênfase aos que estão diretamente ligados ao subsistema de comunicação.

2.2 PROJETO CUBESAT

O Projeto CubeSat (*CubeSat Project*), iniciado em 1999, é um projeto desenvolvido através de uma colaboração entre a *California Polytechnic State University*, de San Luis Obispo, e o *Stanford University's Space Systems Development Laboratory*, que teve como objetivo inicial fornecer uma plataforma padrão para o projeto de picosatélites (SCHAFFNER et. al, 2002).

O projeto CubeSat ainda tinha como objetivo proporcionar uma ferramenta educacional para o desenvolvimento de alunos, de graduação e escolas técnicas, com interesse em pesquisas espaciais. Os fatores mais importantes das missões são o conhecimento e desenvolvimento da tecnologia envolvida com a construção e operação de um satélite, além da carga útil e os objetivos científicos das missões. Várias missões desenvolvidas até então têm apresentado um ou dois experimentos científicos a bordo dos CubeSats, proporcionando o envolvimento de um grande número de pesquisadores.

Alguns projetos, como o Delfi-C3 e o CanX-2, utilizaram suas primeiras missões para validar tecnologias desenvolvidas para utilização em futuros lançamentos. Dentre essas tecnologias destacam-se o subsistema de comunicação do Delfi-C3 e o controle de atitude dos três eixos do nanosatélite CanX-2.

Com uma plataforma padrão para pequenos satélites há uma significativa

redução de custos e tempo de desenvolvimento de projetos, permitindo lançamentos e execução de missões com maior frequência. Segundo Nugent (2008) CubeSats podem ser desenvolvidos dentro de um à dois anos devido a padronização dos satélites e as suas dimensões relativamente pequenas. Isto permite uma aceleração do cronograma de desenvolvimento bem como o acompanhamento de todo o ciclo da missão, proporcionando uma experiência completa para os estudantes.

As principais atividades desenvolvidas durante o ciclo da missão compreendem especificamente (NUGENT et al., 2008):

- Missão e requerimentos de planejamento;
- Projeto, análise e testes;
- Fabricação, montagem e controle de qualidade;
- Teste a nível de sistemas;
- Integração e lançamento;
- Operação do satélite através de uma estação terrena.

Estas características atribuem um diferencial se comparado ao desenvolvimento de projetos de satélites de grande porte, caros e que demandam maior tempo para execução. Assim um grande número de universidades de diversos países estão desenvolvendo projetos e lançamentos de satélites baseados no padrão CubeSat.

O padrão CubeSat para o desenvolvimento de picosatélites é caracterizado por um cubo de 10cm de aresta e massa não superior a 1kg, sendo atualmente conhecido através de uma escala como padrão 1U (Figura 2.1), existindo modelos já utilizados de até 3kg (nanosatélites) e dimensões 10x10x30cm conhecidos como 3U (Figura 2.2). Porém, como consequência da restrição de área e massa, há a necessidade de miniaturização dos dispositivos que compõem os subsistemas do satélite para o melhor aproveitamento do espaço, demandando projetos altamente eficientes.



Figura 2.1 - Exemplo de projeto utilizando o padrão CubeSat 1U (czCube).

Fonte: <http://www.czcube.cz/docs/Image/050910c.jpg>

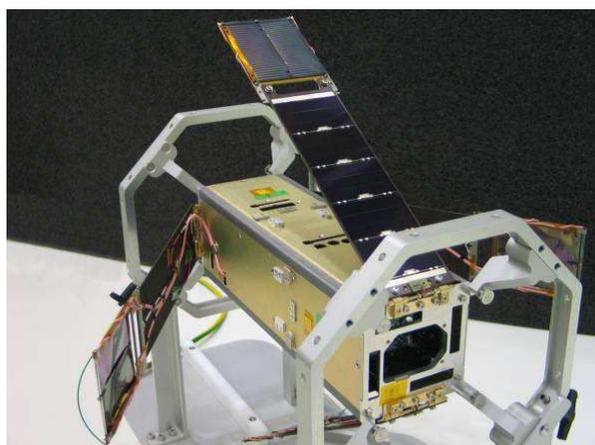


Figura 2.2 - Exemplo de projeto utilizando o padrão CubeSat 3U (Delfi-C3).

Fonte: UBBELS et al., 2007.

Outra contribuição importante para os projetos que utilizam o padrão CubeSat está relacionada ao lançamento. As suas dimensões e massa reduzidas permitem que os mesmos sejam lançados de “carona” em lançamentos de satélites maiores, como pode ser visto na Figura 2.3.

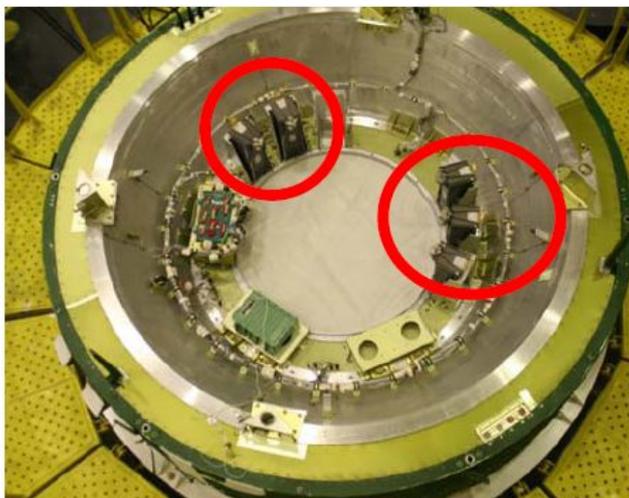


Figura 2.3 - P-PODS montados no veículo lançador russo Dnper.

Fonte: NUGENT et al., 2008.

Para que o procedimento de lançamento fosse possível, foi desenvolvido um dispositivo de interface entre o veículo lançador e os CubeSats chamado P-POD (*Poly-Picosatellite Orbital Deployer*). O seu projeto é relativamente simples consistindo de caixa tubular de alumínio com uma mola que auxilia na ejeção do satélite (Figura 2.4). O P-POD é capaz de acomodar até 3 CubeSats 1U, onde essa característica de combinar múltiplos satélites permite reduções dos custos de lançamento.



Figura 2.4 - P-POD Mk. III desenvolvido pela CalPoly.

Fonte: NUGENT et al., 2008.

Dessa forma, em resumo o P-POD apresenta sete funções:

- Proteger a carga primaria do lançador;
- Proteger o veículo lançador;
- Proteger os CubeSats;
- Segurança de um grupo de lançadores de Cubesats;
- Ejeção dos CubeSats para implantação segura em órbita;
- Aumento da possibilidade de acesso espacial por CubeSats;
- Fornecer uma interface padrão para veículos lançadores.

2.3 MISSÃO NANOSATC-BR - CLIMA ESPACIAL

Baseado no padrão CubeSat 1U, a missão NanosatC-Br – Clima Espacial consiste em um Programa Integrado de Pesquisa Espacial com desenvolvimento de Engenharias, Tecnologias e Ciências Espaciais na forma de um Nanosatélite Científico Brasileiro, o NanosatC-Br. Essa Missão tem como objetivo científico monitorar as regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e do Eletrojato da Ionosfera Equatorial sobre o território Brasileiro (SCHUCH, 2008).

Como objetivos gerais busca-se a capacitação tecnológica das instituições nacionais que participam da missão, além da capacitação de recursos humanos para a realização de pesquisa e desenvolvimento com instrumentação espacial, com concentração na melhoria da qualidade e do nível dos cursos das instituições envolvidas.

Este projeto vem sendo desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE-MCT), em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT-UFSM), localizados na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O projeto envolve alunos de graduação dos cursos de Engenharias Elétrica e Mecânica, Ciência da Computação e Física sob a supervisão e orientação de

pesquisadores e professores das instituições envolvidas.

No desenvolvimento do projeto NanosatC-Br, estudos dos subsistemas que compõem o nanosatélite vem sendo efetuados, a fim de especificar os equipamentos a serem adquiridos junto a empresas especializadas na produção de pequenos satélites. A integração do nanosatélite será feita pelos alunos de graduação envolvidos no projeto, e os testes possivelmente serão realizados no Laboratório de Integração e Testes (LIT), localizado na sede do INPE, em São José dos Campos-SP.

2.3.1 Metas da Missão e Carga Útil

O NanosatC-Br deverá ser lançado em órbita baixa, de preferência com órbita de alta inclinação, com o objetivo científico de monitorar o campo geomagnético e a precipitação de partículas energéticas. O objetivo da missão é observar a Região da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e a Região do Eletrojato da Ionosfera Equatorial sobre o território brasileiro.

O subsistema referente a carga útil, chamado Subsistema Magnetômetro, consistirá de um magnetômetro para medida da intensidade das três componentes do campo magnético da Terra no espaço sobre o território brasileiro, em uma órbita entre 500 e 700 km de altitude. A confirmação da órbita a ser utilizada depende da negociação com o lançador, o qual ainda está sendo definido.

2.3.2 Principais subsistemas do NanosatC-Br

Abaixo são citados os principais subsistemas que compõem o NanosatC-Br com uma breve descrição sobre as suas principais funções pré-estabelecidas no planejamento da Missão, que continuam sob avaliação técnica.

- **Estrutura Mecânica:** Estrutura a qual integrará todos os componentes e dispositivos que compõem o nanosatélite após definida a configuração do NanosatC-Br de acordo com os objetivos da missão.
- **Suprimento de Energia:** O subsistema de suprimento de energia do NanosatC-Br

será responsável pelo fornecimento da energia e potência necessárias para o funcionamento do nanosatélite. Essas tarefas incluem a geração de energia para suprir os demais subsistemas, através da conversão da energia solar a qual será feita por meio de painéis solares com células fotovoltaicas, e o armazenamento de energia em baterias recarregáveis do excedente de energia gerada, para utilização durante o período de eclipse (quando não estiver sendo iluminado pelo sol) ou quando algum subsistema do satélite necessitar de um pico de potência. O subsistema também será responsável pela distribuição e regulagem da energia, além do monitoramento e controle dos níveis de tensão dos terminais da bateria e dos demais subsistemas que necessitarem de alimentação.

- Controle de atitude: O NanosatC-Br poderá ter uma estabilização por rotação (“spin”), sendo um tipo de estabilização passiva. Os requisitos da Missão não implicam em necessidade de controle de atitude tanto para o magnetômetro quanto para o detector de partículas. Entretanto é de valia saber a orientação do satélite em associação com estas medidas quando elas forem tomadas.
- Gestão de Bordo: Este subsistema tem por objetivo processar as informações recebidas ou a serem enviadas para a Terra, assim como as informações internas ao satélite.
- Controle Térmico: É um dos principais subsistemas responsáveis pelo sucesso da Missão, e suas funções são monitorar e controlar a temperatura interna do satélite, as quais sofrem variações bruscas constantemente. A maneira mais adequada para controlar a temperatura interna de satélites miniaturizados é o uso de sistemas passivos, sem o consumo de energia elétrica e com uma relativa independência entre suas partes. Geralmente de baixo custo e grande eficiência, os isolantes, revestimentos externos e micro-tubos de calor são os mais conhecidos e utilizados.
- Comunicação - Telemetria, Rastreo e Comando (TT&C): Para realizar a



telemetria, rastreamento e comando com a estação terrena da missão deverá ocorrer uma comunicação de duas vias (*full duplex*) entre o nanosatélite e a estação terrena. O transmissor deverá ter potência suficiente para estabelecer o enlace de comunicação entre estação terrena e nanosatélite. Para isso, faz-se necessário um levantamento das potências (*link budget*) envolvidas nos enlaces de transmissão e recepção. É necessário que sejam observados também, um número de efeitos adicionais que produzem uma degradação significativa do sinal e variação dos tempos de transmissão e recepção. Estes efeitos incluem chuva, efeitos do terreno como absorção do sinal por muros e árvores e algumas condições do ar e ionosfera, além do efeito do Doppler de deslocamento da frequência.

CAPÍTULO 3

COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES

3.1 INTRODUÇÃO

Este segundo capítulo tem o objetivo de apresentar algumas definições e aspectos técnicos que estão envolvidos em um projeto de sistema de comunicação com satélites. São apresentadas equações simplificadas para cálculo de enlace de comunicação, bem como algumas perdas de propagação que interferem na qualidade dos sinais.

3.2 COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES

A maioria dos satélites, através do subsistema de comunicação, devem receber comandos e dados da Terra para operarem corretamente e retornarem dados de subsistemas e carga útil do satélite para Terra. Esse subsistema chamado de Telemetria, Rastreamento e Comando (TT&C) é projetado para atender as seguintes funções (DE SOUZA, 2008):

- Rastreamento: determina a posição do satélite e segue seu movimento utilizando informações das posições angulares e respectivas velocidades para o correto apontamento das antenas.
- Telemetria: coleta, codifica e transmite medidas de sensores e dados digitais que caracterizam o estado e a configuração do satélite além dos dados obtidos através da carga útil, sendo as telemetrias divididas em telemetria de serviço e telemetria de carga útil, respectivamente.
- Comando: recebe, verifica e executa comandos para o controle remoto das funções do satélite, bem como de sua configuração e movimento, quando há controle de atitude.

3.3 SEGMENTO SOLO

Embora frequentemente o segmento espacial receba maiores atenções durante o projeto e desenvolvimento de uma missão espacial, sem o segmento solo, manter o satélite operando em missões espaciais seria impossível.

O segmento solo é um conjunto de equipamentos e instalações, que a partir do lançamento do satélite, permitem mantê-lo numa órbita desejada realizando uma missão, recebendo os dados obtidos pela carga útil e distribuindo-os aos usuários.

O segmento solo pode ser dividido, como na Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), projeto desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), nos seguintes subseguintos (ROZENFELD, 1984):

- Estação Terrena (ET): é o elo de ligação entre o segmento solo e o satélite, onde estão localizados os equipamentos necessários para recepção dos dados enviados pelo satélite, tais como antenas e seus posicionadores;
- Rede de Comunicação: interliga os demais subseguintos, distribuindo os dados para os usuários e controladores do satélite;
- Centro de Controle (CC): é o elemento do segmento solo do qual se monitora e controla o estado e as funções do satélite;
- Centro de Missão (CM): é o elo de ligação entre o segmento solo e o usuário dos dados coletados pela carga útil do satélite;
- Instalações da Base de Lançamento.

Esses subseguintos são encontrados de forma distribuída em grandes projetos, nos quais é previsto um grande volume de dados a serem transmitidos e necessidade de garantia quanto ao sucesso da missão. Essas necessidades geram um aumento dos recursos a serem disponibilizados para o desenvolvimento e implementação da estrutura de comunicação para o suporte das missões, o que difere do padrão CubeSat. Dessa

forma, para a Missão NanosatC-Br será desenvolvida uma Estação Terrena de Comunicação responsável pela comunicação e rastreamento do satélite, apresentando os seus subsegmentos (com exceção da base de lançamento) concentrados em um único local.

3.3.1 Estações Terrenas

Uma Estação Terrena (ET) é o elemento do segmento solo que tem como função a comunicação espaço-solo, o rastreamento e a determinação da localização do satélite. A comunicação com o satélite se faz via sistema de rádio enlace através da propagação de ondas eletromagnéticas.

A comunicação espaço-solo depende da direção de transmissão e do conteúdo da informação, devido aos diferentes tipos de equipamentos usados na comunicação espaço-solo em cada uma das direções. O enlace de comunicação espaço-solo é dividido em comunicação do solo para o satélite, sendo chamada de Telecomando (TC) ou ainda de *uplink*, e comunicação do satélite para o solo, sendo chamada de Telemetria (TM) ou *downlink*, podendo essa última apresentar o status dos diversos subsistemas do satélite (telemetria de serviço), além da transmissão dos dados coletados pela carga útil.

Uma Estação Terrena tem como principais funções:

1. rastrear o satélite durante sua passagem sobre a ET;
2. transmitir os telecomandos (TC) ao satélite;
3. receber a telemetria (TM);
4. gravar dados de TM;
5. monitorar e controlar os equipamentos e configuração da ET.

3.4 CARACTERÍSTICAS DA COMUNICAÇÃO COM SATÉLITES

Os sistemas de comunicação com satélites apresentam muitas semelhanças com os desenvolvidos para comunicação em terra. Porém alguns fatores como baixa potência do sinal a ser recebido, interferência do sinal oriunda das camadas terrestres (Ionosfera),

efeito Doppler de deslocamento de frequência, causam interferência e devem ser observados nos projetos.

A seguir alguns desses fenômenos e fatores são listados e a forma de considerá-los em um projeto de comunicação com satélites é apresentada através de equações simplificadas.

3.4.1 Equações de propagação

A equação básica para propagação de ondas de rádio entre a estação terrena e o satélite, parte da equação de Friss para o espaço livre (GRIFFITHS, 1987), para potências expressas em Watts (W).

$$P_R = G_t G_R \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (3.1)$$

Duas circunstâncias são analisadas, uma para o enlace de comunicação de subida (*uplink*) e outra para o enlace de comunicação de descida (*downlink*).

As equações podem ser escritas para valores em decibel (dB) para o caso de *uplink* como:

$$P_r = P_T + G_T + G_r - L_{su} \quad (3.2)$$

Onde P_r é a potência recebida pelo satélite, P_T é a potência do transmissor da estação terrena, G_T é o ganho da antena transmissora da estação terrena, G_r é o ganho da antena receptora e L_{su} são as perdas no espaço livre para o *uplink*.

E para os valores em dB no caso de *downlink* como:

$$P_R = P_t + G_t + G_R - L_{sd} \quad (3.3)$$

Onde P_R é a potência recebida pelo estação terrena, P_t é a potência do transmissor do satélite, G_t é o ganho da antena transmissora do satélite, G_R é o ganho da antena receptora da estação terrena e L_{sd} são as perdas no espaço livre para o *downlink*.

3.4.2 Distância real do satélite

Alguns parâmetros referentes a propagação de ondas de rádio, como por exemplo o nível de potência do sinal recebido, dependem da distância entre o satélite e o receptor/transmissor da estação terrena. A equação que determina a distância real entre o satélite e a estação terrena relaciona a altitude da órbita do satélite com o ângulo de elevação da antena da estação terrena, como apresentado na equação 2.4.

$$R = \sqrt{R_E^2 + h^2 - R_E^2 \cos^2 \alpha} - R_E \sin \alpha \quad (3.4)$$

Onde, R_E é o raio da Terra (6378km no equador), h é a altitude do satélite na posição acima da estação terrena, α é o ângulo de elevação da antena da estação terrena apontando diretamente para o caminho do satélite, e R é a distância real do satélite a estação terrena, conforme é ilustrado na Figura 3.1.

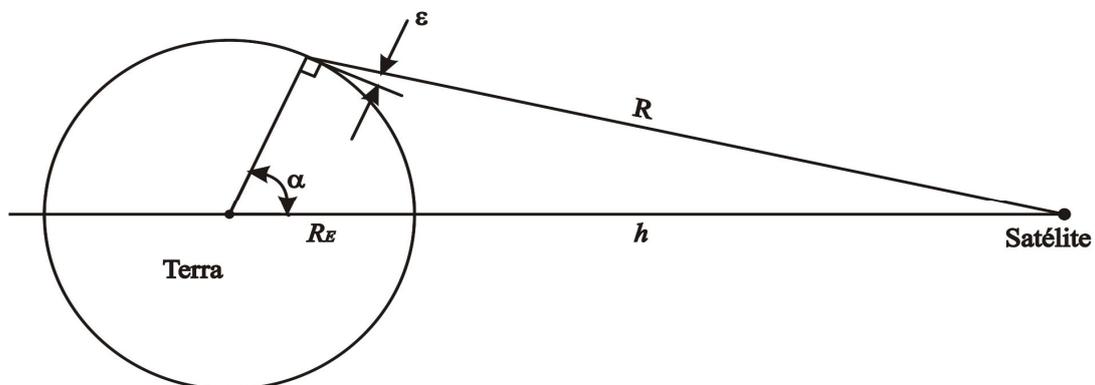


Figura 3.1 - Representação da geometria típica de comunicação com satélites

Fonte: Adaptado de HOFFMAN, 1994.

3.4.3 Efeito Doppler de deslocamento da Frequência

O efeito Doppler de deslocamento da frequência (Δf) ocorre devido a velocidade de deslocamento do satélite em relação a estação terrena, principalmente em órbitas baixas. Dessa forma, enquanto a distância do satélite (R) afeta a magnitude do sinal recebido a velocidade relativa afeta a frequência do sinal recebido.

O deslocamento da frequência por efeito Doppler é proporcional a razão da

mudança da distância real do satélite a estação terrena, e é determinado por (HOFFMAN, 1994):

$$\Delta f = \frac{-f_t}{c} \frac{dR}{dt} \quad (3.5)$$

Onde, f_t é a frequência da onda transmitida (Hz), c é a velocidade de propagação da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s) e $\frac{dR}{dt}$ é a velocidade relativa de aproximação (m/s).

Se o satélite está se aproximando da estação terrena, a velocidade relativa do satélite produz um deslocamento em frequência positivo, e a frequência recebida (f_r) é maior que a frequência transmitida (f_t). Por outro lado, se o satélite estiver se afastando da estação terrena a velocidade relativa irá produzir um deslocamento em frequência negativo, determinando que a f_r será menor que a f_t .

3.4.4 Potência Efetiva Isotropicamente Irradiada (EIRP)

A densidade de potência por unidade de ângulo sólido (esfero-radianos) irradiada por uma antena isotrópica, gerada por uma fonte de potência P_t , é determinada por (DA SILVA et al., 2004):

$$S = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (3.6)$$

Em uma direção onde o valor do ganho da antena de transmissão é G_t , essa relação torna-se:

$$S = \frac{G_t P_t}{4\pi r^2} \quad (3.7)$$

O produto do ganho da antena transmissora pela potência transmitida é chamado Potência Efetiva Isotropicamente Irradiada (EIRP), e é expresso em Watts (W). Quando expresso em decibéis, esse valor é normalmente indicado em dB_i , onde o índice i refere-se a uma antena isotrópica ideal.

3.4.5 Perdas do sinal transmitido

Através da definição de Potência Recebida (P_R) pode-se definir a Perda em Espaço Livre (L_{FS}) como sendo a taxa entre a potência recebida e a potência transmitida entre duas antenas isotrópicas. A perda LFS é definida por:

$$L_{FS} = \frac{4\pi R^2}{\lambda^2} \quad (3.8)$$

Apesar da perda em espaço livre (L_{FS}) ser altamente significativa no cálculo do enlace, na prática deve-se levar em conta outras perdas adicionais no sistema. Dentre estas perdas podem ser destacadas a perda atmosférica, as perdas por efeito da chuva, e as perdas do sistema referentes aos equipamentos envolvidos no enlace, as quais já vêm sendo analisadas pela equipe do projeto, porém não foram consideradas para análise do enlace neste momento.

CAPÍTULO 4

PROJETO DE ESTAÇÕES TERRENAS PARA PEQUENOS SATÉLITES

4.1 INTRODUÇÃO

Para melhor avaliar as possibilidades de implementação da Estação Terrena para a Missão NanosatC-Br – Clima Espacial é apresentado neste capítulo uma revisão bibliográfica de dois projetos de ETs implementadas para missões utilizando pequenos satélites. Foram escolhidos projetos que apresentassem alguns detalhes dos equipamentos utilizados e as suas principais características. Também são os projetos que mais se aproximam das ideias iniciais do Projeto NanosatC-Br.

4.2 SUBSISTEMAS DE COMUNICAÇÃO UTILIZADOS POR CUBESATS

O desenvolvimento do subsistema de comunicação de nanosatélites pode ser considerado um dos grandes desafios das missões, devido a baixa potência disponível para a transmissão de dados pelo satélite. Dessa forma, o projeto deve ser elaborado visando compensar essas dificuldades através de sistemas de solo com desempenho de recepção adequado.

A maioria das universidades que têm desenvolvido projetos utilizando o padrão CubeSat utilizam frequências de radioamador e modos de comunicação comum a comunidade de radioamadores. Isso possibilita o desenvolvimento com menor custo além da possibilidade de apoio de pessoas com conhecimento em radioamadorismo que disponham de equipamento adequado.

Para o desenvolvimento do subsistema de comunicação de um projeto utilizando o padrão CubeSat, três possibilidades têm sido adotadas:

- Comprar o transceptor e os dispositivos conhecidos como *Commercial Off the Shelf (COTS)*;

- Comprar um sistema projetado para comunicação terrestre e modifica-lo adequando-o para as condições espaciais;
- Ou projetar e desenvolver um sistema através de componentes individuais.

Transceptores e dispositivos de comunicação *Commercial Off the Shelf (COTS)* são equipamentos que são desenvolvidos e comercializados por empresas especializadas e são comercializados através de encomenda, podendo o equipamento ser específico para cada projeto. Esses equipamentos proporcionam um menor tempo de execução do projeto, além do fato de que algumas empresas proporcionam alguns ajustes nos equipamentos padrões de acordo com as necessidades de cada missão.

A maioria das Universidades tem adotado a técnica de obter os *COTS* e agregar tecnologias próprias conforme necessidade. Dessa forma alia-se confiabilidade do sistema a experiências de novas tecnologias ao subsistema de comunicação.

4.3 MISSÃO CANX-2

O CanX-2 foi o segundo nanosatélite lançado dentro do Programa *Canadian Advanced Nanospace eXperiment (CanX)* do *University of Toronto Institute for Aerospace Studies (UTIAS)*, desenvolvido pelo *Space Flight Laboratory (UTIAS/SFL)*. O satélite CanX-2 tinha como objetivo principal avaliar novas tecnologias que serão utilizadas nas missões CanX-4 e CanX-5, tais como sistema de controle de atitude nos três eixos e um sistema de propulsão a gás frio (TULI et al., 2006). A Figura 4.1 apresenta a representação do satélite desenvolvido.

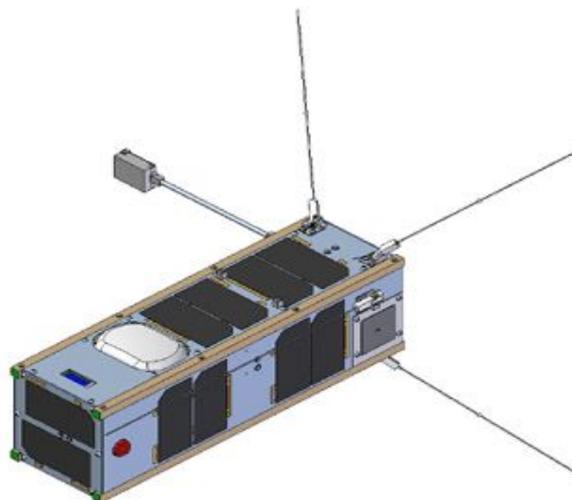


Figura 4.1 - Ilustração do nanosatélite CanX-2 desenvolvido pelo *Space Flight Laboratory* (UTIAS/SFL) da *University of Toronto Institute for Aerospace Studies* (UTIAS), em Toronto, Canadá.

Fonte: <http://www.utias-sfl.net/nanosatellites/CanX2>

Para dar suporte ao CanX-2 e futuras missões utilizando nanosatélites, uma estação terrena foi desenvolvida e localizada no prédio do SFL em Toronto. Como parte de um programa de desenvolvimento de nanosatélites, o projeto da estação terrena tinha que ajustar-se dentro da estrutura de baixo custo proposta pelo padrão de desenvolvimento de pequenos satélites e ainda possibilitar o suporte a múltiplas missões.

Para atender essas necessidades a estação terrena da missão CanX-2 foi projetada para ser modular, possibilitando que futuros *upgrades* em alguma parte do sistema de solo tivessem um efeito mínimo sobre os outros sistemas. A estação terrena desenvolvida caracterizou-se por um conjunto de componentes conhecidos como *Commercial Off the Shelf (COTS)* e também alguns componentes customizados, usados quando os *COTS* eram excessivamente caros ou funcionalmente inadequados.

A estação terrena devia ser capaz de suportar comunicação através de canais de comunicação em Banda-S (somente *downlink*), UHF (bidirecional) e VHF (somente

downlink) para atender a todos os objetivos da missão. O diagrama de blocos da Figura 4.2 apresenta um resumo dos vários componentes de hardware e software que compõem a estação terrena implementada. Na sequência, um resumo com alguns detalhes do sistema de comunicação de bordo e de solo da missão CanX-2 é apresentado.

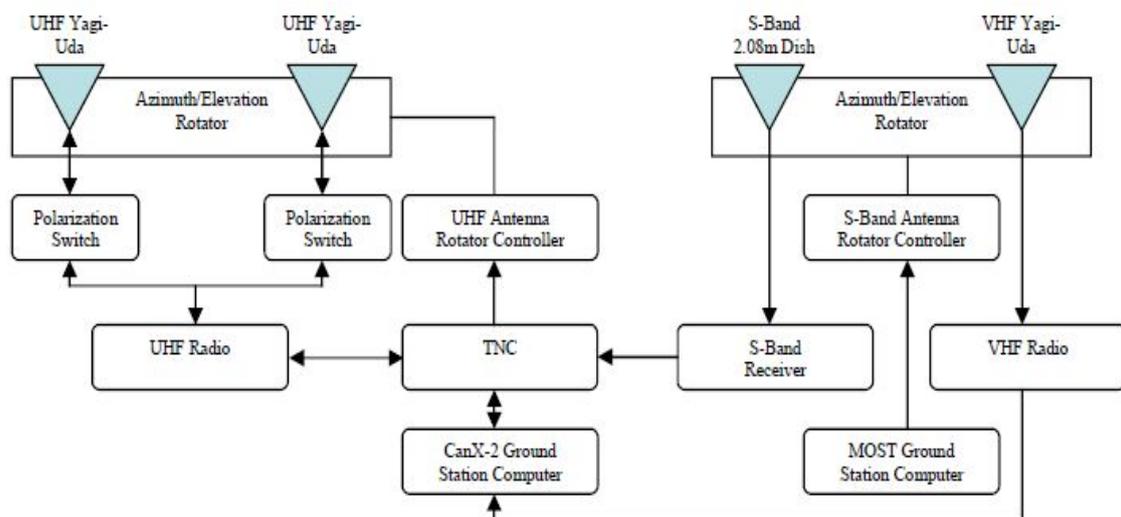


Figura 4.2 - Diagrama esquemático da estação terrena desenvolvida para o projeto do nanosatélite CanX-2.

Fonte: TULI et al., 2006.

4.3.1 Sistema de comunicação de bordo

O rádio UHF a bordo do CanX-2 permitia transferência bidirecional *half-duplex* de dados entre o satélite e a estação terrena. A comunicação em UHF em ambas as direções (*uplink* e *downlink*) ocupavam um canal de 35kHz na faixa de comunicação de radioamadores com uma taxa de transmissão de dados próxima à 4kbps. O amplificador de potência entregava 1W de potência para as 4 antenas monopolo que estão arranjadas de forma cruzada no satélite de maneira a fornecer um diagrama de radiação aproximadamente omnidirecional.

O transmissor de baixa potência de Banda-S (0,5W) foi usado para o *downlink* de grande volume de dados. As frequências de Banda-S, usadas para transmissão, estão

alocadas na faixa de banda científica, e foram coordenadas através da União Internacional de Telecomunicações (ITU). O transmissor de Banda-S era capaz de variar a velocidade de *downlink* entre 16kbps e 256kbps. Duas antenas para transmissão desses dados estão posicionadas em lados opostos do satélite, também fornecendo um diagrama de radiação aproximadamente omnidirecional.

O sinal VHF de *beacon* é destinado a auxiliar na identificação do satélite, na localização e principalmente no rastreamento no período imediatamente após o lançamento. O *beacon* opera na faixa VHF de frequências amadoras e transmite um sinal em código Morse que inclui o sinal de chamada ao SFL (VA3SFL), a tensão de barramento do satélite, a temperatura e a hora. O sinal de *beacon* pode ser recebido por qualquer estação terrena que disponha do equipamento de radioamador apropriado e seria permanentemente desativado após o fim da missão CanX-2.

4.3.2 Antenas da ET

A estação terrena do CanX-2 usa dois tipos de antenas, parabólica e Yagi-Uda.

A antena parabólica de 2,08m com uma polarização circular direita é usada para receber o sinal enviado pelo satélite em Banda-S. A antena parabólica foi manufaturada pela *Andersen Manufatura* e oferece um ganho de 32dBic.

Uma das antenas Yagi-Uda é usada para receber um sinal de *beacon* enviado pelo satélite em VHF, o qual tem a finalidade de preparar o sistema de comunicação para operação. A Figura 4.3 apresenta a estrutura das antenas para comunicação em VHF e Banda-S.



Figura 4.3 - Estrutura das antenas para comunicação em VHF e Banda-S do nanosatélite CanX-2 instaladas no topo do prédio principal da UTIAS em Toronto, Canadá.

Fonte: TULI et al., 2006.

Duas antenas Yagi-Uda de 42 elementos polarizadas circularmente (com polarização chaveada) são utilizadas para receber e transmitir sinais em UHF (435 MHz). Essas duas antenas são combinadas em fase para fornecer um ganho total de 21dBic. A Figura 4.4 apresenta as antenas para comunicação em UHF.

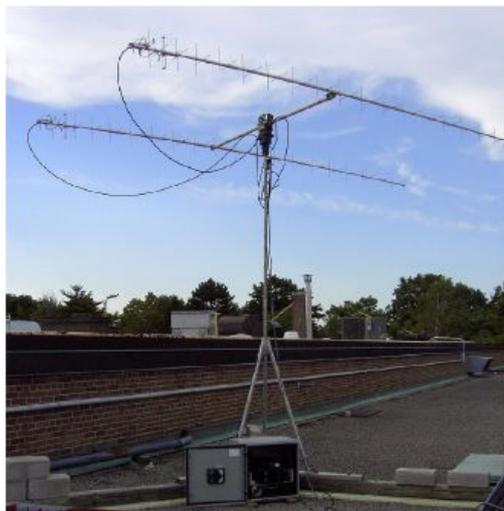


Figura 4.4 - Estrutura das antenas para comunicação em UHF instalada no topo do prédio principal da UTIAS em Toronto, Canadá.

Fonte: TULI et al., 2006.

4.3.3 Rádios

Três rádios são utilizados na estação terrena do CanX-2, um para cada canal de comunicação. O sinal na Banda-S é enviado para um receptor comercial de alto desempenho, o PSM-4900 fabricado pela Datum Systems. Um rádio transceptor amador modelo Yaesu FT-897 *half-duplex* é usado para o link UHF. O rádio utilizado para comunicação em VHF é do modelo Yaesu FT-847.

4.3.4 Posicionador das Antenas e Controle

A estação terrena utilizada para a missão CanX-1 tinha muitas preocupações de confiabilidade com o equipamento comercial de apontamento das antenas e seu controle. Para resolver esta preocupação, o projeto CanX-2 utiliza um posicionador (atuador) desenvolvido por radioamadores enquanto os equipamentos e aplicativos de controle são customizados e desenvolvidos no próprio laboratório.

O posicionador, manufaturado pela *AlfaSpid Radio*, é projetado para variação completa dos ângulos de azimute e elevação. Além da sua estrutura reforçada, esse posicionador foi escolhido por muitas outras razões.

Primeiro ele fornece o deslocamento completo de 180° no eixo de elevação, simplificando bastante o algoritmo de controle. O posicionador também tem como característica interruptores de limite nos eixos que automaticamente cortam a potência do motor no evento de um sobredeslocamento (aproximadamente 10° em cada extremo).

Entretanto, algumas modificações foram necessárias no posicionador do eixo de azimute. Como o posicionador é manufaturado, ele não fornece detecção de limite, elétrico ou mecânico, neste eixo em particular. Para atender a essa necessidade funcional, um par de pequenos micro-interruptores (tipo fim de curso) foram empregados para prevenir sobredeslocamento e para cortar a potência do motor nesta direção (instalação essa semelhante a encontrada no eixo de elevação).

Esses interruptores de limite de sobredeslocamento também servem como um

recurso para recalibrar e zerar o posicionador. Para isso, é preciso simplesmente mover o posicionador em ambos os eixos até que o interruptor de limite é atingido dando um ponto de referência conhecido para a direção de apontamento atual da antena. Isto pode ser feito periodicamente para combater o acúmulo de erros de posição.

O controle do posicionador é realizado através de uma projeto customizado utilizando um microcontrolador, o qual possibilita uma maior flexibilidade, confiabilidade e baixo custo comparado a outros controladores disponíveis comercialmente. O controlador utiliza um microcontrolador 8 bits simples (Atmega32), o qual faz a interface para a aceitação dos comandos de giro entre os interruptores de posição do posicionador, o computador do TNC da estação terrena, e os controladores do motor usados para acionar os posicionadores.

4.3.5 Terminal Central de Controle

O ponto central de controle da estação terrena é o Terminal Central de Controle, com a sigla TNC (*Terminal Node Control*). Este dispositivo é responsável por controlar os equipamentos da estação terrena (rádios, posicionadores de antenas, entre outros) desempenhando cálculos de órbita do satélite necessários para previsão de posição do satélite e para apontamento das antenas, bem como preparando e processando dados que serão transmitidos entre o computador da estação terrena e o satélite. Alguns aplicativos foram desenvolvidos em linguagem C para atender estas tarefas.

O hardware para o TNC compreende um computador de placa (*Single Board Computer - SBC*) comercial (ARM 200MHz) fabricado pela *Technological Systems* rodando em sistema operacional Linux conectado a uma placa de controle desenvolvida pela equipe do projeto. A placa de controle foi desenvolvida com o objetivo de adicionar funcionalidade ao *SBC* necessária para tornar o TNC completo. A Figura 4.5 mostra o controle da placa do TNC.

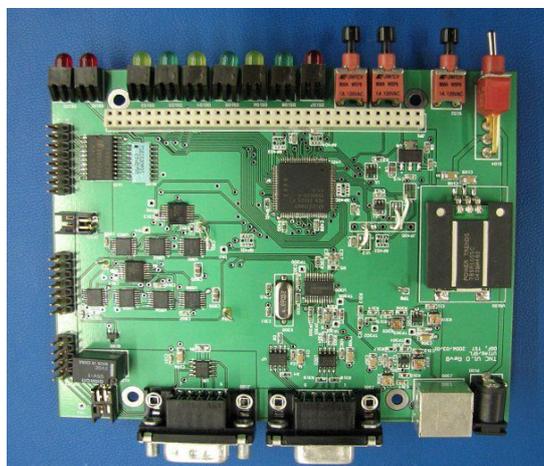


Figura 4.5 - Placa de controle do terminal de controle central (TNC) da estação terrena implementada pelo projeto CanX-2.

Fonte: TULI et al., 2006.

Como interface com o usuário na parte frontal da placa de controle há 8 LEDs e 3 botões. Cada LED fornece informações do *status* do *TNC* de forma rápida através de uma simples inspeção. Estas informações incluem se está ocorrendo a passagem do satélite, transmissão e recepção de dados, condições do posicionador da antena, erros e outras variáveis de interesse. Os botões quando pressionados em conjunto podem ser utilizados para sinalizar que um *firecode* será transmitido para o satélite. *Firecodes* também podem ser enviados através de comandos TCP/IP.

4.3.6 Protocolo de comunicação

Para facilitar a comunicação entre a estação terrena e o nanosatélite, um protocolo de comunicação para o nanosatélite foi desenvolvido pelo *Space Flight Laboratory*. O protocolo é baseado do protocolo amador AX.25 muito utilizado pela comunidade do radioamadorismo. O protocolo foi projetado para ser simples a fim de minimizar o pacote de cabeçalho (*packet overhead*), maximizando a utilização efetiva da largura de banda.

Cada pacote do protocolo consiste de um cabeçalho que contém um byte de destino, um byte de fonte, cinco bits de comando, um bit de confirmação (*acknowledge*

bit), bit de correlação de pacote, um bit de resposta (*reply bit*). Portanto, cada pacote do protocolo tem três bytes de cabeçalho seguidos de 256 bytes adicionais de dados (Figura 4.6).

Endereço de destino	Endereço de fonte				Comando	Dados
1 byte	1 byte	1 bit	1 bit	1 bit	5 bits	Variável: 0 - 256 bytes

Figura 4.6 - Estrutura do pacote de dados do protocolo de comunicação AX.25 utilizado pelo projeto CanX-2.

4.4 DELFI-C3 NANOSATÉLITE

O Delfi-C3 é um nanosatélite estudantil desenvolvido na *Delft University of Technology*, por um grupo de alunos dos cursos de Engenharia Aeroespacial, Engenharia Elétrica, Matemática e Ciência da Computação. O projeto, baseado no padrão CubeSat 3U, foi iniciado em novembro de 2004 e o nanosatélite foi lançado em abril de 2008 a bordo do veículo lançador PSLV da Índia, operando até o início do ano de 2009.

O nanosatélite foi lançado com o objetivo de testar novas tecnologias a bordo do satélite, tais como, um filme fino de célula solar, um sensor solar autônomo e um transceptor avançado de alto desempenho para utilização em pico e nanosatélites (BREUKELEN et al., 2006). Uma representação do nanosatélite Delfi-C3 é mostrada na Figura 4.7.



Figura 4.7 - Ilustração do nanosatélite Delfi-C3 desenvolvido pela *Delft University of Technology*, em Delft, Holanda.

Fonte: BREUKELEN et al., 2006.

O Delfi-C3 fez uso de bandas de frequências destinadas ao radioamadorismo para *uplink* e *downlink*. Como retorno para comunidade radioamadora foi incluído um transponder linear em modo de baixa potência, com largura de banda de 40kHz, que permitia a comunicação entre radioamadores ao redor do mundo. Também foi disponibilizado o aplicativo computacional que permitia os radioamadores decodificar os dados recebidos do nanosatélite, visualizar e enviar as informações para estação terrena de comando em Delft.

O primeiro sinal do Delfi-C3 foi recebido por um radioamador da Califórnia as 06:45 UTC do dia 28 de abril de 2008, pouco menos de três horas após o seu lançamento. O primeiro contato com a estação terrena TU Delft ocorreu as 11:55 UTC do mesmo dia. Após a recepção dos dados as análises iniciais mostraram que o nanosatélite estava operando dentro das condições esperadas. A seguir alguns itens que compõem o subsistema de comunicação do projeto são apresentados.

4.4.1 Subsistema de comunicação

O subsistema de comunicação realizou duas funções. Primeiramente, forneceu a

funcionalidade de *downlink* e *uplink*, além disso ele forneceu o serviço de transponder linear, o qual pode ser utilizado para comunicação entre radioamadores. O *uplink* do satélite foi alocado na faixa de frequências UHF destinadas a radioamadores (435-438MHz) e o *downlink* na faixa de frequências VHF também destinadas a radioamadores (145-146MHz). O *downlink* utilizou modulação BPSK 1200 bits/s, usando o protocolo de comunicação padrão amador AX.25.

A modulação BPSK foi escolhida porque requer baixa relação E_b/N_0 (relação sinal ruído) para fornecer a taxa de erro de bit necessária. A decodificação BPSK pode ser feita facilmente utilizando a placa de som do computador, limitando assim o total de equipamentos requeridos para radioamadores receberem a telemetria do Delfi-C3. Os alunos do Delfi-C3 desenvolveram um aplicativo computacional que permitia a visualização da telemetria em tempo real pelos radioamadores que captassem o sinal. Além disso, o aplicativo fornecia a possibilidade de enviar os dados de telemetria para a estação terrena de comando em Delft para processamento adicional.

As seguintes frequências para a comunicação do Delfi-C3 foram coordenadas através da União Internacional de Radioamadores (IARU):

- *Downlink* primário: 145,870 MHz; BPSK 1200 Bauds; AX.25; 400mW.
- *Downlink* (backup): 145,930 MHz; BPSK 1200 Bauds; AX.25; 400mW.
- Linear transponder *downlink*: 145,880 – 145,920 MHz; 400mW PEP.
- Linear transponder *uplink*: 435,530 – 435,570 MHz.
- Transponder modo *beacon*: 145,870 MHz Código Morse (CW) (10dB abaixo do transponder PEP).

O subsistema de comunicação consiste de dois sistemas transeptores idênticos, onde um inclui o circuito do transponder e o outro inclui o experimento de um amplificador de potência de alta eficiência ATRX. O subsistema foi construído usando componentes padrões *Commercial-off-the-shelf* (COTS). O transponder linear muda

uma banda larga de 40kHz em UHF para banda em VHF, fornecendo muita flexibilidade ao sistema, o qual pode ser usado por rádio amadores utilizando uma grande variedade de esquemas de modulação.

O esquema de modulação para *uplink* utilizado foi o Manchester FSK 1200 Bauds, permitindo o uso de um simples *chip* receptor de FM o qual adicionou a vantagem de fornecer uma tolerância ao efeito Doppler. Um detalhe interessante é que o receptor a bordo do satélite foi mantido sempre ligado.

4.4.2 Antenas de Bordo

Para as antenas o maior ganho foi obter um projeto aproximadamente omnidirecional, devido ao fato do satélite não dispor de nenhum sistema de controle de atitude ativo. O sistema das antenas consiste de coletores de um-quarto de onda, quatro para o *downlink* e quatro para o UHF *uplink*.

As antenas são feitas de fitas de aço medindo 6mm de largura e são acomodadas em dispositivo chamado de “caixa de antenas modular”. As antenas tem casamento de impedâncias em 50ohms.

Elas são conectadas em ambos transceptores via um circuito de sincronização consistindo de um cabo coaxial híbrido de 90° e dois acopladores, tais como acopladores comerciais de 180° feitos de componentes discretos LC. Embora um acoplador discreto LC geralmente exiba perdas maiores que seu cabo coaxial, sua escolha foi justificada devido as suas pequenas dimensões. Além disso a escolha do circuito tem uma função de um filtro, apresentando a supressão da terceira harmônica do *downlink* em 145MHz de mais de 40dB.

4.4.3 Segmento solo

O segmento solo é dividido em três partes: a rede distribuída de estações terrenas formada por radioamadores, uma rede mundial de estações terrenas de universidades e a estação terrena de comando da Delft localizada na Universidade de Tecnologia de Delft.

O satélite Delfi-C3 transmitia seus dados de telemetria em quadros AX.25. O aplicativo computacional de decodificação dos dados de telemetria esteve disponível para participação de radioamadores, onde dessa forma os dados de telemetria podiam ser decodificados e processados localmente. Estes dados então eram enviados para a estação terrena de comando centralizada na Delft por meio da internet para maiores análises.

Em discussões dos integrantes do projeto Delfi-C3 com outras Universidades envolvidas no desenvolvimento de nanosatélites, ficou claro que a partilha de recursos de estações terrenas seria muito benéfico. O objetivo final dessa rede seria criar uma cobertura mundial, devido ao fato de que os nanosatélites são lançados em órbita baixa (por volta de 600km) o que implica em um curto tempo de visibilidade por suas estações terrenas de comando. Dessa forma a *Delft University* tem participado ativamente da criação dessa rede através do projeto GENSO (*Global Educational Network System Operational*).

A Figura 4.8 apresenta a arquitetura proposta para comunicação do nanosatélite Delfi-C3, com sua cobertura global e comando da estação terrena central em Delft.

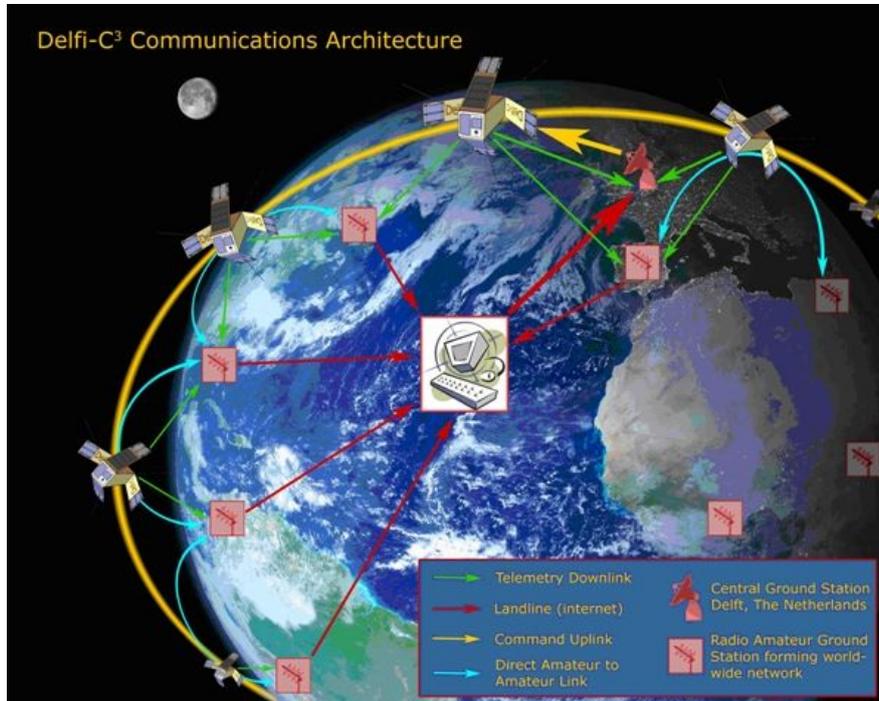


Figura 4.8 - Arquitetura proposta para o sistema de comunicação do nanosatélite Delfi-C3.

Fonte: <http://www.delfic3.nl/images/stories/Ground%20Segment/ground%20segment.jpg>

4.4.4 Estação Terrena de Comando

A estação terrena é composta de duas estações redundantes, cada uma consistindo de um transceptor ICOM IC910h sob controle de um computador, um posicionador de antenas LVB (gentilmente doado pela AMSAT-UK) e modems para várias taxas de transferência de bits e esquemas de modulação. Cada estação terrena tem sua própria fonte ininterrupta de energia.

O sistema de antenas consiste de duas antenas Yagi polarizadas circularmente, uma para a faixa de frequência de rádio amador em 145MHz e outra para 435MHz.

As antenas e o posicionador foram montados sobre o telhado do prédio mais alto em Delft e são mostrados na Figura 4.9. Já a Figura 4.10 mostra os equipamentos da estação terrena redundante que foi instalada em Eindhoven, a fim de aumentar a confiabilidade do sistema.



Figura 4.9 - Antenas UHF e VHF montadas sobre um posicionador no telhado do prédio mais alto em Delft, Holanda.

Fonte: BREUKELEN et al., 2006.



Figura 4.10 - Equipamentos da estação terrena redundante de comando do nanosatélite Delfi-C3 instalada em Eindhoven, Holanda.

Fonte: BREUKELEN et al., 2006.

CAPÍTULO 5

USO E REGULAMENTAÇÃO DE RADIOFREQUÊNCIAS E O SERVIÇO DE RADIOAMADOR

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar as principais instituições nacionais e internacionais que regulamentam o uso da radiofrequência. Além disso é apresentado como a comunidade CubeSat tem se relacionado e utilizado os recursos do radioamadorismo para facilitar o desenvolvimento e implementação das estações terrenas de comunicação.

5.2 REGULAMENTAÇÃO DO USO DA RADIOFREQUÊNCIA

Para maximizar o uso do espectro de frequências e minimizar o nível de interferência, instituições internacionais e nacionais através de tratados, leis e normas, regulamentam as faixas de frequência e a elas atribuem finalidades. A União Internacional de Telecomunicações (ITU) e a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) são as instituições que atuam no Brasil com esse fim.

5.2.1 União Internacional de Telecomunicações

A União Internacional de Telecomunicações (ITU) divide o globo terrestre em três regiões, conforme o mapa mostrado na Figura 5.1, para fins de administração do espectro de radiofrequências. As atribuições definidas para as faixas de radiofrequências são aprovadas em assembleias por representantes dos países membros, durante as conferências mundiais, realizadas periodicamente na sede da ITU em Genebra na Suíça.

A Região 2 é constituída pelas administrações dos países das Américas, entre os quais está o Brasil.

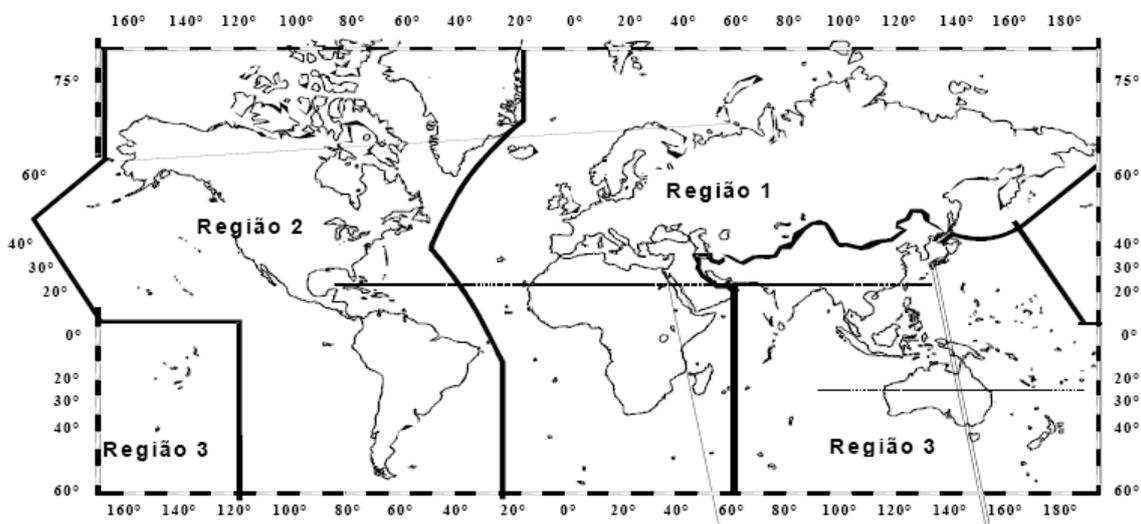


Figura 5.1 - Divisão das regiões para administração das Faixas de Frequência Segundo a União Internacional de Telecomunicações (UIT)

Fonte: ANATEL, 2008.

5.2.2 Regulamentação das Faixas de Frequência no Brasil - ANATEL

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), é uma entidade integrante da Administração Pública Federal vinculada ao Ministério das Comunicações, que foi criada pela Lei 9.472, de 16 de julho de 1997, como órgão regulador das telecomunicações do Brasil.

A ANATEL define radiofrequência como a faixa do espectro eletromagnético de 9 kHz a 300 GHz utilizada na radiocomunicação, sendo um recurso limitado, constituindo-se em bem público. Na administração do espectro de radiofrequências são observadas as atribuições das faixas de frequência definidas em tratados e acordos internacionais, aprovados na União Internacional de Telecomunicações (ITU).

Conforme disposto em Lei, a ANATEL é responsável por editar e atualizar anualmente o Plano de Atribuição, Distribuição e Destinação de Radiofrequências, o qual contém o detalhamento do uso das faixas de radiofrequências associadas aos diversos serviços e atividades de telecomunicações no Brasil.

A elaboração deste Plano apresenta como principais objetivos:

- Atribuir faixas de frequências, segundo tratados e acordos internacionais;
- Atender o interesse público;
- Desenvolver as telecomunicações brasileiras;
- Facilitar a consulta e planejamento do espectro de radiofrequências e a tomada de decisão dos interessados internos e externos à ANATEL.

Dessa forma, as faixas de frequência a serem utilizadas para *uplink* e *downlink* pelo projeto NanosatC-Br devem estar de acordo com a regulamentação da ANATEL.

5.3 SERVIÇO DE RADIOAMADOR

Como tem sido observado no desenvolvimento das pesquisas referentes ao subsistema de comunicação para o NanosatC-Br, a maioria das universidades que têm desenvolvido projetos utilizando o padrão CubeSat têm utilizado frequências alocadas ao serviço de radioamador. Esse fato é explicado devido ao auxílio propiciado pela troca de experiências entre radioamadores experientes e iniciantes, bem como aos menores custos com os equipamentos para comunicação de solo.

Devido a necessidade de compatibilidade do sistema de comunicação do NanosatC-Br com os sistemas de comunicação que vêm sendo desenvolvidos por outros projetos, principalmente pela necessidade de auxílio para um primeiro contato após o lançamento, pretende-se desenvolver uma estação terrena também alocada nas faixas de radioamadorismo.

Para isso, é importante conhecer as instituições que reúnem os radioamadores e que têm auxiliado os estudantes que desenvolvem satélites miniaturizados, bem como a sua representação no Brasil.

5.3.1 Organizações de radioamadores

Algumas organizações internacionais de radioamadores, como a *Internacional Amateur Radio Union (IARU)* e a *Radio Amateur Satellite Corporation (AMSAT)*, têm participado e auxiliado os desenvolvedores de CubeSats com o planejamento e coordenação das faixas de frequência. A *CalPoly*, uma das precursoras no desenvolvimento de CubeSats, tem aconselhado procurar a comunidade radioamadora local para troca de experiência e apoio no projeto.

A AIRU é uma Federação de sociedades nacionais de radioamadores existente desde 1925, que é apoiada por diversos países ao redor do mundo. Já a AMSAT é uma corporação científica e educacional sem fins lucrativos iniciada em 1969 no distrito de Columbia (EUA), que tem como principais atividades projetar, construir e operar satélites utilizando serviços de satélites radioamadores.

No Brasil a AIRU é representada pela Liga de Amadores Brasileiros de Radio Emissão (LABRE). Entre os objetivos da LABRE, dispostos no seu Estatuto Social, estão promover e estimular o desenvolvimento do radioamadorismo em todos os caminhos, pesquisas científicas e desenvolvimento técnico de seus membros bem como troca de técnicas científicas com entidades com objetivos comuns.

A Figura 5.2 apresenta as instituições nacionais e internacionais que podem auxiliar no desenvolvimento do subsistema de comunicação do NanosatC-Br. Apesar de não estar explícito na figura, a AMSAT apresenta participantes no Brasil.

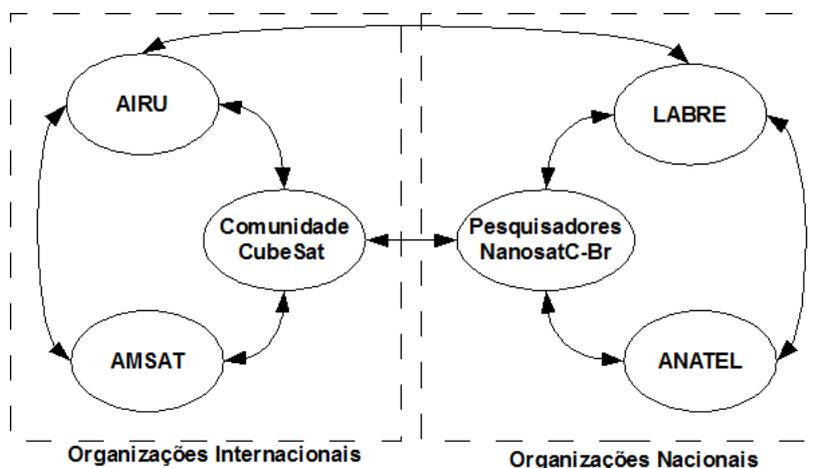


Figura 5.2 - Instituições nacionais e internacionais e suas relações para o auxílio no desenvolvimento do subsistema de comunicação do NanosatC-Br utilizando faixas de frequência reservadas para o serviço de radioamador.

5.3.2 Regulamentação do Radioamadorismo no Brasil

O serviço de radioamador é definido pela ANATEL como o serviço de radiocomunicação com propósitos de desenvolvimento próprio, intercomunicação e investigação técnica feita por amadores, os quais devem ser pessoas autorizadas, e com interesse em radiotécnica somente com objetivos pessoais e sem interesse pecuniário.

Para executar o Serviço de Radioamador no Brasil é necessário que o interessado seja titular de Certificado de Operador de Estação de Radioamador (COER), fornecido pela ANATEL. Para obter o COER é necessário a realização de testes e avaliação da capacidade operacional e técnica para operação da estação, devendo o interessado procurar as unidades operacionais da ANATEL ou as diretorias da LABRE.

O Regulamento do Serviço de Radioamador, aprovado em 2006, estabelece que o COER será concedido aos aprovados em testes de avaliação, segundo as seguintes classes (ANATEL, 2006):

I. Classe "C", aos aprovados nos testes de Técnica e Ética Operacional e Legislação de Telecomunicações;



II. Classe "B", aos portadores de COER classe "C", menores de 18 anos, decorridos dois anos da data de expedição do COER classe "C", e aos maiores de 18 anos, desde que aprovados, nos testes de Técnica e Ética Operacional, Legislação de Telecomunicações e Conhecimentos Básicos de Eletrônica e Eletricidade e Transmissão e Recepção Auditiva de Sinais em Código Morse;

III. Classe "A", aos radioamadores classe "B", decorrido um ano da data de expedição do COER classe "B", e aprovados nos testes de Técnica e Ética Operacional, Legislação de Telecomunicações, Conhecimentos Técnicos de Eletrônica e Eletricidade e Transmissão e Recepção Auditiva de Sinais em Código Morse.

CAPÍTULO 6

ESPECIFICAÇÕES INICIAIS DO SUBSISTEMA DE COMUNICAÇÃO DO NANOSATC-BR

6.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por finalidade apresentar as especificações iniciais dos equipamentos que irão compor o subsistema de comunicação do projeto NanosatC-Br. O subsistema de comunicação de bordo será adquirido junto a uma empresa especializada com o objetivo reduzir as possibilidades de falhas, através da compra de equipamentos já consolidados.

Para estação terrena de comunicação duas possibilidades vêm sendo avaliadas: a primeira é adquirir um *Kit* completo capaz de estabelecer o enlace de comunicação sem a necessidade de alteração nos equipamentos; e a segunda é adquirir alguns equipamentos disponíveis no mercado nacional e modificá-los conforme as necessidades do projeto.

6.2 EQUIPAMENTOS DE BORDO DO SATÉLITE

As especificações dos equipamentos e informações apresentadas neste relatório foram obtidas no endereço eletrônico da empresa fabricante observando especificações iniciais do comando da missão.

6.2.1 Rádio Transceptor

O transceptor de bordo a ser adquirido é o transceptor modelo TRXUV1200A, desenvolvido pela empresa *Innovative Solutions In Space (ISIS)*. Esse transceptor tem capacidade de operação *full-duplex*, *VHF downlink* e *UHF uplink*, de forma que acrescenta capacidade de telemetria, telecomando e *beacon* para a missão através de uma única placa de circuito impresso. Além disso, o transceptor é compatível com o computador de bordo fornecido pela *Clyde Space Ltd. EPS and Pumpkin inc. FM430-*



OBC, o qual também será utilizado na missão.

A seguir são apresentadas as principais características do transceptor:

1. Transmissor VHF:

- Faixa de frequência: 130-160 MHz (Cristal controlado);
- Potência de transmissão: 300 mW (pico), 150 mW (média);
- Modulação: *Raised-Cosine Binary Phase Shift Keying (BPSK)*;
- Taxa transferência de dados: 1200 bps;
- Protocolo: AX.25 (Outros protocolos disponíveis a pedido);
- Modo *beacon* CW (Morse);
- Receiver loopback mode (single channel FM to Double Sideband transponder).

2. Receptor UHF:

- Faixa de frequência: 400-450MHz (Cristal controlado);
- Modulação: *Audio Frequency Shift Keying (AFSK)*, 1200Hz / 2200Hz (Bell202)
- Taxa transferência de dados: 300-1200 bps;
- Sensibilidade: -100dBm, para BER (Taxa de erro de bit) de $10E-5$;
- Comando de codificação AX.25 on-board.

Outras características importantes estão relacionadas a restrição de volume e potência impostas pelo padrão *CubeSat*, as quais são atendidas:

- Massa: 85g;
- Dimensões: 90x96mm, compatível com PC/104 PCB *CubeSat*;
- Potência: < 1,7W (transmissor ligado), < 0,2W (somente receptor ligado).

6.2.2 Antenas de bordo

A ISIS também oferece um sistema de antenas distribuídas, formado por até quatro antenas tipo fita de no máximo 55cm, as quais são liberadas depois da inserção em órbita. A Figura 6.1 apresenta uma representação das antenas para comunicação em UHF e VHF desenvolvidas pela empresa ISIS.

Figura 6.1 - Representação das antenas para comunicação em UHF e VHF desenvolvidas pela empresa ISIS.

Dependendo da configuração, um ou dois rádios no CubeSat podem ser conectados ao sistema por meio de conectores de antenas miniaturizados. Além disso, a face superior do suporte do sistema da antena (se utilizado) pode acomodar painéis solares.

O sistema da antena foi concebido para obter a máxima compatibilidade com os atuais componentes *COTS* utilizados em projetos de CubeSats, sendo compatível com qualquer sistema UHF/VHF de rádio.

Algumas especificações do sistema das antenas:

- Impedância: 50ohm
- Máxima potência: 2W

- Inserção de perdas: 1,5dB
- Faixa de frequência: 130-165MHz (VHF), 390-450MHz (UHF)
- Potência elétrica, nominal/standby: < 20mW
- Potência elétrica durante o funcionamento: 2W
- Massa: <100g (depende da configuração das antenas)
- As antenas estão disponíveis para tensões de alimentação em: 3,3V, 5V, 8V e 12V.

6.3 ESTAÇÃO TERRENA NANOSATC-BR

6.3.1 Estação Terrena VHF/UHF/S-Band desenvolvida pela ISIS

A estação terrena de comunicação foi projetada pela ISIS especificamente para estabelecer contatos com pequenos satélites, tais como *CubeSats*, em órbita baixa usando frequências de radioamadores para uso em ambiente universitário.

Esta estação tem seu projeto baseado na comprovada estação terrena de comunicação da *Delft University of Technology* desenvolvida para o comando do satélite Delfi-C3, a qual vem sendo utilizada com sucesso para fornecer suporte durante missões.

A ISIS pode fornecer uma compacta versão dessa estação terrena que contém todos dispositivos necessários para comunicação com pequenos satélites, apresentando as seguintes características:

- Estação terrena VHF/UHF/S-Band, com antenas orientáveis, a qual pode de forma autônoma rastrear satélites selecionados usando um sistema de orientação de antenas;
- Instalação compacta, onde o equipamento da estação terrena (exceto o sistema da antena) é ajustado dentro de um rack simples 12U-19”;



- Apresenta possibilidade de operação remota através da internet;
- Compatibilidade com a *Global Educational Network Satellite Operation (GENSO)*;
- Antena Yagi VHF – ganho 12dBic;
- Antena Yagi UHF – ganho 16dBic;
- Amplificadores VHF e UHF de baixo ruído;
- Proteção contra raios;
- Faixa de frequência: 144-146MHz, a qual pode ser estendida sob solicitação;
- Terminal central de controle (TNC) para sinais modulados em AFSK, FSK e BPSK, com taxas de transferência entre 1200-9600bps, o qual utiliza protocolo AX.25;
- Fonte de tensão ininterrupta;
- E um computador com o aplicativo de rastreamento do satélite.

Por se tratar da mesma empresa que fornecerá o subsistema de comunicação de bordo, haveria a garantia de compatibilidade entre o subsistema de bordo e o subsistema de solo, acelerando a implementação da estação terrena.

6.3.2 Parâmetros iniciais para o desenvolvimento de uma Estação Terrena

A partir da especificação do subsistema de comunicação de bordo foi possível fazer uma análise da viabilidade de desenvolvimento de uma estação terrena através de equipamentos disponíveis no mercado nacional.

Inicialmente busca-se as especificações dos rádios e antenas a serem utilizados para transmissão e recepção dos sinais enviados ao satélite, onde os parâmetros iniciais observados foram: potência máxima de transmissão e sensibilidade dos rádios, e os ganhos das antenas, as quais serão do tipo Yagi.

Para isso buscou-se identificar e organizar as informações disponíveis, de forma a obter um cálculo simplificado de enlace com o satélite, tanto para *uplink* como para *downlink*. As tabelas a seguir apresentam as informações referentes ao transmissor de bordo do satélite, as estimativas de perda no espaço livre e as estimativas dos parâmetros dos rádios (transmissor e receptor) para estação.

Tabela 6.1 - Informações referentes ao cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br - *Uplink*

Cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br - <i>Uplink</i>		
	Informações do sistema	Resultados obtidos
EIRP mínima Estação Terrena ($EIRP_{ETmín}$)		23,25dBW
Frequência <i>uplink</i> (F_{uplink})	430 – 440MHz	
Altitude do satélite	500 – 700km	
Ângulo de elevação da antena da estação terrena (ϵ)	10°	
Distância entre o satélite e a estação terrena (R)	2155km	
Perdas no espaço livre (L_{FSU})		151, 75dB
Potência mínima recebida pela antena do satélite (P_{rsat})		-128,5dBW
Ganho efetivo da antena do satélite	0dB	
Perdas circuito do satélite (conexão antena - $L_{conexão}$)	1,5dB	
Potência mínima a ser entregue ao receptor do satélite (P_{rmin})		-130dBW
Sensibilidade receptor do satélite	- 100dBm	

A metodologia utilizada para o cálculo de enlace de subida consistiu em determinar as perdas no espaço livre (Equação 3.8) para o intervalo de frequências de 430 a 440MHz (comprimento de onda de 70cm). Considerou-se apenas as perdas no

espaço livre, para uma primeira análise, pois é o parâmetro que apresenta a maior contribuição para atenuação do sinal.

Para determinar a distância real entre o satélite e a estação terrena considerou-se a possibilidade de obter o enlace de comunicação com o satélite a partir de um ângulo de elevação das antenas da estação de 10° . Adotou-se a a altitude do satélite de 700km, e utilizando equação 3.6 obteve-se a distância de aproximadamente 2155km.

Na sequência, em função da sensibilidade do receptor do satélite, que exige que o sinal recebido seja de no mínimo 130dBW, das perdas de conexão da antena do satélite (considerada com características ohminidirecionais) e das perdas no percurso calculadas, estimou-se a potência mínima do sinal a ser irradiado pela antena da estação terrena ($EIRP_{ET\text{mín}}$).

O ganho da antena transmissora da estação terrena está limitado a parâmetros construtivos, havendo disponível no mercado antenas Yagi com ganhos máximos em torno de 15dBi (ANTENAS ELECTRIL, 2009). Com estes valores ($EIRP$ da Estação Terrena e ganho da antena transmissora) foi possível estimar a potência mínima a qual o transmissor deve ser capaz de irradiar ($P_{T\text{mín}}$), que foi de 8,25dBW. É necessário considerar nesse ponto que deve haver uma margem de segurança na capacidade de irradiação de potência do rádio, para compensar perdas que posteriormente serão incluídas no cálculo de enlace. A Figura 6.2 apresenta a representação de alguns dos parâmetros utilizados e resultados obtidos através do cálculo de enlace de *uplink*.

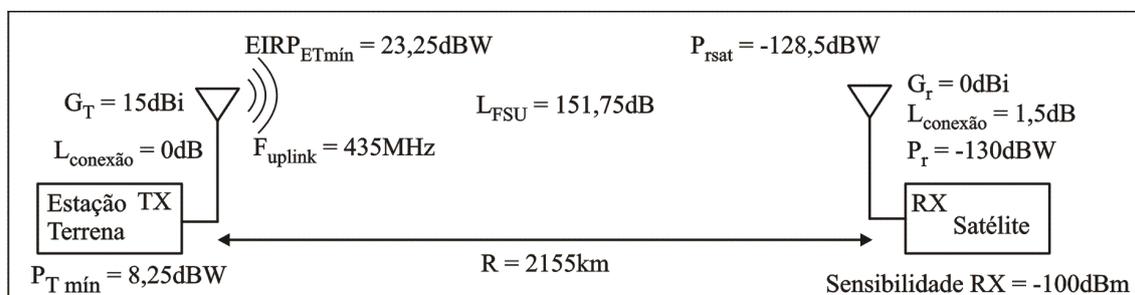


Figura 6.2 - Representação de alguns dos parâmetros utilizados e resultados obtidos através do cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br - *Uplink*Tabela 6.2 - Informações referentes ao cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br – *Downlink*

Cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br - <i>Downlink</i>		
	Informações do sistema	Resultados obtidos
Potência transmissor do satélite (P_t)	- 8,24dBW	
Ganho efetivo da antena do satélite (G_t)	0dB	
Perdas circuito do satélite ($L_{conexão}$)	1,5dB	
EIRP satélite ($EIRP_s$)		- 9,74dBW
Frequência <i>downlink</i> ($F_{downlink}$)	144 – 148MHz	
Distância entre o satélite e a estação terrena (R)	2155km	
Perdas no espaço livre (L_{FSD})		142,63dB
Potência Recebida pela antena da Estação Terrena (P_{RET})		- 152,37dBW
Ganho efetivo da antena receptora ET	15dBi	
Potência recebida pelo rádio da estação terrena (P_R)		-137,37dBW
Sensibilidade mínima receptor estação terrena (Sensibilidade $TX_{mín}$)		- 107,37dBm

A metodologia utilizada para o cálculo de enlace de descida é semelhante a utilizada para o enlace de subida. Foram estimadas as perdas no espaço livre (Equação 3.8) para o intervalo de frequências de 144 a 148MHz (comprimento de onda de 2m), também considerando a possibilidade de obter a comunicação com o satélite a partir de um ângulo de elevação das antenas de 10°. Adotou-se novamente a altitude do satélite de 700km, obtendo-se a distância real máxima entre o satélite e a estação terrena (R) de

aproximadamente 2155km.

Em função das especificações do transmissor do satélite, que prevê uma potência média de 150mW (-8,24dBW) disponível para transmissão, e considerando o conjunto de antenas transmissoras do satélite com característica de irradiação aproximadamente omnidirecional (antena isotrópica), estimou-se a potência do sinal recebido pela antena receptora da estação terrena (P_{RET}).

O ganho máximo para a antena receptora disponível no mercado também ficou em torno de 15dBi (ANTENAS ELECTRIL, 2009) por questões construtivas. Com essas informações foi possível estabelecer a sensibilidade mínima necessária para o rádio receptor da estação terrena em função do ganho da antena receptora. Novamente é necessário considerar que deve haver uma margem de segurança na sensibilidade do rádio receptor, para compensar perdas que posteriormente serão incluídas no cálculo de enlace, como por exemplo perdas no cabo coaxial que liga a antena ao rádio ($L_{conexão}$). A Figura 6.3 apresenta a representação de alguns dos parâmetros utilizados e resultados obtidos através do cálculo de enlace de *downlink*.

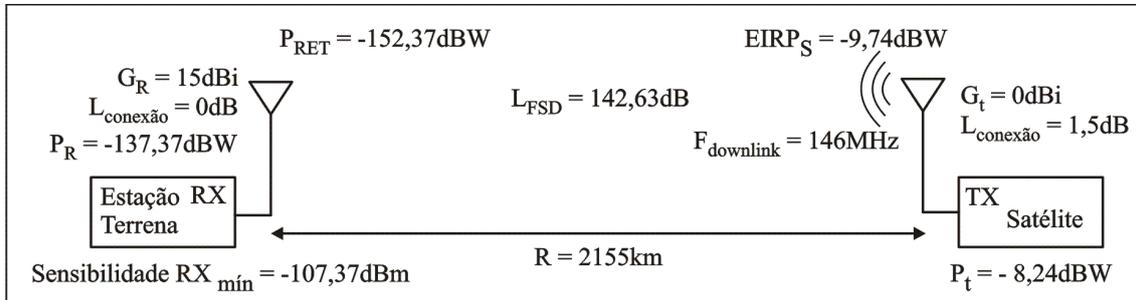


Figura 6.3 - Representação de alguns dos parâmetros utilizados e resultados obtidos através do cálculo de Enlace Projeto NanosatC-Br – *Downlink*

Ao avaliar alguns modelos de rádios transceptores, através de um contato com radioamadores locais, foram sugeridos alguns modelos dos quais podem ser destacados: o IC7000, o ICMKII e o IC910H. Estes rádios serão avaliados na próxima fase do trabalho a fim de determinar quais equipamentos podem atender as necessidades da missão. Outra sugestão é manufaturar as antenas a fim de fazer algumas modificações e melhorar os ganhos das mesmas.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO

Durante o primeiro ano de execução do projeto de pesquisa, intitulado “Desenvolvimento de uma Estação Terrena (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro – NanosatC-Br”, foram desenvolvidos estudos a fim de avaliar as possibilidades de implementação e a arquitetura da ET. Os estudos iniciais contemplaram a familiarização com as funções da estação terrena de comunicação e com os seus principais subsistemas, bem como algumas características do enlace de comunicação. Buscou-se também, através de uma revisão bibliográfica, observar como os projetos de ETs desenvolvidos por outras universidades vêm sendo elaborados.

Após, de acordo com as especificações feitas pelo comando da missão NanosatC-Br – Clima Espacial, foi efetuada uma análise preliminar do subsistema de comunicação de bordo do CubeSat a ser adquirido, observando suas principais características, tais como faixas de frequência, tipos de modulação e protocolo de comunicação.

A partir das especificações do subsistema de bordo buscou-se identificar as possibilidades para implementação da estação terrena. Duas possibilidades vêm sendo avaliadas simultaneamente: a primeira é adquirir um *Kit* completo capaz de estabelecer o enlace de comunicação sem a necessidade de alteração nos equipamentos; e a segunda é adquirir alguns equipamentos disponíveis no mercado e modificá-los conforme as necessidades do projeto.

Por fim, foi efetuado um cálculo simplificado de enlace de comunicação, a fim de estimar as potências dos sinais a serem transmitidos e recebidos, bem como alguns dos parâmetros referentes as antenas e os rádios requeridos para obter um enlace de comunicação eficiente.

Como trabalho futuro será efetuada a especificação dos parâmetros dos



equipamentos e dispositivos envolvidos no enlace de comunicação, bem como a implementação da estação terrena de comunicação através de equipamentos disponíveis no mercado nacional. Além disso, serão analisadas as possibilidades de adquirir uma estação terrena completa importada, desenvolvida especialmente para estabelecer a comunicação com satélites miniaturizados, tais como do tipo CubeSat.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Ato nº 1.805, de 1º.04.2008. Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição das Faixas de Frequências no Brasil. 2008.

Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do#>>. Acesso em: 20 abr. 2009.

ANTENAS ELECTRIL. Disponível em: <<http://www.electril.com/electril/index.asp>>. Acesso em: 24 de jun. 2009.

CUBESAT SHOP (ISIS). Disponível em: <<http://www.cubesatshop.com/>>. Acesso em: 11 de jun. 2009.

DA SILVA, L. B. C.; CHAMON, M. A.; **Cálculo de enlace para sistemas de comunicação digital via satélite**. São José dos Campos: INPE, 2004. p.50 (INPE-11433-PUD/139).

Disponível em:

<mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2004/11.22.15.40/doc/publicacao.pdf>.

Acesso: 15 maio 2009.

DE SOUZA, P. N. **Curso Introdutório em Tecnologia de Satélites: Subsistema de Telecomunicação de Serviço e Centros de Controle e de Missão**. São José dos Campos: INPE, 2008. 25 transparências.

DELFI-C3 PROJECT. Disponível em: <<http://www.delfic3.nl/>>. Acesso em: 11 de jun. 2009.

GRIFFITHS, J. **Radio Wave Propagation and Antennas: An Introduction**. London: Prentice-Hall International, 1987. cap. 9, p.263-295.



HOFFMAN, E. J. Spacecraft Communications. In: PISCATE, V.L.; MOORE, R. C. **Fundamental of Space Systems**. New York: Oxford University Press, 1994. cap. 9, p.563-599.

INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). Disponível em:
<<http://www.isispace.nl>>. Acesso em: 11 de jun. 2009.

KLOFAS, B.; ANDERSON, J.; LEVEQUE, K. **A Survey of CubeSat Communication Systems**. DEVELOPERS WORKSHOP, 2008, San Luis Obispo, California, US.

Disponível em:

<http://atl.calpoly.edu/~bklofas/Presentations/DevelopersWorkshop2008/CommSurvey-Bryan_Klofas.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2009.

LIGA DE AMADORES BRASILEIROS DE RADIO EMISSÃO (LABRE). Disponível em: <<http://www.labre.org.br>>. Acesso em: 24 de jun. 2009.

NUGENT, R. et al. **The CubeSat: The Picosatellite Standard for Research and Education**. In: AIAA SPACE CONFERENCE & EXPOSITION, 2008, San Diego, California, US. Disponível em:

<<http://cubesat.atl.calpoly.edu/media/Documents/Papers/CalPolySpace2008-7734.pdf>>.

Acesso em: 20 de abr. 2009.

ROZENFELD, P. **Definição Preliminar do Segmento Solo da MECB**. São José dos Campos: INPE, 1984. 72 p. (INPE-3036-NTE/215).

SCHAFFNER, J. A.; PUIG-SUARI, J. **The Electronic System Design, Analysis, Integration, and Construction of the Cal Poly State University CP1 CubeSat**. In: 16th AIAA/USU CONFERENCE ON SMALL SATELLITES, 2002, Logan, Utah, US.

Disponível em:

<http://cubesat.atl.calpoly.edu/media/Documents/Papers/cp1_paper.pdf>. Acesso em: 20 de abr. 2009.



SHUCH, N. J. et al. **Projeto Básico Missão NanosatC-Br - Clima Espacial**, Versão Um Julho de 2008.

TULI, T. S.; ORR, N. G.; ZEE, R. E. **Low Cost Ground Station Design for Nanosatellite Missions**. In: AMSAT – 2006 NORTH AMERICAN SPACE SYMPOSIUM, 2006, Foster City, California, US . Disponível em: <<http://www.utias-sfl.net/docs/canx2-amsat-2006.pdf>>. Acesso em: 20 de abr. 2009.

UBBELS, W. J. et al. **Delfi-C3 Communications Subsystem**. In: 22th AMSAT – UK ANNUAL COLLOQUIUM, 2007, Guildford, UK. Disponível em: <http://www.lr.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=74443f87-ea64-4bb1-bebf-3191efc393d5&lang=en&binary=/doc/Delfi-C3_AMSAT-UK_2007.pdf> Acesso em: 20 de abr. 2009.

UNIVERSITY OF TORONTO, INSTITUTE FOR AEROSPACE STUDIES, SPACE FLIGHT LABORATORY (UTIAS/SFL). Disponível em: <<http://www.utias-sfl.net/nanosatellites/CanX2/>>. Acesso em: 11 jun. 2009.

VAN BREUKELLEN, E. D. et al. **Delfi-C3: Delft University of Technology's Nanosatellite**. In: 4th SYMPOSIUM: SMALL SATELLITES, SYSTEMS AND SERVICES, 2006, Chia Laguna, ITA. Disponível em: <www.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=aa44572e-064c-48d8-9a6b-732fbc147e03&lang=nl&binary=/doc/wetpubl2.pdf> Acesso em: 11 de jun. 2009.



ANEXO 1

ATIVIDADES COMPLEMENTARES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

Participação com apresentação de Trabalhos Científicos e publicação em anais de Congressos em 2008.

Título: PRINCIPAIS FUNÇÕES DA ESTAÇÃO TERRENA PARA O NANO-SATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO - NANOSATC-BR

Autores: FAGUNDES, I. F.; ROZENFELD, P.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.; JASKULSKI, T.; ROSA, G. S.

Evento: 23ª Jornada Acadêmica Integrada.

Local: Santa Maria, RS.

Período: 03 a 06 de novembro de 2008.

Trabalhos Científicos aceitos para apresentação e publicação em anais de Congressos em 2009.

Título: LOFAR - ASSESMENT OF FACILITIES FOR A LOFAR STATION IN THE REGION OF THE BRAZILIAN SOUTHERN SPACE OBSERVATORY

Autores: ROSA, G. S.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.; ECHER, E.; JASKULSKI, T.; FAGUNDES, I. F.; STEKEL, T. R. C.; ANTUNES, C. E..

Evento: XXVII IAU General Assembly.

Local: Rio de Janeiro, RJ.

Período: 03 a 14 de agosto de 2009.



Título: THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT SURVEY AT THE BRAZILIAN SOUTHERN SPACE OBSERVATORY FOR THE INSTALLATION OF LOFAR STATIONS

Autores: ROSA, G. S.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.; ECHER, E.; JASKULSKI, T.; FAGUNDES, I. F.; STEKEL, T. R. C.; ANTUNES, C. E..

Evento: 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

Local: Salvador, BA.

Período: 24 a 28 de agosto de 2009.

Título: NANOSATC-BR SPACE WEATHER MISSION

Autores: COSTA, L. L.; SCHUCH, N. J.; SOUZA, P. N.; DURAO, O. S. C.; TRIVEDI, N. B.; MENDES JUNIOR, O.; LOPES, R. V. F.; FONSECA, I. M.; SOUSA, F. L.; PALEROSI, A. C.; ROZENFELD, P.; GOMES, N. R.; MICHELS, A.; PINHEIRO, D. K.; COSTA, R. L.; ZOLAR, R. B.; ANTUNES, C. E.; SIQUEIRA, J.; SAVIAN, F. S.; FAGUNDES, I. F.; JASKULSKI, T.; NICOLINI, L. F.; TAMBARA, L. A.; FELIPETTO, C. M.; SANTOS, R. C.; BURGER, E. E..

Evento: 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.

Local: Salvador, BA.

Período: 24 a 28 de agosto de 2009.