



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

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

PROCESSO Nº: 108616/2009-6

Ândrei Camponogara - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Radiofrequência e Comunicações
LRC/CRS/CCR/INPE – MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CCR/INPE – MCT
E-mail: acamponogara@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, julho de 2011.



**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: 108616/2009-6

Relatório elaborado por:

Ândrei Camponogara - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

E-mail: acamponogara@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/CCR/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: 108616/2009-6

Bolsista:

Ândrei Camponogara

Curso de Engenharia de Computação - Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

Orientador:

Dr. Pawel Rozenfeld

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

Co-orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Co-orientador:

Prof. 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:

Igor Freitas Fagundes

Mestrando – CETUC/PUC – Rio.

Lucas Lopes Costa

Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica – UFSM.



Dimas Irion Alves

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – UFSM.

Juliano Rafael Andrade

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – UFSM.

Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

Observatório Espacial do Sul – OES/CCR/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**



[Identificação](#)

[Recursos Humanos](#)

[Linhas de Pesquisa](#)

[Indicadores do Grupo](#)

Identificação

Dados básicos

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

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data do último envio: 14/07/2011 14:40

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch -

Natanael Rodrigues Gomes

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

Home page: http://

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck



Institute for Solar System Research), Australia (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geo espaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 48
Ademar Michels	Jean Carlo Santos
Adriano Petry	Jean Pierre Raulin
Alan Prestes	Joao Paulo Minussi
Alexandre Alvares Pimenta	Jose Humberto Andrade Sobral
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Juliano Moro
Alisson Dal Lago	Lucas Ramos Vieira
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
Cassio Espindola Antunes	Nalin Babulau Trivedi
Clezio Marcos De Nardin	Natanael Rodrigues Gomes - (líder)
Cristiano Max Wrasse	Nelson Jorge Schuch - (líder)
Cristiano Sarzi Machado	Nivaor Rodolfo Rigozo
Delano Gobbi	Odim Mendes Junior
Eurico Rodrigues de Paula	Osmar Pinto Junior
Ezequiel Echer	Otavio Santos Cupertino Durão
Fabiano Luis de Sousa	Pawel Rozenfeld
Fábio Augusto Vargas dos Santos	Petrônio Noronha de Souza
Fernanda de São Sabbas Tavares	Polinaya Muralikrishna
Fernando Luís Guarnieri	Rafael Lopes Costa
Gelson Lauro Dal' Forno	Rajaram Purushottam Kane
Hisao Takahashi	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Ijar Milagre da Fonseca	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Estudantes	Total: 30
Ândrei Camponogara	Juliano Rafael Andrade
Bruno Knevez Hammerschmitt	Leonardo Zavareze da Costa
Cássio Rodinei dos Santos	Lucas Camponogara Viera
Claudio Machado Paulo	Lucas Lopes Costa



Dimas Irion Alves	Lucas Lourencena Caldas Franke
Edson Rodrigo Thomas	Maurício Ricardo Balestrin
Eduardo Escobar Bürger	Mauricio Rosa de Souza
Eduardo Weide Luiz	Michel Baptistella Stefanello
Felipe Cipriani Luzzi	Nikolas Kemmerich
Fernando Landerdahl Alves	Pietro Fernando Moro
Guilherme Grams	Roger Hatwig de Lima
Guilherme Paul Jaenisch	Rubens Zolar Gehlen Bohrer
Guilherme Simon da Rosa	Tális Piovesan
Igor Freitas Fagundes	Tardelli Ronan Coelho Stekel
José Paulo Marchezi	William do Nascimento Guareschi

Técnicos	Total: 2
-----------------	-----------------

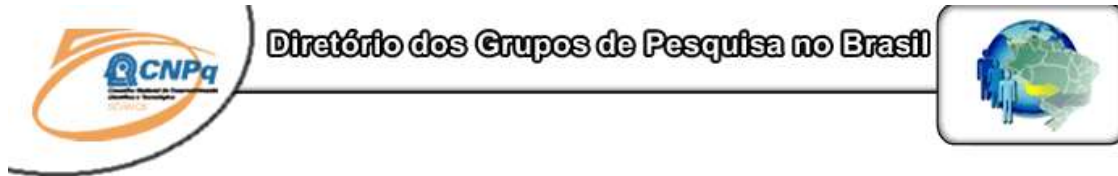
Fernando Sobroza Pedroso - Graduação - \Outra Função
Henrique Sobroza Pedroso - Graduação - Analista de Sistemas

Linhas de pesquisa	Total: 4
---------------------------	-----------------

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

Empresas associadas ao grupo	Total: 0
-------------------------------------	-----------------

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	48
Estudante(s)	30
Técnico(s)	2



Linha de Pesquisa

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

Linha de pesquisa

Desenvolvimento de CubeSats - NANOSATC-BR

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

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

Pesquisadores:

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

Estudantes:

[Ândrei Camponogara](#)
[Dimas Irion Alves](#)
[Eduardo Escobar Bürger](#)
[Fernando Landerdahl Alves](#)



[Guilherme Grams](#)
[Guilherme Paul Jaenisch](#)
[Guilherme Simon da Rosa](#)
[Igor Freitas Fagundes](#)
[José Paulo Marchezi](#)
[Juliano Rafael Andrade](#)
[Leonardo Zavareze da Costa](#)
[Lucas Lopes Costa](#)
[Lucas Lourencena Caldas Franke](#)
[Maurício Ricardo Balestrin](#)
[Mauricio Rosa de Souza](#)
[Nikolas Kemmerich](#)
[Pietro Fernando Moro](#)
[Roger Hatwig de Lima](#)
[Rubens Zolar Gehlen Bohrer](#)
[Tális Piovesan](#)
[Tardelli Ronan Coelho Stekel](#)
[William do Nascimento Guareschi](#)

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: aos funcionários, servidores do CRS/CCR/INPE – MCT e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infraestrutura disponibilizada; ao Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT pela aprovação do Projeto de Pesquisa, que me permitiu dar os primeiros passos na Iniciação Científica e Tecnológica; e ao Coordenador Dr. Ezzat Selim Chalhoub e a Sra. Egídia Inácio da Rosa, Secretária do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT.

Agradeço ao meu orientador Dr. Pawel Rozenfeld e aos meus co-orientadores Dr. Nelson Jorge Schuch e Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes pelo apoio técnico e incentivo para o desenvolvimento do Projeto de Pesquisa. Agradeço aos colegas de Iniciação Científica, Dimas Irion Alves e Lucas Lopes Costa, pelo auxílio durante o desenvolvimento do trabalho.



RESUMO

O Projeto de Pesquisa tem como objetivo definir a arquitetura para implementação da Estação Terrena de Rastreamento e Controle (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro, NANOSATC-BR1. A ET deverá ser instalada na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE – MCT), em Santa Maria, RS. O Relatório expõe duas soluções para implementação da ET. A primeira refere-se ao desenvolvimento de uma ET de baixo custo correspondente a uma arquitetura básica (não compreende a especificação de equipamentos para o processamento de dados), onde se empregam equipamentos utilizados por radioamadores que serão integrados em laboratório, de acordo com as especificações de projeto. Foram especificados as antenas (UHF e VHF), o rotor e o rádio transceptor com as respectivas interfaces de controle por computador e aplicativos de rastreamento de satélites. A segunda solução corresponde à integração de uma ET completa adquirida junto à empresa holandesa *Innovative Solutions In Space* (ISIS). A Estação Terrena consiste na *Ground Station UHF/VHF/S-BAND*, com bandas de frequências: 144 – 146 MHz, 430 – 440 MHz, 2400 – 2402 MHz, a qual apresenta compatibilidade com o subsistema de comunicação de bordo por se tratar da mesma fornecedora, portanto, incluindo as bandas de frequências de radioamadores.



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	17
INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO 2	19
O PROJETO NANOSATC-BR –	19
DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS	19
2.2 Missão NanosatC-Br- Clima Espacial	20
2.3 O PROJETO NANOSATC –BR1	22
2.3.1 Subsistema de Comunicação de Bordo	23
CAPÍTULO 3	27
ESTAÇÃO TERRENA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
3.1 REQUISITOS FUNCIONAIS	28
3.2 desenvolvimento de uma estação terrena para o nanosatc-br1	29
CAPÍTULO 4	30
ESTAÇÃO TERRENA I	30
4.2 Especificação das Antenas	30
4.2.1 Arranjos de Antenas Yagi-Uda Lineares	31
4.2.2 Arranjo de Antenas Yagi-Uda Cruzadas	40
4.3 Especificação do Rotor	43
4.4 Especificação do Rádio Transceptor	49
4.5 ARQUITETURA DA ESTAÇÃO TERRENA	54
CAPÍTULO 5	56
ESTAÇÃO TERRANA II	56
2.5 Estação Terrena UHF/VHF/S-BAND ISIS	57
2.6 cronograma	59
CAPÍTULO 6	61
CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
BIBLIOGRAFIA	63



ANEXO A.....	65
ANEXO B.....	69
ANEXO C.....	70



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Fonte: INPE, 2011.....	20
Figura 2 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Fonte: Heirtzler, 2002.....	21
Figura 3 – Região do Eletrojato Ionosférico Equatorial. Fonte: Lühr et al, 2004	21
Figura 4 – Representação visual do NanosatC-Br fornecida pela empresa holandesa ISIS	23
Figura 5 – Transceptor TRXUV1200A desenvolvido pela empresa ISIS	24
Figura 6 – Antenas do tipo fita para as faixas VHF e UHF desenvolvidas pela empresa ISIS	26
Figura 7 – Características da antena Yagi-Uda de 7 elementos modelo 2M7.	32
Figura 8 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos K1FO.....	32
Figura 9 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo simples.....	34
Figura 10 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo simples.....	35
Figura 11 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo dobrado.....	36
Figura 12 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo dobrado.....	36
Figura 13 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo simples.....	38
Figura 14 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo simples.....	38
Figura 15 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo dobrado.....	39
Figura 16 – Diagramas de irradiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo dobrado.....	40
Figura 17 – Combinação de duas ondas linearmente polarizadas vertical e horizontal defasadas de 90° para obtenção de polarização circular.....	41
Figura 18 – Circuito para conexão de antenas lineares cruzadas para obtenção de polarização circular ...	41
Figura 19 – Balun 1:1 de núcleo de ferrite para conexão entre a antena e o cabo coaxial	42
Figura 20 – Dimensões dos seguimentos de linha l_1 e l_2 do estube simples projetado para casamento de impedância da antena do Projeto Radioastronomia.....	43
Figura 21 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas e rastreamento de satélites Orbitron 3.71	44
Figura 22 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas Orbitron 3.71 e do drive WispDEE	45
Figura 23 – Rotor G-5500 e a interface de controle por computador GS-232 da YAESU.....	46
Figura 24 – Montagem e instalação do Rotor G-5500 da YAESU.....	47



Figura 25 – Conexões de controle e potência do Rotor G-5500 e a Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU	49
Figura 26 – Variação da distância do NanosatC-Br a Estação Terrena em função do ângulo de elevação das antenas da ET	51
Figura 27 – Nível de potência recebida na Estação Terrena do NanosatC-Br em função do ângulo de elevação das antenas da ET	51
Figura 28 – Cálculo de enlace de comunicação de <i>downlink</i> e <i>uplink</i> para especificação do rádio transceptor da Estação Terrena do projeto NANOSATC-BR1	52
Figura 29 – Rádio transceptor Icom IC-910H e interface de comunicação CI-V CT-17 para Estação Terrena do projeto NANOSATC-BR1	53
Figura 30 – Arquitetura básica para Estação Terrena do projeto NANOSATC-BR1	55
Figura 31 – Distribuição das antenas da Estação Terrena de Comunicação desenvolvidas pela empresa ISIS. Fonte: http://www.cubesatshop.com	59
Figura A.1 – Dados para o projeto de antenas Yagi-Uda mostrando a relação entre a razão do diâmetro do elemento pelo comprimento de onda λ e o comprimento do elemento para diferentes antenas	68
Figura A.2 – Gráfico mostrando o efeito do diâmetro do suporte no comprimento dos elementos	68
Figura B.1 – Características da antena Yagi-Uda cruzada de 8 elementos do radioamador PY2BSS obtidas através do aplicativo MMANA-GAL	69



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Antenas Yagi-Uda desenvolvidas pelo radioamador PY2NI.....	31
Tabela 2 – Dimensões de uma antena Yagi-Uda de 12 elementos.	33
Tabela 3 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia.	37
Tabela 4 – Especificações do Rotor de Azimute e Elevação G-5500 da YAESU.....	48
Tabela 5 – Especificações da Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU.....	48
Tabela 6 – Especificações do Rádio Transceptor IC-910H da ICOM.....	54
Tabela 7 – Parâmetros Iniciais da Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites do Projeto NANOSATC-BR1 – Clima Espacial.	57
Tabela 8 - Cronograma revisado das atividades do Projeto NANOSATC-BR1.	60
Tabela A.1 – Comprimentos otimizados para os elementos de antena Yagi-Uda de seis comprimentos diferentes	66
Tabela B.1 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 8 elementos do Radioamador PY2BSS.....	69



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Relatório expõem as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos entre os meses de Agosto de 2010 e Junho de 2011, referentes ao Projeto de Iniciação Científica intitulado: “Desenvolvimento de uma Estação Terrena (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro – NANOSATC-BR”.

O Projeto de Pesquisa tem por objetivo apresentar soluções de arquiteturas para implementação de uma Estação Terrena, cujo foco principal consiste no rastreo e controle do primeiro nanosatélite científico brasileiro - NANOSATC-BR1. Porém ela permitirá rastreo de outros satélites que operam nas faixas de frequências VHF e UHF de radioamadores, tais como projetos de Cubesats de outras Universidades, possibilitando intercâmbio de experiências entre alunos de iniciação científica e radioamadores.

A Estação Terrena de Rastreo e Controle será implementada na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE – MCT), em colaboração com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM).

Assim, o Relatório apresenta-se estruturado em seis Capítulos, a saber.

No Capítulo 2 é apresentado o projeto NANOSATC-BR1, onde constam os objetivos da missão bem como as especificações dos subsistemas de bordo do nanosatélite.

Em relação ao Capítulo 3 é colocado uma fundamentação teórica referente às Estações Terrenas, sendo em seguida exposto as duas soluções de arquitetura para a implementação da ET.

No Capítulo 4 é avaliada a integração em laboratório de soluções comerciais a partir da especificação dos equipamentos principais (antenas, rotor e rádio transceptor) para a implementação de uma ET composta por equipamentos utilizados por radioamadores. No fim do Capítulo, é apresentada a proposta de arquitetura para a ET,



sendo esta uma arquitetura básica, pois não compreende os equipamentos de processamento de sinais de telemetria.

O Capítulo 5 expõem as especificações da ET adquirida junto a empresa holandesa ISIS e o cronograma do Projeto NANOSATC-BR1.

Por fim, no Capítulo 6 são colocadas as considerações finais referentes ao Projeto, onde também consta as próximas atividades a serem feitas.



CAPÍTULO 2

O PROJETO NANOSATC-BR –

DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS

O Projeto NANOSATC-BR – Desenvolvimento de CubeSats consiste em um Programa Integrado de Capacitação de Recursos Humanos com desenvolvimento de Engenharias e Tecnologias Espaciais através do projeto de CubeSats. O Nanosatélite Científico Brasileiro 1 (NANOSATC-BR1) apresenta-se como o primeiro CubeSat, cuja missão classifica-se como: (i) tecnológica, qualificação de circuitos integrados em ambiente espacial; e (ii) científica, o estudo da variabilidade das condições geomagnéticas na superfície terrestre e em baixa órbita, sobre o Território Brasileiro.

O Projeto teve origem no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCT, unidade regional do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE–MCT localizado no campus da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (Figura 1), em 2006 pelo Dr. Nelson Jorge Schuch, atual Gerente Geral do Projeto e Principal Investigador - PI, tendo como colaboração técnica e gerenciamento local, na sede do INPE em São José dos Campos, SP, pelo Dr. Eng. Otávio Santos Cupertino Durão, na qualidade de Coordenador Geral de Engenharias e Tecnologias do Projeto, juntamente com o envolvimento de alunos de graduação de diferentes áreas da UFSM, orientados com apoio técnico de engenheiros, especialistas Tecnologistas e Pesquisadores do INPE/MCT.



Figura 1 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Fonte: INPE, 2011.

2.2 MISSÃO NANOSATC-BR- CLIMA ESPACIAL

A Missão tem como objetivo científico monitorar em tempo real, no âmbito do Clima Espacial, o Geoespaço, os distúrbios observados na Magnetosfera Terrestre (Campo Geomagnético) e a precipitação de partículas energéticas, sobre o Território Brasileiro, com a determinação de seus efeitos nas grandes regiões da Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) e do Eletrojato da Ionosfera Equatorial, setor Brasileiro (*Ionosphere Equatorial Electrojet – EEJ*).

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul, Figura 2 é uma região onde a parte mais interna do cinturão de *Van Allen* mais se aproxima da superfície da Terra. O resultado é que para uma dada altitude, a intensidade de radiação é mais alta nesta região do que em outra, Odenwald (1995).

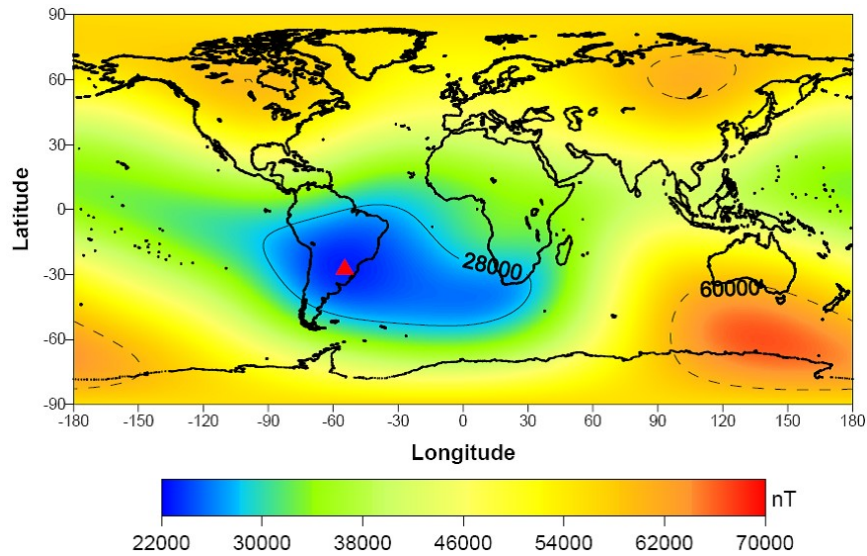


Figura 2 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Fonte: Heirtzler, 2002.

O Eletrojato Equatorial (EEJ), Figura 3, representa uma fita de intensa corrente elétrica que flui ao longo do equador na região E da Ionosfera durante o dia. A principal razão para a alta densidade de corrente é a geometria do Campo geomagnético, exibindo linhas horizontais de força nestas latitudes. (Lühr et al, 2004).

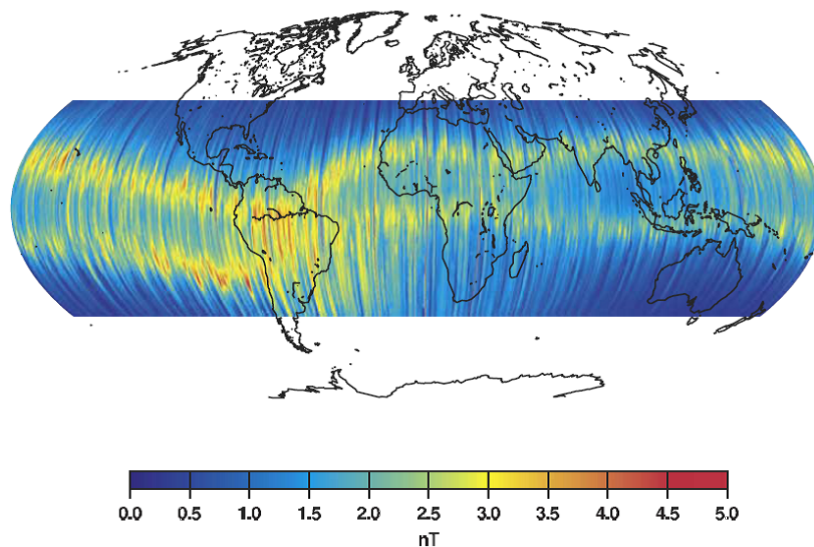


Figura 3 - - Região do Eletrojato Ionosférico Equatorial. Fonte: Lühr et al, 2004



A Missão apresenta como objetivos gerais a busca pela capacitação tecnológica das instituições nacionais que participam da mesma, 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.

2.3 O PROJETO NANOSATC –BR1

O satélite NANOSATC-BR1 é um pequeno satélite da classe CubeSat, o qual possui forma cúbica com arestas de 100 mm e massa de no máximo 1,33 kg, segundo a padronização criada e desenvolvida pela California Polytechnic State University - Cal Poly e Stanford University para a classe de satélite.

O Projeto NANOSATC-BR1 vem sendo desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CCR/INPE - MCT, em parceria com o Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM; envolvendo alunos de graduação dos cursos de Engenharias Elétrica, Mecânica e Computação, Ciência da Computação e Física sob a supervisão e orientação de pesquisadores, tecnólogos e professores do INPE e da UFSM. Aonde vêm sendo efetuados estudos dos subsistemas que compõem o nanosatélite com o objetivo de avaliar os equipamentos a serem adquiridos junto à empresa especializada na produção de pequenos satélites. A integração do nanosatélite será feita pelos alunos de graduação envolvidos no projeto, e os testes serão realizados no Laboratório de Integração e Testes (LIT), localizado na sede do INPE, em São José dos Campos - SP.

O NANOSATC-BR1 deverá ser lançado em órbita baixa, entre 500 e 700 km de altitude, preferencialmente de alta inclinação. Seu sistema de carga útil é composto por um magnetômetro para obtenção de medidas do módulo total do Campo Magnético Terrestre e por dois circuitos integrados com proteção à radiação, projetados por duas diferentes universidades brasileiras, a UFSM e UFRGS.

A Figura 4 apresenta uma representação visual demonstrando a disposição das antenas do NANOSATC-BR1 obtida junto ao site da empresa holandesa ISIS (*Innovative Solutions In Space*).

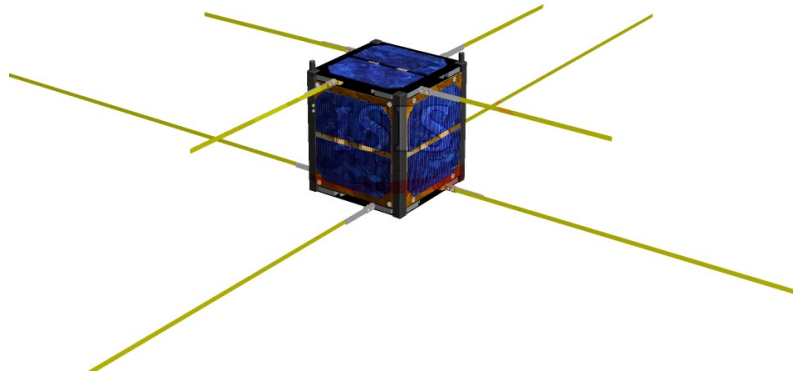


Figura 4 – Representação visual do NanosatC-Br fornecida pela empresa holandesa ISIS

Fonte: ISIS, 2009.

2.3.1 Subsistema de Comunicação de Bordo

O subsistema de comunicação de bordo do Projeto NANOSATC-BR1 deverá ser adquirido junto a empresa holandesa *Innovative Solutions In Space* (ISIS). A ISIS é uma empresa especializada na produção e fornecimento de soluções para projetos de pequenos satélites a qual foi formada inicialmente por participantes do projeto de lançamento do CubeSat Delfi-C3, da *Delft University of Technology*.

A compra de equipamentos comerciais para os subsistemas de bordo do NANOSATC-BR1 tem como objetivo reduzir as possibilidades de falhas da primeira Missão, através da utilização de equipamentos consolidados e com desempenho comprovado. São apresentadas as especificações iniciais dos equipamentos do Subsistema de Comunicação de Bordo do NanosatC-Br, as quais foram obtidas junto ao endereço eletrônico da empresa ISIS (2010).

2.3.1.1 Rádio Transceptor

O transceptor de bordo a ser adquirido é o transceptor modelo TRXUV1200A, desenvolvido pela ISIS e é semelhante ao utilizado no projeto do satélite Delfi-C3. 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. O transceptor é compatível com o computador de bordo fornecido pela Clyde Space Ltd. EPS and Pumpkin inc. FM430-OBC, o qual deverá ser utilizado na Missão. A Figura 5 apresenta uma imagem do transceptor TRXUV1200A.



Figura 5 – Transceptor TRXUV1200A desenvolvido pela empresa ISIS

Fonte: <http://www.cubesatshop.com>

As principais características do transceptor são apresentadas abaixo:

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)*.



Receptor UHF:

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

Outras características importantes estão relacionadas à restrição de volume e potência impostas pelo padrão CubeSat, as quais são compatíveis conforme apresentado abaixo:

- Massa: 85 g.
- Dimensões: 90x96 mm, compatível com PC/104 PCB CubeSat.
- Potência: < 1,7 W (transmissor ligado), < 0,2 W (somente receptor ligado).

2.3.1.2 Antenas de Bordo

As antenas de bordo serão fornecidas pela empresa ISIS e consistem de um sistema de antenas distribuídas, formado por até quatro antenas tipo fita de no máximo 55 cm, as quais são liberadas depois da inserção em órbita do satélite. A Figura 6 apresenta uma representação da disposição das antenas para comunicação nas faixas VHF e UHF.

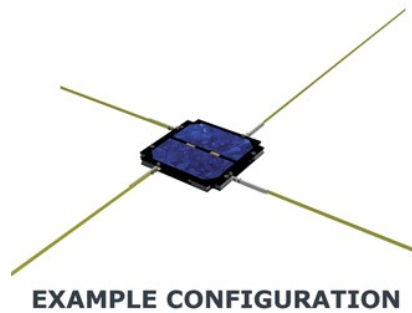


Figura 6 – Antenas do tipo fita para as faixas VHF e UHF desenvolvidas pela empresa ISIS

Fonte: <http://www.cubesatshop.com>

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 pode acomodar painéis solares.

O sistema da antena foi concebido para obter compatibilidade com os atuais componentes COTS (*Commercial Off The Shelf*) utilizados em projetos de CubeSats, sendo compatível com sistemas de rádios UHF/VHF. Algumas especificações do sistema das antenas:

- Impedância: 50 Ω .
- Configuração das antenas disponíveis: 1 turnstile, 2 dipolos, 1 dipolo e 1 monopolo ou 1 dipolo.
- Máxima potência: 0,5 W (dipolo), 1 W (turnstile), mais de 4 W (monopolo).
- Inserção de perdas: 1,5 dB.
- Faixa de frequência: 130 - 165 MHz (VHF), 390 – 450 MHz (UHF).
- Potência elétrica, nominal/*standby*: < 50 mW.
- Potência elétrica durante o funcionamento: 2 W.
- Massa: < 100 g (depende da configuração das antenas).
- As antenas estão disponíveis para tensão de alimentação de 3,3 V (5 V, 8 V e outras tensões sobre demanda).

CAPÍTULO 3

ESTAÇÃO TERRENA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Definimos que um sistema satélite é dividido-se em segmento espacial e segmento terrestre (solo), sendo o segmento espacial composto por um ou mais satélites e equipamentos necessários às funções de suporte e operação dos satélites, tais como telemetria, rastreamento, comando, controle e monitoração.

Uma Estação Terrena (ET) é o elemento do segmento solo que tem como função a comunicação espaço-solo, o rastreamento e localização de satélites. 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 em cada uma das direções. Ela divide-se em dois estágios:

- Telecomando (TC) ou *uplink*: Consiste na ligação de subida, em que a transmissão é realizada da ET para o satélite;
- Telemetria (TM) ou *downlink*: Refere-se à ligação de descida, no qual ocorre a transmissão do satélite para a ET, podendo apresentar o status dos diversos subsistemas do satélite (telemetria de serviço), além da transmissão dos dados coletados pela carga útil.

Geralmente as bandas de frequências referentes ao percurso de descida apresentam-se mais baixas em relação às utilizadas no percurso de subida. Isto acontece de modo a reduzir possíveis interferências e porque o percurso de descida é considerado mais crítico que de subida, devido às limitações de potência do satélite. Sendo a banda de frequências do percurso de subida mais elevada, também permite maximizar o ganho de recepção, dado que o ruído captado pelo satélite é alto.



3.1 REQUISITOS FUNCIONAIS

Uma ET tem funções principais e auxiliares. As principais são:

- Rastrear o satélite durante sua passagem sobre a ET;
- Transmitir TC e os sinais de localização ao satélite;
- Receber a TM e os sinais de localização do satélite;
- Obter os dados de localização, ou seja, distância e velocidade radial, medindo o atraso do tempo de propagação dos sinais enviados para esse fim, e do deslocamento Doppler de frequência da portadora descendente, respectivamente;
- Interligar-se com um sistema de transmissão de dados.

As funções auxiliares da ET são:

- Gravação de dados de TM;
- Determinação dos ângulos de azimute e elevação do satélite;
- Monitoramento e controle dos equipamentos e de configuração da ET;
- Testes de seus equipamentos;
- Geração de tempo universal e das frequências padrões.

Do ponto de vista funcional, os subsistemas de uma ET podem ser divididos em “*front end*” e banda base.

O “*front end*” consiste em um conjunto de subsistemas que trabalham com as portadoras ascendentes e descendentes moduladas, sendo suas funções basicamente determinadas pelo equipamento. A banda base trabalha com sinais modulados, possuindo um equipamento cujo desempenho funcional pode ser, na maior parte, programado e reconfigurado para atender requisitos específicos de cada missão.



3.2 DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA O NANOSATC-BR1

Para a implementação de uma Estação Terrena de Rastreamento e Controle para o NANOSATC-BR1 foram desenvolvidas duas soluções: (i) construção de uma ET de baixo custo com equipamentos adquiridos junto ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT – UFSM) e (ii) a compra de uma ET completa junto à empresa holandesa *Innovative Solutions In Space* (ISIS).

A solução (i) é abordada no Capítulo 4, onde se encontra a especificação de antenas (UHF e VHF), rotor e rádio transceptor com as respectivas interfaces de controle por computador e aplicativos de rastreamento de satélites. A solução (ii) é exposta no Capítulo 5.



CAPÍTULO 4

ESTAÇÃO TERRENA I

O Capítulo apresenta os fatores de Projeto considerados para especificação dos equipamentos para montagem de uma Estação Terrena de Rastreamento e Controle de Satélites, através de equipamentos a serem adquiridos junto ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria (LACESM/CT - UFSM). São abordados aspectos técnicos dos equipamentos, antenas, rotor e rádio transceptor, bem como aspectos práticos de desempenho observados em colaboração com radioamadores da União Santamariense de Radioamadores (USRA).

4.2 ESPECIFICAÇÃO DAS ANTENAS

As antenas de recepção de sinais de satélites têm por características apresentarem polarização circular, elevado ganho e ângulos de meia potência entre 40° e 60° para utilização por radioamadores, a fim de facilitar o rastreamento dos satélites. Por motivos principalmente relacionados à maior facilidade na construção, grande parte dos radioamadores utiliza antenas do tipo Yagi-Uda cruzadas, com variado número de elementos de acordo com as necessidades de ganho.

Diversos são os radioamadores que disponibilizam projetos práticos bem como aspectos de montagem de antenas Yagi-Uda cruzadas com aplicação a rastreamento de satélites. Informações como dimensão dos elementos (refletor, alimentador e diretores), espaçamento entre os elementos e formas de casamento de impedância constam em tabelas e imagens, ficando limitadas a antenas já construídas, porém apresentando desempenho comprovado.

Para o desenvolvimento do projeto e especificação de antenas três possibilidades são apresentadas: (i) a compra de antenas fabricadas por empresas especializadas, (ii) o desenvolvimento de projetos e construção de antenas em Laboratório com participação de radioamadores ou (iii) o reaproveitamento das antenas do Projeto Radioastronomia.

4.2.1 Arranjos de Antenas Yagi-Uda Lineares

Para avaliar a compra de antenas de baixo custo através de uma colaboração com os radioamadores da USRA obteve-se a informação que a empresa do radioamador indicativo PY2NI localizada no estado de São Paulo desenvolve projetos qualificados e reconhecidos internacionalmente nas faixas de VHF e UHF. Alguns modelos comerciais que se enquadram nos objetivos do projeto são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Antenas Yagi-Uda desenvolvidas pelo radioamador PY2NI.

Modelo	Fornecedor	Nº de elementos	Ganho
7(2M7)	PY2NI	7	12,25 dBi
12(K1FO)	PY2NI	12	14,65 dBi

As características das antenas da Tabela 1 são apresentadas nas Figuras 7 e 8, representando o comportamento das antenas como arranjos de antenas lineares. Adequações para utilização no rastreamento de satélites (polarização circular) podem ser desenvolvidas conforme informação disponibilizada no endereço eletrônico do radioamador PY2NI.

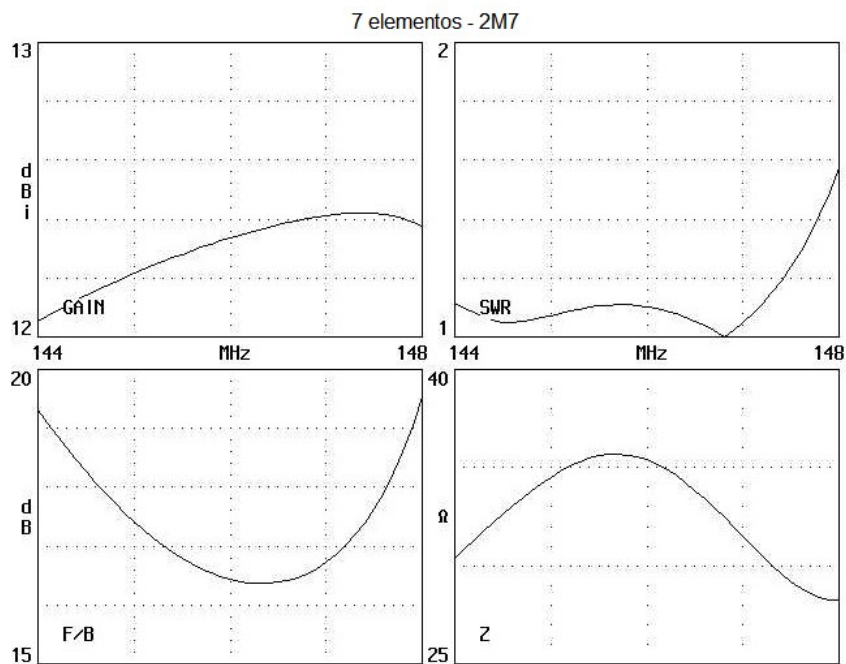


Figura 7 – Características da antena Yagi-Uda de 7 elementos modelo 2M7.

Fonte: <http://www.nabla.com.br/py2ni>.

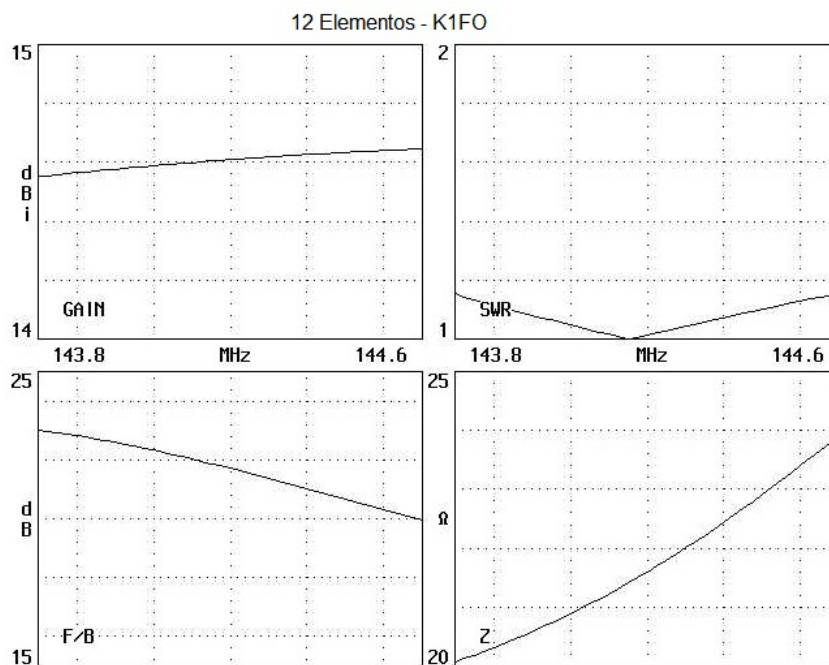


Figura 8 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos K1FO.

Fonte: <http://www.nabla.com.br/py2ni>.

Para fins didáticos de projeto de antenas Yagi-Uda foi utilizado o método publicado no Relatório Técnico 688 do *National Bureau of Standards* (NBS), intitulado *Yagi Antenna Design* (1976). Este documento apresenta informações na forma de gráficos e tabelas, e tem o objetivo de facilitar o projeto prático de antenas de $0,2\lambda$ a $4,2\lambda$ de comprimento, para operação em HF, VHF e UHF.

As curvas permitem o projeto de antenas com seis diferentes comprimentos: $0,4\lambda$; $0,8\lambda$; $1,2\lambda$; $2,2\lambda$; $3,2\lambda$ e $4,2\lambda$. Devem ser efetuados ajustes referentes à utilização de diferentes frequências e diâmetro dos tubos dos elementos e suporte. O ANEXO A apresenta passo-a-passo os procedimentos do projeto e os parâmetros de entrada utilizados. As dimensões obtidas para uma antena de 12 elementos são apresentadas na Tabela 2. Os elementos foram calculados supondo perfis de alumínio circulares de 3/8 de polegada e o perfil quadrado de alumínio do suporte de 1 polegada.

Tabela 2 – Dimensões de uma antena Yagi-Uda de 12 elementos.

Elemento	Comprimento dos elementos	Espaçamento entre os Elementos
Refletor (R)	1,010 m	R-A = 0,411 m
Alimentador (A)	0,967 m	A-D1 = 0,411 m
Diretor (D1)	0,923 m	D1-D2= 0,411 m
Diretor (D2)	0,881 m	D2-D3= 0,411 m
Diretor (D3)	0,863 m	D3-D4= 0,411 m
Diretor (D4)	0,840 m	D4-D5= 0,411 m
Diretores (D5-D10)	0,824 m	$D_{n-1}-D_n$ ($6 \leq n \leq 10$) = 0,411 m

Os diagramas de radiação horizontal (H) e vertical (V) obtidos através da simulação das antenas em arranjo linear utilizando dipolo simples, nos aplicativos MMANA-GAL e 4NEC2 são apresentados nas Figuras 9 e 10. As antenas simuladas no

aplicativo 4NEC2 tiveram os arquivos de definição (.nec) gerados com o auxílio do aplicativo SuperNEC 2.9, que apresenta uma interface gráfica que proporciona a edição e o aproveitamento de estruturas básicas pré-definidas (tais como antenas Yagi-Uda). As ferramentas utilizadas para simulação das antenas (MMANA-GAL e 4NEC2) são de distribuição livre e são desenvolvidas e utilizadas por radioamadores.

O ganho esperado para o arranjo linear era de 14,41 dBi conforme especificado pelo método. O ganho obtido foi de 14 dBi diferindo de 0,41 dBi para a frequência central de projeto (146 MHz), porém estando esse valor dentro da margem de precisão do método que é de 0,5 dB. O ângulo de meia potência obtido foi de aproximadamente 40° e impedância de aproximadamente $(22,9 + j19,5) \Omega$.

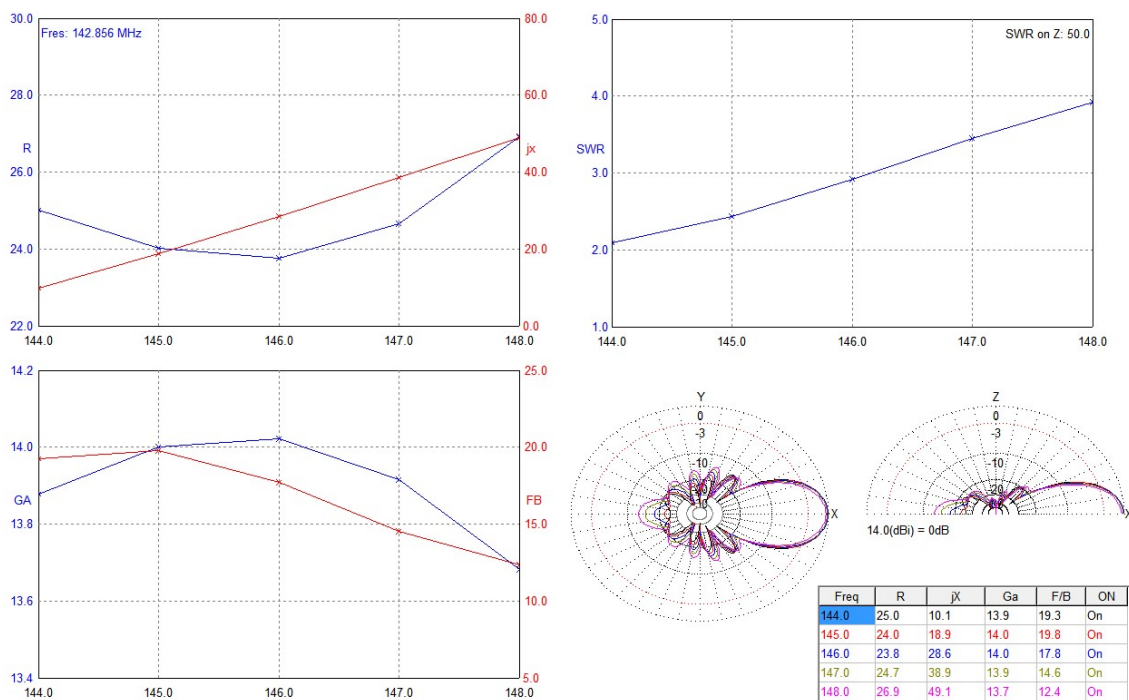


Figura 9 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo simples.

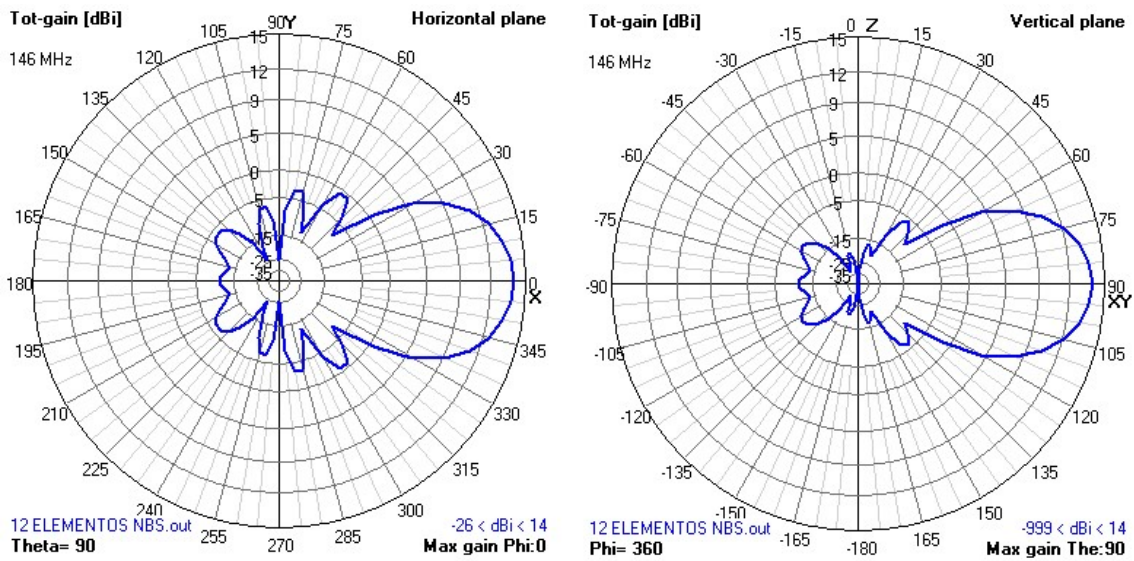


Figura 10 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo simples.

Como o projeto prático da NBS apresenta as especificações considerando o alimentador um dipolo dobrado foram efetuadas simulações para observar a variação dos diagramas de radiação nessa configuração. Ainda busca-se obter um melhor resultado na simulação de antenas com dipolo dobrado, principalmente com relação à impedância e distorção dos lóbulos secundários.

Os valores de ganho e impedância encontram-se próximos ao esperado para a simulação no 4NEC-2 (Figura 12), onde o ganho obtido foi de 14 dBi e a impedância de aproximadamente $(113+j242) \Omega$. Os resultados encontrados para o MMANA-GAL ainda não são satisfatórios e continuam sob avaliação, porém os resultados obtidos são apresentados na Figura 11.

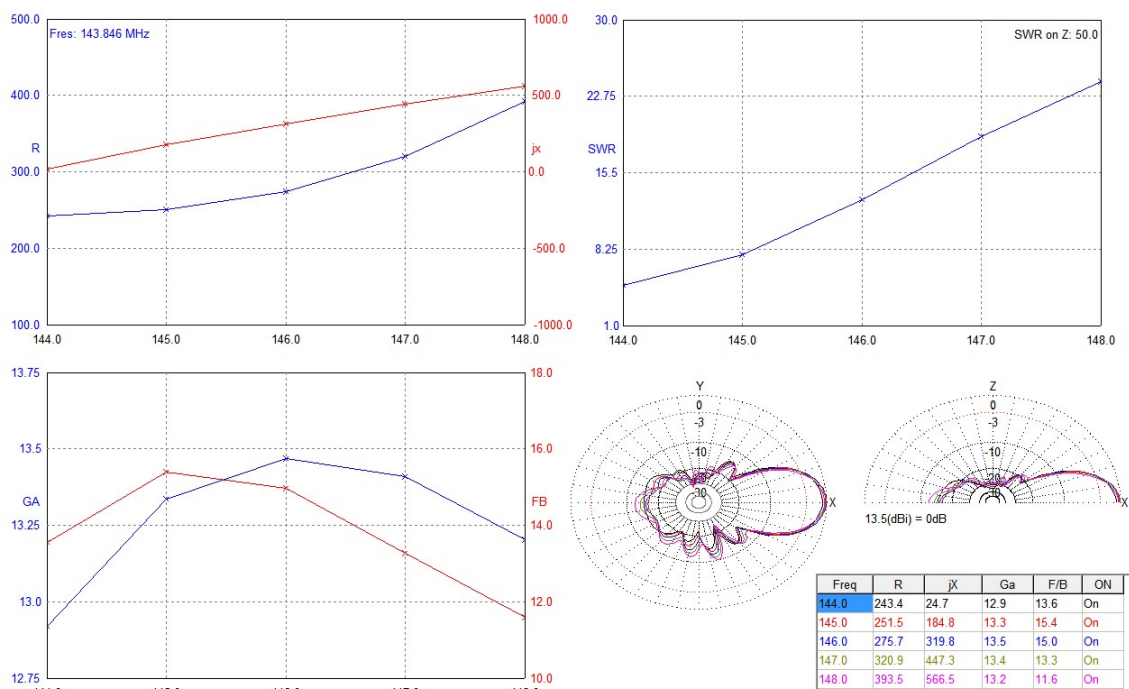


Figura 11 – Características da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo MMANA-GAL utilizando como alimentador dipolo dobrado.

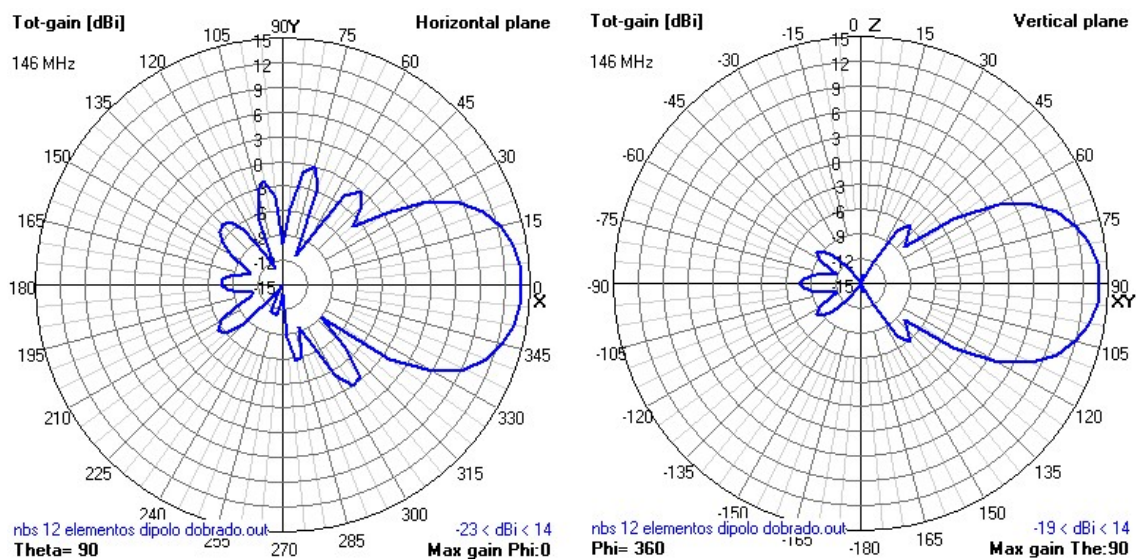


Figura 12 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 12 elementos obtidas através do aplicativo 4-NEC2 utilizando como alimentador dipolo dobrado.

Ainda referente ao desenvolvimento de antenas foram efetuadas simulações com o objetivo de estimar o desempenho das antenas do Projeto Radioastronomia para operação na faixa de frequência de satélites radioamadores em VHF (146 MHz). As dimensões desta antena Yagi-Uda que utiliza 10 elementos e tem como alimentador um dipolo dobrado são apresentadas na Tabela 3. Os elementos são compostos de perfis circulares de alumínio de 3/8 de polegada e o suporte (boom) é um perfil quadrado de alumínio com 1 polegada.

Para observar o comportamento do arranjo com a variação do alimentador foram efetuadas simulações utilizando um dipolo simples e na sequência utilizando o dipolo dobrado. Os diagramas de radiação horizontal (H) e vertical (V) obtidos nos aplicativos MMANA-GAL e 4NEC2 são apresentados a seguir, Figuras 13 e 14.

Tabela 3 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia.

Elemento	Comprimento dos elementos	Espaçamento entre os Elementos
Refletor (R)	0,955m	R-A = 0,400m
Alimentador (A)	0,840m	A-D1 = 0,163m
Diretor (D1)	0,836m	D1-D2= 0,235m
Diretor (D2)	0,836m	D2-D3= 0,498m
Diretor (D3)	0,827m	D3-D4= 0,400m
Diretor (D4)	0,817m	D4-D5= 0,600m
Diretor (D5)	0,815m	D5-D6 = 0,600m
Diretor (D6)	0,810m	D6-D7 = 0,600m
Diretor (D7)	0,800m	D7-D8 = 0,425m
Diretor (D8)	0,793m	-

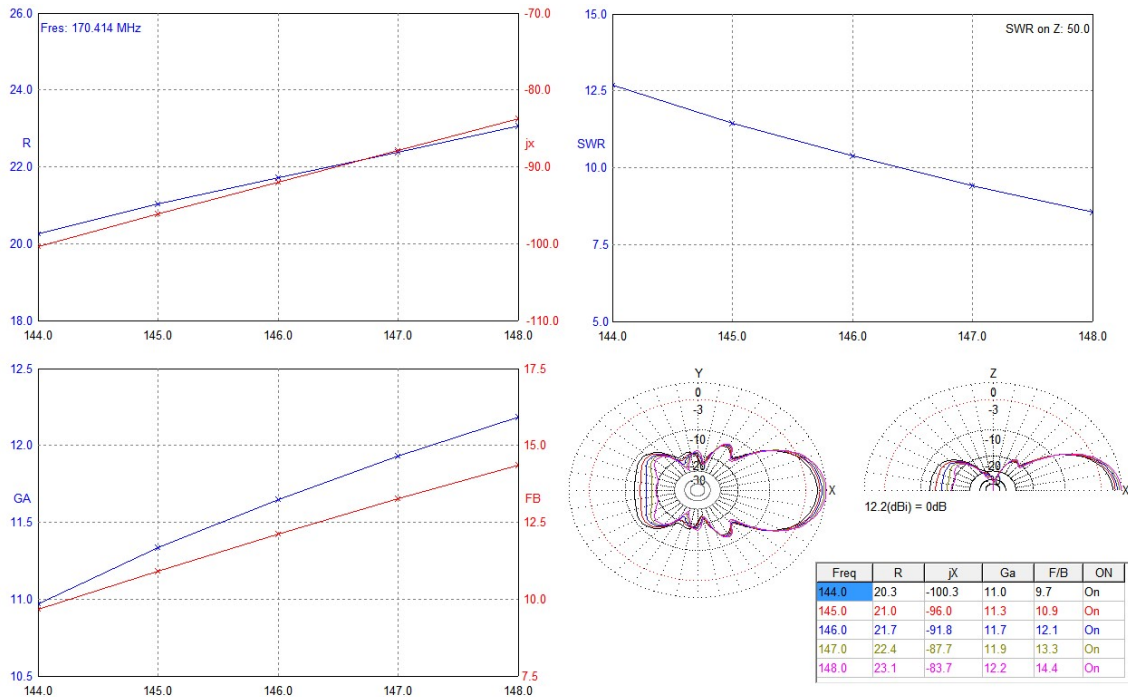


Figura 13 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo simples.

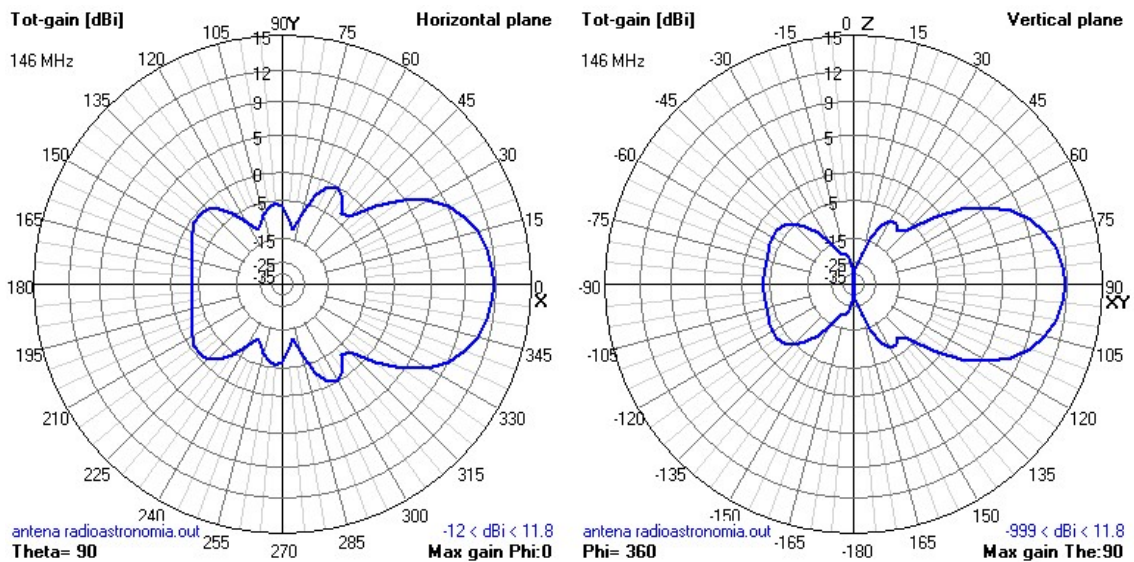


Figura 14 – Diagramas de radiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo simples.

O ganho obtido para a antena do projeto radioastronomia em arranjo linear foi de 11,7 dBi e a impedância de aproximadamente $(22-j93) \Omega$ para simulação com o dipolo simples com frequência central de 146 MHz. O ângulo de meia potência encontrado foi de 50° . Este resultado possibilita o aproveitamento desta antena para o projeto da estação de recepção de satélites, pois apresenta resposta de ganho semelhante a antenas disponíveis comercialmente.

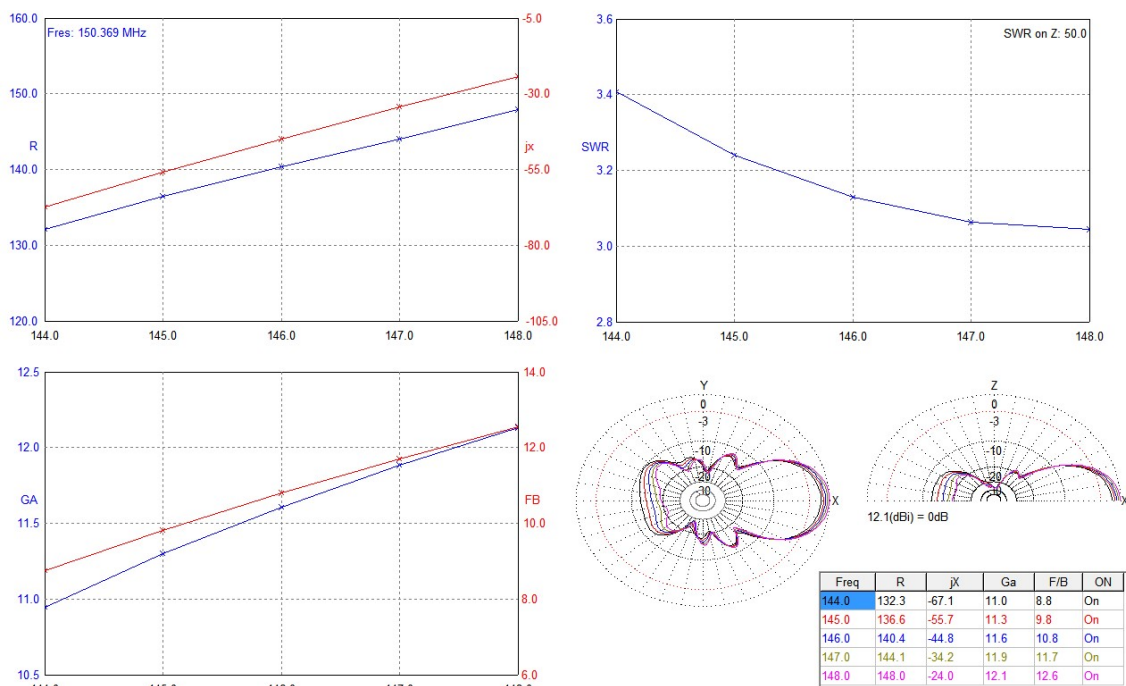


Figura 15 – Características da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo MMANA-GAL para o alimentador dipolo dobrado.

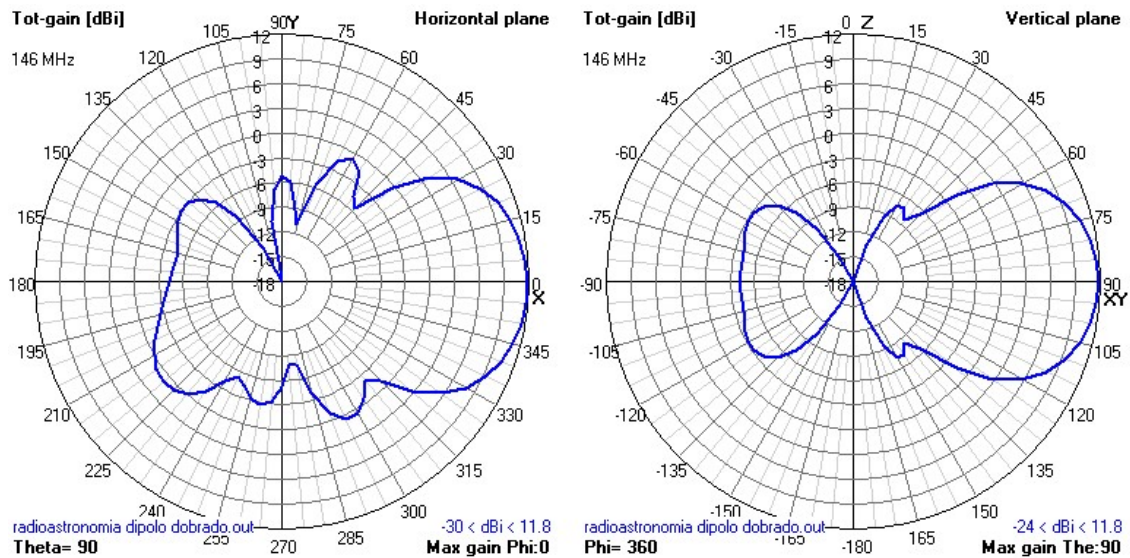


Figura 16 – Diagramas de irradiação da antena Yagi-Uda de 10 elementos do Projeto Radioastronomia obtidas através do aplicativo 4NEC2 para o alimentador dipolo dobrado.

Observou-se que os ganhos obtidos utilizando o dipolo dobrado como alimentador, Figuras 15 e 16, são semelhantes ao dipolo simples, ocorrendo apenas uma distorção dos lóbulos secundários. Esta distorção foi atribuída ao elemento que compõe o dipolo dobrado (na definição do arquivo NEC) o qual forma um ângulo de 90° com a orientação da antena. A impedância média obtida foi de aproximadamente $(120-j113)\Omega$ para simulação com o dipolo dobrado com frequência central de 146MHz.

4.2.2 Arranjo de Antenas Yagi-Uda Cruzadas

A combinação de duas ondas linearmente polarizadas, uma vertical e outra horizontal, de mesma amplitude e eletricamente defasadas de 90° resulta em uma onda circularmente polarizada. A Figura 17 apresenta uma representação da combinação de duas ondas linearmente polarizadas, vertical e horizontal, defasadas de 90° .

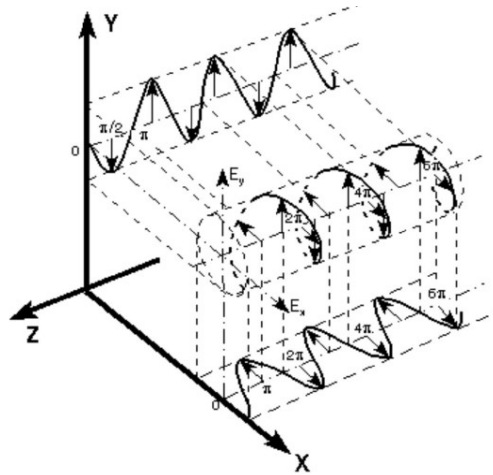


Figura 17 – Combinação de duas ondas linearmente polarizadas vertical e horizontal defasadas de 90° para obtenção de polarização circular.

Fonte: <http://www.qsl.net>.

Conforme apresentado por PY4ZBZ existem dois métodos de obter-se polarização circular a partir de antenas Yagi-Uda: (i) colocar duas antenas cruzadas a 90° sem deslocamento longitudinal e alimentá-las com sinais defasados em 90° ; ou (ii) alimentar os dipolos em fase, porém deslocando um dos dipolos de $\frac{1}{4}$ de onda ($\lambda/4$) longitudinalmente na direção de propagação.

Uma opção para a conexão das antenas com arranjo lineares sem deslocamento dos elementos (método (i)) é apresentado na Figura 18, a qual possibilita a variação das polarizações circulares direita e esquerda. O cabo de $\frac{1}{4}$ de onda de 50Ω fornece a diferença de fase necessária para obtenção da polarização circular.

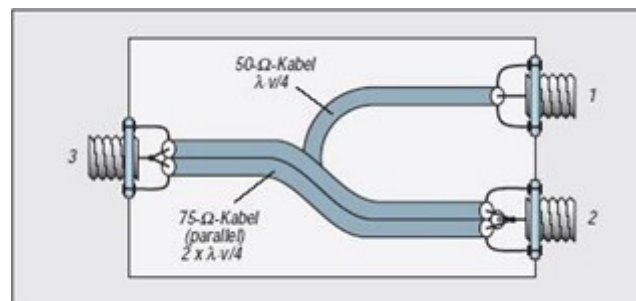


Figura 18 – Circuito para conexão de antenas lineares cruzadas para obtenção de polarização circular

Fonte: <http://www.qsl.net>.

O circuito para polarização circular apresentado na Figura 18 proporciona a obtenção das seguintes configurações:

- Polarização Circular Direita (*Right Hand Circular Polarization* – RHCP): conector plano horizontal em 1, conector plano vertical em 2 e conector para o transceptor em 3.
- Polarização Circular Esquerda (*Left Hand Circular Polarization* – LHCP): conector plano horizontal em 2, conector plano vertical em 1 e conector para o transceptor em 3.

Para utilização do circuito da Figura 18 é necessário que as antenas apresentem impedância de 50Ω . Para o presente projeto, a antena do Projeto Radioastronomia esta sendo ajustada para a frequência de 146 MHz utilizando para o casamento de impedância o projeto de um estube simples e para o balanceamento um balun 1:1. Uma representação do balun utilizado é apresentada na Figura 19, o qual é a forma mais simples de conectar a antena (balanceada) e o cabo coaxial (desbalanceado).

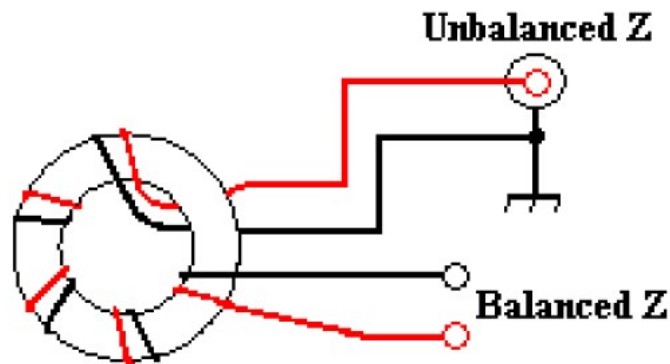


Figura 19 – Balun 1:1 de núcleo de ferrite para conexão entre a antena e o cabo coaxial

O projeto de um estube simples para o casamento de impedância foi desenvolvido com auxílio da Carta de Smith e considerando a impedância complexa da antena obtida em simulação no aplicativo 4NEC2, de $(120-j113) \Omega$. O valor de impedância ficou próximo ao obtido através de medições práticas. As dimensões dos segmentos de linha l_1 e l_2 projetados são apresentadas na Figura 20.

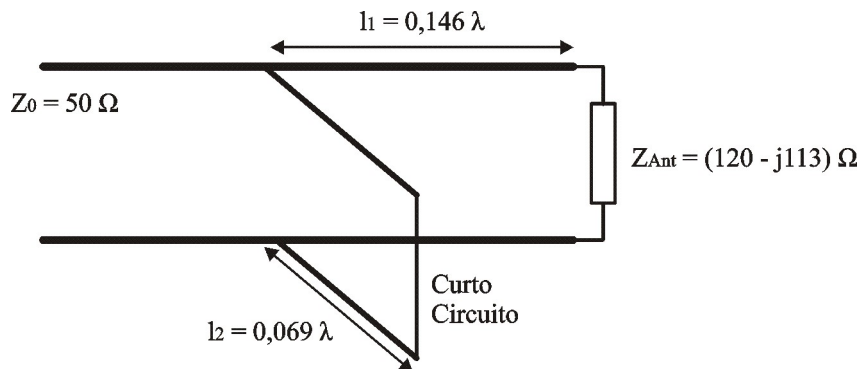


Figura 20 – Dimensões dos segmentos de linha l_1 e l_2 do estubo simples projetado para casamento de impedância da antena do Projeto Radioastronomia.

Uma antena do Projeto Radioastronomia está sendo montada a partir dos projetos apresentados e está sob testes e ajustes no Laboratório de Radiofrequência e Comunicações. Os resultados obtidos serão apresentados em trabalhos futuros, pois não foram concluídos até a finalização do presente Relatório.

4.3 ESPECIFICAÇÃO DO ROTOR

A especificação do rotor deve levar em conta a necessidade de controle dos ângulos de elevação e azimute, além de possibilitar o controle de forma automática do sistema, proporcionando a ampliação da precisão do sistema de rastreamento dos satélites. Além disso, o sistema a ser implementado deve observar as características de baixo custo propostas pelo padrão de desenvolvimento de projetos de pequenos satélites do tipo CubeSat.

Como ferramenta para a previsão de órbita e o rastreamento dos satélites, através de uma pesquisa desenvolvida em parceria com alguns radioamadores da região de Santa Maria - RS (USRA), optou-se pela utilização do aplicativo Orbitron (versão 3.71). Este aplicativo foi desenvolvido por Sebastian Stoff para os propósitos de utilização de radioamadores e observadores como usuários de satélites de comunicação e meteorológicos. O aplicativo encontra-se disponível no endereço eletrônico do autor e

segundo os usuários é uma das ferramentas de previsão de órbita e rastreamento de satélites com maior facilidade de utilização disponível gratuitamente.

O Orbitron disponibiliza a previsão de órbita de diversas classes de satélites através da seleção e atualização de arquivos TLE (*Two Line Elements*). São calculados e disponibilizados para os usuários a partir da informação da localização geográfica da Estação Terrena os ângulos de azimute e elevação para o rotor, e a compensação de frequência para o Efeito Doppler para satélites de órbita baixa, conforme mostrado na Figura 21. Na imagem foi selecionado o CubeSat do projeto SuwissCube o qual encontrava-se em operação (abril, 2010).

Uma das vantagens desta ferramenta é o código aberto, o qual pode ser solicitado ao autor através do envio de um cartão postal da cidade do solicitante (radioamador ou estudante) interessado. Esta solicitação encontra-se sob avaliação junto aos bolsistas diretamente envolvidos com o sistema de solo da Estação Terrena do NanosatC-Br.

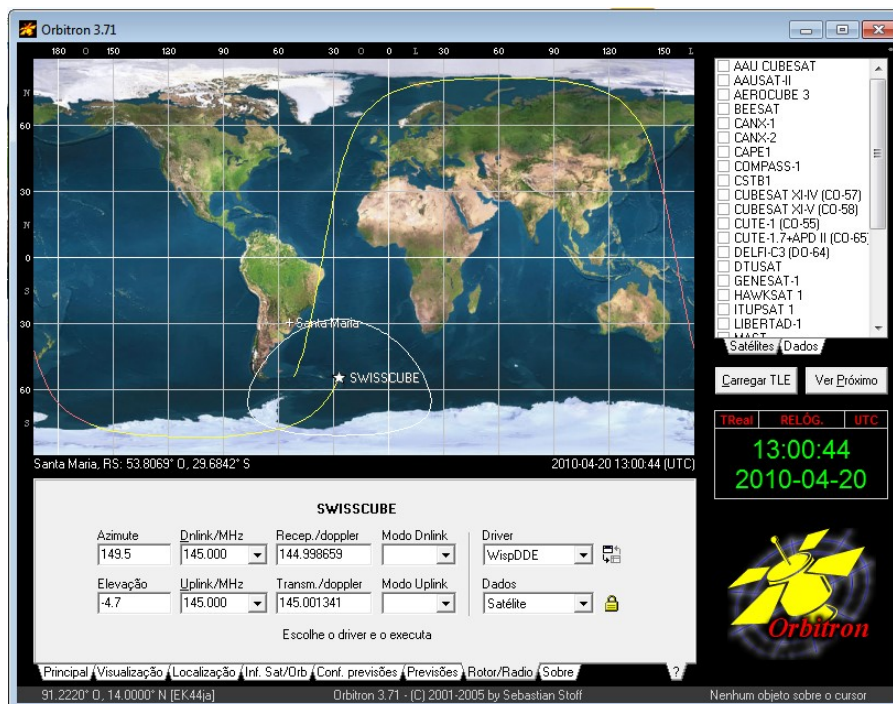


Figura 21 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas e rastreamento de satélites Orbitron 3.71

Alguns aplicativos foram desenvolvidos e são disponibilizados por radioamadores para fazer a interface entre as informações do Orbitron e os equipamentos da Estação (rotor e rádio transceptor). Os aplicativos suportados pelo Orbitron, disponíveis na aba *Driver* Rotor/Rádio, são: Alarm, MyDEE, SpidAlfa e WispDEE. Estes drives fornecem a interface entre *software* e *hardware* para o controle e a operação dos principais modelos de rotores e rádios utilizados por radioamadores. A Figura 22 ilustra as informações do drive WispDEE a partir do satélite selecionado no Orbitron.

O WispDEE Client é um aplicativo para controlar rotores e rádios a partir de cálculos efetuados por um programa de rastreamento de satélites que opera em separado. O aplicativo trabalha em ambiente Windows e fornece uma maneira prática de transferir informações através de *Dynamic Data Exchange* ou DEE.

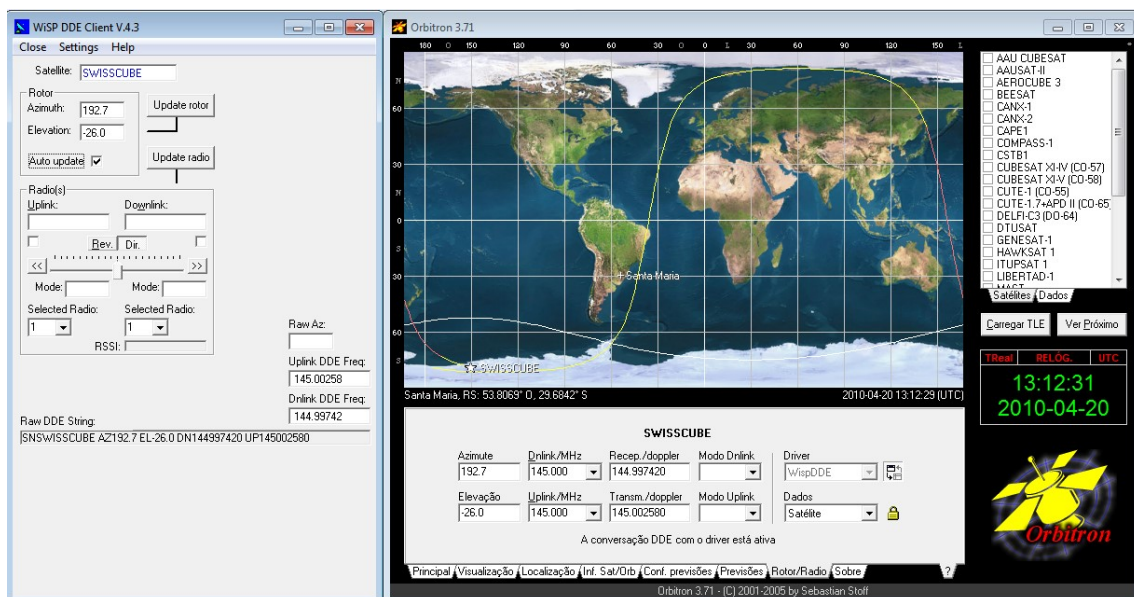


Figura 22 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas Orbitron 3.71 e do drive WispDEE

Para especificar o rotor buscou-se identificar os principais modelos utilizados por radioamadores que apresentam suporte pelos drives já desenvolvidos de forma a

facilitar a integração dos equipamentos. Outros fatores observados foram à precisão, a disponibilidade de interfaces para o controle por computador e o baixo custo.

Atendendo a estas características foi sugerido adquirir o rotor fabricado pela YAESU modelo G-5500 junto à interface de controle por computador GS-232, conforme apresentados na Figura 23. A interface GS-232 é suportada pelo driver WispDEE, de forma que poderia ser combinado com o Orbitron para o rastreamento de diversos satélites.

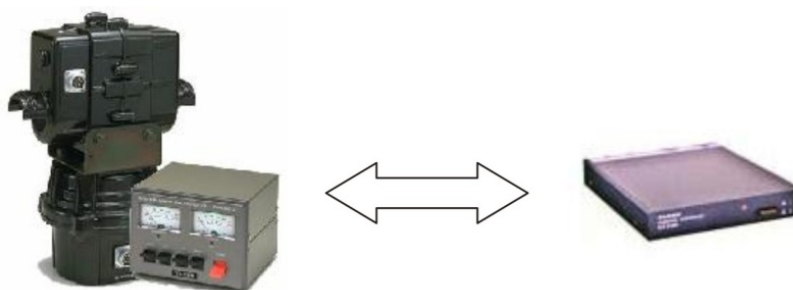


Figura 23 – Rotor G-5500 e a interface de controle por computador GS-232 da YAESU

Fonte: <http://www.yaesu.com>

Outro fator que influenciou na escolha foi à disponibilidade de um equipamento do mesmo modelo na sede do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) de São José dos Campos-SP, de forma que técnicos da instituição já possuem experiência com a utilização e configuração do equipamento.

O rotor Yaesu G-5500 fornece o controle dos ângulos de azimute (450°) e elevação (180°) de arranjos de antenas direcionais de médio e grande porte através de controle remoto proveniente da estação de rastreamento de satélites (YAESU, 2010). Os rotores podem ser montados juntos sobre uma torre (suporte - MAST), conforme a Figura 24, ou independentemente com o rotor de azimute dentro de uma torre e rotor de elevação sobre a mesma.

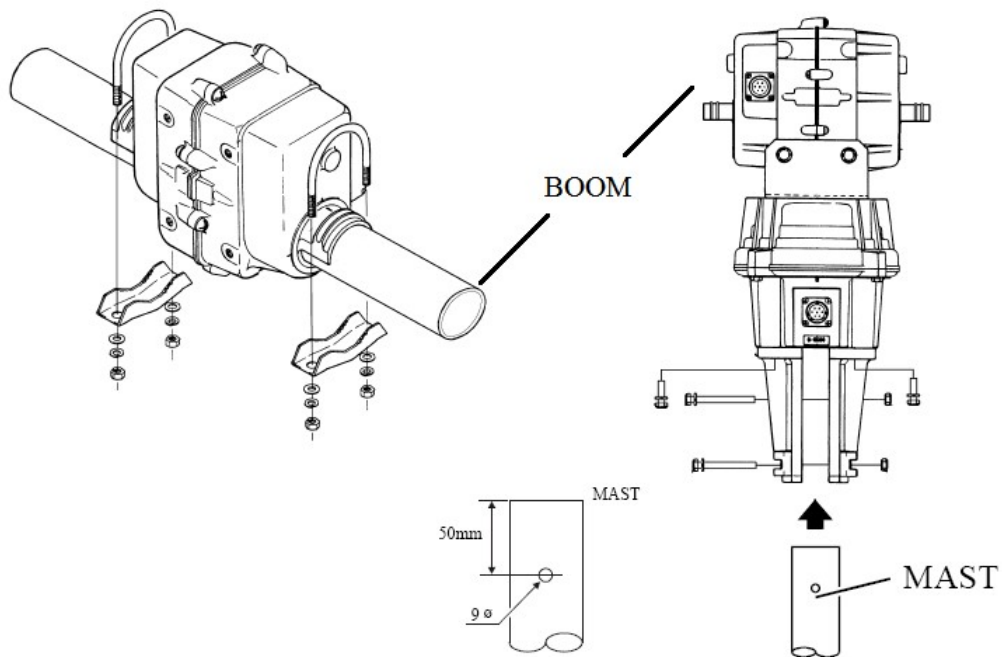


Figura 24 – Montagem e instalação do Rotor G-5500 da YAESU

Fonte: Manual de instruções rotor Yaesu G-5500.

O rotor pode acomodar duas antenas sobre o suporte (BOOM), as quais são fixadas nas partes finais do suporte, uma de cada lado do rotor. As principais características do rotor YAESU G-5500 e da interface para o controle por computador GS-232 são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Especificações do Rotor de Azimute e Elevação G-5500 da YAESU

Especificações rotor G-5500	
Requerimentos de tensão	110 ou 220 V (AC)
Tensão do motor	24 V (AC)
Tempo aproximado de rotação (60Hz)	• Elevação (180°): 67 s; • Azimute (360°): 58 s
Torque de rotação	• Elevação: 14 kgf·m; • Azimute: 6 kgf·m
Torque de frenagem	• Elevação: 40 kgf·m; • Azimute: 40 kgf·m
Carga vertical	200 kg
Acurácia de apontamento	±4% (elevação: ±7,2°; azimute: ±14,4°)
Superfície de arraste	1 m ²
Cabos de controle (não fornecidos)	2 x 6 condutores - #20 AWG ou maior
Diâmetro da torre (MAST)	38 - 63 mm
Diâmetro do suporte (BOOM)	32 - 43 mm
Pesos	Rotores: 9 kg Controlador: 3 kg

Fonte: Manual de instruções rotor Yaesu G-5500.

Tabela 5 – Especificações da Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU.

Especificações Interface de Controle por Computador	
Requerimentos de potência	12 V (DC), 110 mA
Peso (aproximado)	380 g
Comunicação serial	Níveis de tensão RS-232C Dados de 8bits (150-9600 bauds)
Serial I/O	Conector 9-pin DB-9

Fonte: Manual de instruções interface de controle por computador Yaesu GS-232.

A forma de ligação do Rotor G-5500 YAESU e a sua interface de controle por computador GS-232 são apresentadas na Figura 25..

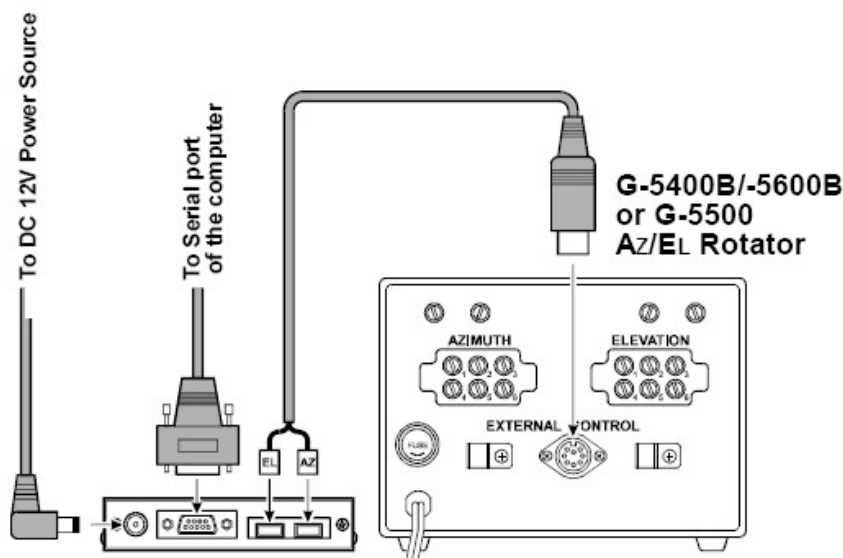


Figura 25 – Conexões de controle e potência do Rotor G-5500 e a Interface de Controle por Computador GS-232 da YAESU

Fonte: Manual de instruções interface de controle por computador Yaesu GS-232.

4.4 ESPECIFICAÇÃO DO RÁDIO TRANSEPTOR

A especificação do rádio transceptor para montagem da Estação Terrena foi efetuada considerando uma análise de cálculo simplificado de enlace baseado no modelo de Propagação no Espaço Livre. A Equação 3.1 determina a potência recebida (P_r) em função da distância (d), a partir dos parâmetros do ganho da antena transmissora (G_t), ganho da antena receptora (G_r), potência transmitida (P_t) e comprimento de onda do sinal (λ).

As informações de subsistema de bordo (transceptor e antenas) consideradas na análise para a especificação dos equipamentos foram relativas à possível compra de um CubeSat junto a empresa holandesa ISIS.

$$P_r(d) = G_t G_r P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.1)$$

Com referência a antena de recepção, optou-se por utilizar os ganhos obtidos com a simulação da antena do Projeto Radioastronomia, por se tratar do arranjo que obteve o menor ganho além de ser a antena disponível no Laboratório. A determinação do ângulo de elevação da antena, que determina a distância entre o satélite e a ET, conforme requisito para escolha do local de uma estação terrena deve estar entre 0° e 5°. Como não se dispunha de informações do mapeamento do ambiente (figura do horizonte), optou-se por dimensionar o sistema para o pior caso (ângulo de elevação 0°). A Equação 3.2 determina a distância do satélite a Estação Terrena (R) em função do ângulo de elevação da antena da ET (ε) e da altitude de órbita do satélite (h), onde R_T é o raio da Terra.

$$R = \sqrt{(R_T + h)^2 - (R_T \cdot \cos \varepsilon)^2} - R_T \cdot \sin \varepsilon \quad (3.2)$$

O variação da distância entre o NanosatC-Br e a Estação Terrena, quando o mesmo está aproximando-se da ET, considerando o lançamento em órbita de 700km de altitude é apresentada na Figura 26. A variação da potência recebida pelo receptor, desconsiderando as perdas de conexão dos equipamentos da ET é apresentada na Figura 27 para o enlace de descida (*downlink*).

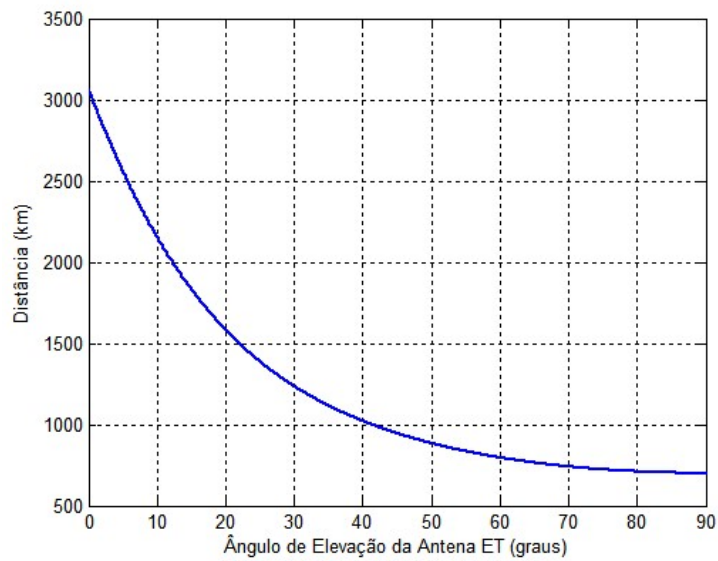


Figura 26 – Variação da distância do NanosatC-Br a Estação Terrena em função do ângulo de elevação das antenas da ET

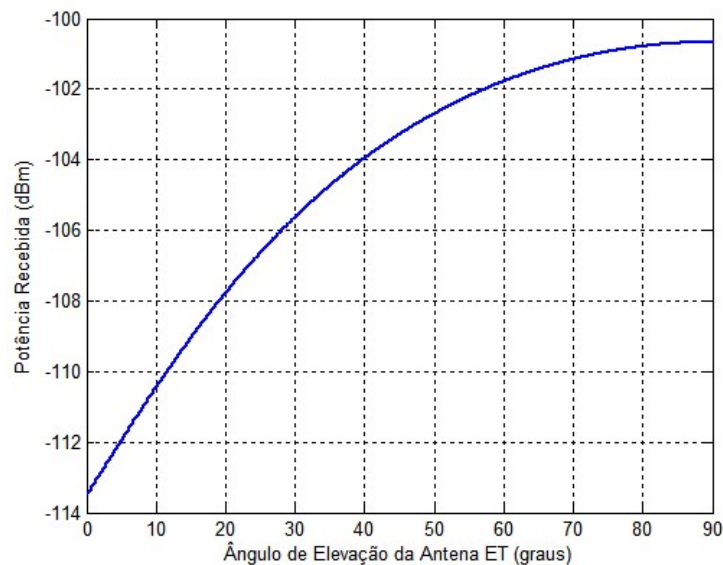


Figura 27 – Nível de potência recebida na Estação Terrena do NanosatC-Br em função do ângulo de elevação das antenas da ET

Para determinar o valor de referência para a sensibilidade do rádio foi adicionado um fator de desvanecimento de 10% (para os valores em dBm) para elevar a segurança do projeto. Dessa forma, conforme a análise proposta a sensibilidade mínima deverá ser de aproximadamente -125 dBm.

Com referência a potência máxima de transmissão, em caso de operação de controle de um satélite foi estabelecido arbitrariamente a potência máxima de 100W. Esta potência foi estabelecida por se tratar da máxima potência de irradiação permitida para sistemas controlados por radioamadores da classe C, conforme regulamentos da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações).

Porém uma análise foi efetuada para determinar a mínima potência a ser fornecida que possibilite o transceptor do satélite NanosatC-Br a receber os sinais de controle, uma vez que o satélite utilizará um transceptor com sensibilidade de 100dBm. O ganho da antena de solo UHF utilizado foi de 12 dBi, conforme projeto disponibilizado por PY2BBS (ANEXO B).

A mínima potência a ser fornecida pelo receptor, considerando uma margem de desvanecimento de 10% (para valores em dBm) é de aproximadamente 50 W. A Figura 28 apresenta os cálculos de enlace de comunicação de *downlink* e *uplink* para o Projeto NANOSATC-BR1.

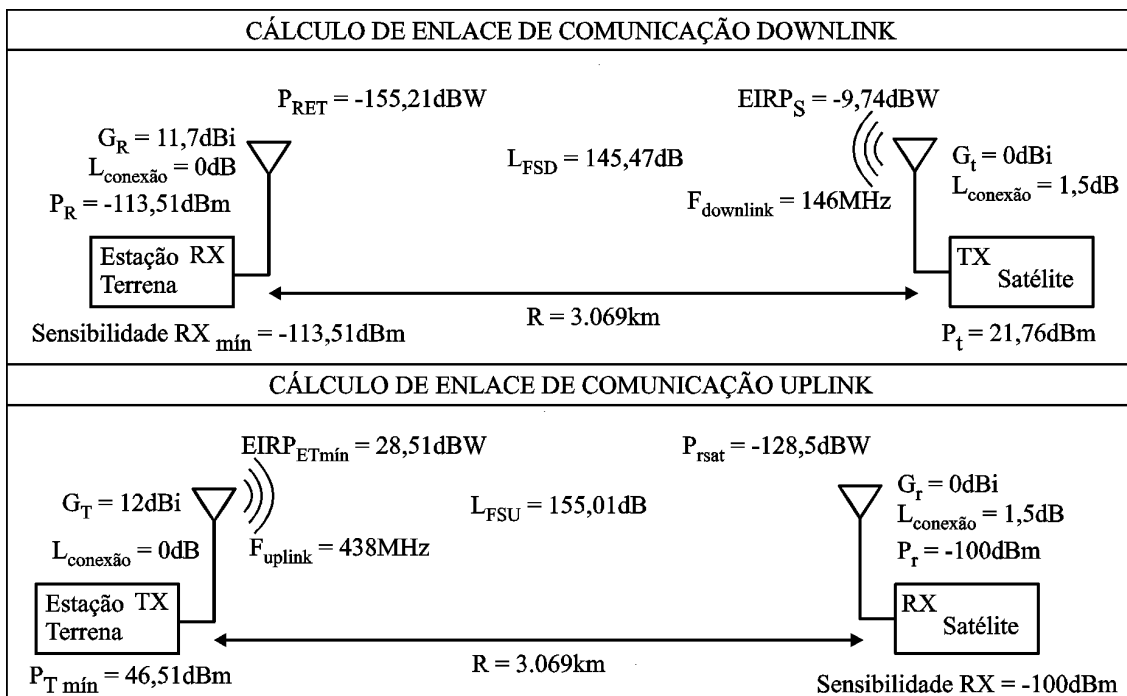


Figura 28 – Cálculo de enlace de comunicação de *downlink* e *uplink* para especificação do rádio transceptor da Estação Terrena do projeto NANOSATC-BR1

A partir das especificações mínimas obtidas com os cálculos de enlace de comunicação buscou-se desenvolver uma pesquisa dos principais rádios utilizados pelos radioamadores e projetos de outros CubeSats. Além das especificações de sensibilidade e potência de transmissão foram observadas as características de custo, disponibilidade no mercado nacional, bem como disponibilidade de interfaces para controle por computador. Contou-se novamente nesta etapa com algumas sugestões dos radioamadores locais.

Dentre os modelos observados o rádio transceptor Icom IC-910H foi selecionado, em conjunto com a interface de comunicação para controle por computador CT-17, conforme mostrado na Figura 29. Este rádio apresenta operação duplex nas faixas de frequência VHF e UHF de radioamadores, e tem a possibilidade de expansão através de um módulo para faixas de 1,2GHz (Banda S). Além disso, foi observado que este transceptor foi desenvolvido para operação de satélites por radioamadores e apresenta possivelmente suporte para operação via o driver WispDEE e o Orbitron. Esta hipótese não foi comprovada pois o drive exige a conexão do rádio transceptor ao computador de controle.

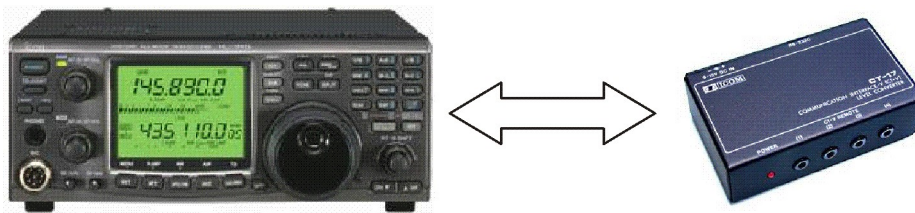


Figura 29 – Rádio transceptor Icom IC-910H e interface de comunicação CI-V CT-17 para Estação Terrena do projeto NANOSATC-BR1.

Fonte: <http://www.icomamerica.com>.

As especificações do rádio transceptor IC-910H são apresentadas na Tabela 6, observando em destaque as características de sensibilidade do receptor e potência de transmissão.

Tabela 6 – Especificações do Rádio Transceptor IC-910H da ICOM

Especificações Rádio Transceptor IC-910H	
Potência de Transmissão	144 MHz: 5 - 100 W 430 MHz (440): 5 – 75 W
Sensibilidade do receptor	SSB/CW (S/N 10 dB): 0,11 μ V (-126 dBm) FM (S/N 12 dB): 0,18 μ V (-122 dBm)
Modulação	SSB FM
Faixas de Frequência (modelo EUA)	TX: 144 – 148 MHz e 430 - 440 MHz. RX: 136 – 174 MHz e 420 – 480 MHz
Resolução de frequência	1 Hz (mínima)
Conectores das antenas	SO-239 (50 Ω – VHF) Tipo-N (50 Ω – UHF)
Fonte de alimentação	13,8 V DC \pm 15%
Corrente drenada aproximada para 13,8V DC	Transmissor: 23,0 A (máxima potência) Receptor: 2,0 A (<i>standby</i>) 2,5 A (máximo áudio)

Fonte: Manual de Instruções Rádio Transceptor IC-910H ICOM.

4.5 ARQUITETURA DA ESTAÇÃO TERRENA

A partir das especificações dos equipamentos para montagem de uma Estação Terrena de Rastreo, Recepção e Controle de satélites nas faixas VHF e UHF destinadas a radioamadores foi proposto um diagrama com a arquitetura básica da Estação Terrena de Rastreo e Controle do NANOSATC-BR1 (Figura 30). Esta análise considera os equipamentos e alguns aplicativos para o rastreo dos satélites e interface, e não contempla a análise de processamento de sinais a qual será uma etapa a ser desenvolvida na sequência do presente projeto ou através de outro projeto de pesquisa.

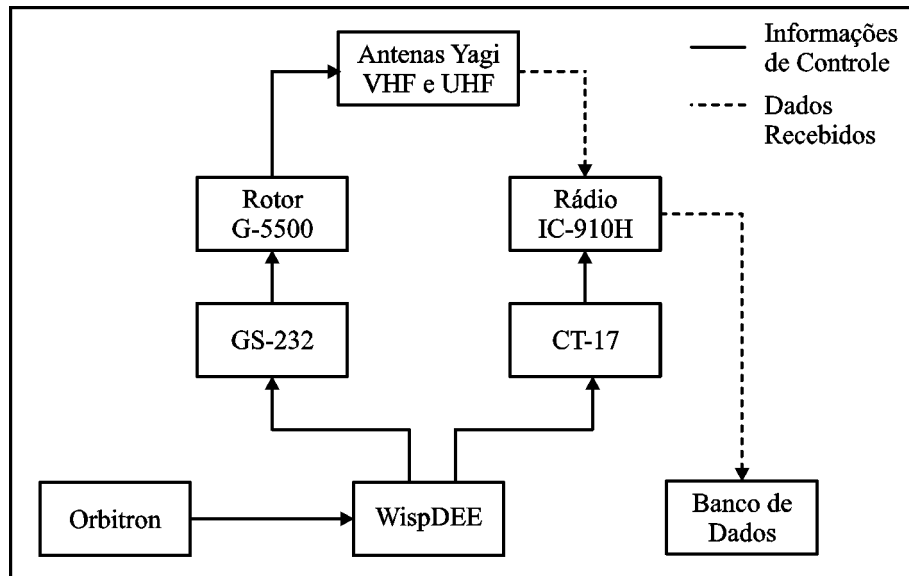


Figura 30 – Arquitetura básica para Estação Terrena do projeto NANOSATC-BR1.



CAPÍTULO 5

ESTAÇÃO TERRANA II

Como apresentado no Capítulo 2, o subsistema de bordo do satélite NANOSATC-BR1 consiste em uma solução comercial, apresentando as especificações de faixas de frequência, modulação, potências e sensibilidade do transceptor pré-definidas. A Estação Terrena de Rastreo e Controle do NANOSATC-BR1 deverá atender inicialmente as especificações do subsistema de bordo e possibilitar adaptações do sistema para rastreo de outros satélites CubeSats em um segundo momento. Para atender o segundo objetivo deve-se observar a compatibilidade do sistema a ser implementado com outros projetos que vem sendo desenvolvidos por outras universidades e a participação na *Global Educational Network for Satellite Operations* (GENSO).

A Tabela 7 apresenta as principais características da Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites do referido projeto, de acordo com as especificações iniciais do subsistema de comunicação de bordo.

Tabela 7 – Parâmetros Iniciais da Estação Terrena de Rastreo e Controle de Satélites do Projeto NANOSATC-BR1 – Clima Espacial.

Descrição dos Parâmetros	<i>Downlink</i>	<i>Uplink</i>
Faixas de Frequência de Operação	144 - 148 MHz	430 - 440 MHz
Potência do transmissor	-	< 100 W (emissão máxima radioamador Classe C)
Sensibilidade do Receptor	Determinada por cálculo de enlace	-
Taxa de transferência de dados	1200 bps	300-1200 bps
Modulação	<i>Raised-Cosine Binary Phase Shift Keying (BPSK)</i>	<i>Audio Frequency Shift Keying (AFSK)</i>
Protocolo de Comunicação	AX.25	AX.25

É apresentado uma estação comercial completa fornecida pela empresa holandesa ISIS que apresenta compatibilidade com o sistema de bordo do NANOSATC-BR1 e com a GENSO, e é baseada na estação utilizada no projeto Delfi-C3.

2.5 ESTAÇÃO TERRENA UHF/VHF/S-BAND ISIS

A Estação Terrena de Comunicação UHF/ VHF/S-BAND foi projetada pela ISIS especificamente para estabelecer contatos com pequenos satélites, tais como CubeSats, em órbita baixa utilizando frequências destinadas a radioamadores. Esta Estação, para uso em ambiente universitário, tem seu projeto baseado na comprovada Estação Terrena de Rastreo e Controle da *Delft University of Technology* desenvolvida para o rastreo e comando do satélite Delfi-C3, a qual vem sendo utilizada com sucesso para fornecer suporte durante Missões de projetos de nanosatélites.

A ISIS pode fornecer uma versão compacta dessa Estação Terrena que contém todos dispositivos necessários para comunicação com pequenos satélites, apresentando as seguintes características (CUBESAT SHOP ISIS, 2010):

- Estação terrena UHF/VHF/S-Band, com antenas orientáveis, a qual pode de forma autônoma rastrear satélites selecionados usando um sistema de orientação de antenas;
- Instalação compacta do equipamento da estação terrena (exceto o sistema da antena) ajustado dentro de um *rack* simples 12U-19”;
- Apresenta possibilidade de operação remota através da internet;
- Compatibilidade com a *Global Educational Network for Satellite Operation* (GENSO);
- Antena Yagi VHF – ganho 12 dBic (RHCP - LHCP comutável);
- Antena Yagi UHF – ganho 16 dBic (RHCP - LHCP comutável);
- Antena com refletor parabólico Banda S – ganho 21 dBic RHCP (faixa de frequência de 2400 – 2402 MHz);
- Amplificadores VHF e UHF de baixo ruído;
- Proteção contra raios;
- Faixas de frequência: 144 - 146 MHz, 430 – 440 MHz e 2400 – 2402 MHz, as quais podem ser estendidas sob solicitação;
- Rotor de azimute e elevação para cargas pesadas;
- Terminal Central de Controle (*Terminal Node Control* - TNC) para sinais modulados em AFSK, FSK e BPSK, com taxas de transferência entre 1200 – 9600 bps, o qual utiliza protocolo AX.25;
- Fonte de tensão ininterrupta;
- Um computador com o aplicativo de rastreamento de satélites.

Por se tratar da mesma empresa que fornecerá o subsistema de comunicação de bordo há a garantia de compatibilidade entre o subsistema de bordo e o subsistema de

solo, acelerando a implementação da Estação Terrena do projeto NANOSATC-BR1. As informações apresentadas são resumidas, pois foram obtidas de informativos de venda no endereço eletrônico da ISIS.

Na Figura 31 é apresentada a disposição das antenas Yagi-Uda VHF e UHF, e da antena parabólica para Banda-S fixadas ao suporte do rotor da Estação Terrena da ISIS.



Figura 31 – Distribuição das antenas da Estação Terrena de Comunicação desenvolvidas pela empresa ISIS. Fonte: <http://www.cubesatshop.com>.

2.6 CRONOGRAMA

O Cronograma revisado referente ao Projeto NANOSATC-BR1 foi estruturado com planejamento de atividades mensais, em blocos por trimestre, conforme apresentado na Tabela 8.



Tabela 8 - Cronograma revisado das atividades do Projeto NANOSATC-BR1.

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

Fonte: Schuch et al, 2011.



CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Relatório teve como enfoque a abordagem de soluções pensadas referentes à implementação de uma Estação Terrena (ET) de rastreamento e controle para NANOSATC-BR1, ambas desenvolvidas pelo ex-bolsista Igor Freitas Fagundes, onde foram organizadas e expostas de forma clara suas vantagens e desvantagens, bem como desenvolvimento teórico e técnico.

A solução (i) consiste na aquisição de equipamentos utilizados por radioamadores que seriam integrados em laboratório de acordo com as especificações de projeto. Enquanto a (ii) refere-se a compra de uma ET completa importada fornecida por uma empresa especializada.

A opção a ser integrada a partir de equipamentos utilizados por radioamadores avaliada (i) consiste na proposta de uma arquitetura básica, a qual não contempla os equipamentos ou soluções para o processamento de dados de telemetria e telecomando. As especificações apresentadas referem-se aos principais equipamentos: antenas, rotor e rádio transceptor, e as suas interfaces de controle por computador, bem como os aplicativos para o controle dos referidos equipamentos e para o rastreamento de satélites (aplicativo de previsão de órbita). As principais vantagens da utilização destes são o desenvolvimento de soluções de engenharia pela equipe envolvida na integração dos equipamentos, a troca de experiências com os radioamadores da região de Santa Maria – RS, os quais manifestaram interesse em participar do projeto, e o menor custo para aquisição dos equipamentos iniciais propostos.

A solução importada completa (ii) corresponde à *UHF/VHF/S-BAND Ground Station* fornecida pela empresa holandesa ISIS. A aceleração da implementação da ET do Projeto NANOSATC-BR1 e a garantia de compatibilidade entre os subsistemas de comunicação de bordo e de solo, por se tratar da mesma empresa fornecedora, correspondem ao principal motivo dela ter sido escolhida. O que não significa que a opção (i) tenha sido descartada, visto que se almeja implementá-la mais à frente, tendo



em vista sua importância acadêmica. Como segue o cronograma exposto no Capítulo 5, a instalação da Estação Terrena está prevista entre os meses outubro e novembro.

Como etapa seguinte para este Projeto de Iniciação Científica intitulado “Desenvolvimento de uma Estação Terrena (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro – NANOSATC-BR” está previsto o estudo e o desenvolvimento de *softwares* capazes de realizar a interface entre antena e ET, podendo assim processar dados oriundos do NANOSATC-BR1.



BIBLIOGRAFIA

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 941p.

CUBESAT SHOP - INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). Disponível em: <<http://www.cubesatshop.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.

DA ROSA, G. S et al. **Relatório de visita técnica a UFRGS**. Santa Maria, 2010. 18 p.

ICOM, INC. **Instruction Manual VHF/UHF All Mode Transceiver IC-910H**. Disponível em: <<http://www.icomamerica.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.

ICOM, INC. **CT-17 Communication Interface V (CI-V) Level Converter Instruction Manual**. Disponível em: <<http://www.icomamerica.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.

INPE. **Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE – MCT**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/crs>>. Acesso em: 20 jun. 2011.

JOHNYCARVALHO. **Comunicação via Satélites**. Disponível em: <http://johnycarvalho.com/tele_sat.htm>. Acesso em: 22 jun. 2011.

PY2BBS. **Antena de Polarização Cruzada by PY2BBS**. Disponível em: <http://www.py2bbs.qsl.br/satelite_cross_yagi.php>. Acesso em: 21 jun. 2010.

PA3GUO. **Cross-Yagis for Terrestrial and Satellite Work**. Disponível em: <<http://www.qsl.net>>. Acesso em: 26 maio 2010.

PY4ZBZ. **Polarização de Ondas**. Disponível em: <<http://www.qsl.net>>. Acesso em: 26 de maio 2010.

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

SCHUCH, N. J. et al. **Projeto Básico Missão NanosatC-Br - Clima Espacial: Versão Um**, 2008. 63 p.



SMARTech. **Specifications for SMART Station™ HRPT Professional (170R).**

Disponível em: < <http://www.ulrnc.org.ua/station/pro170r98pdf.pdf> >. Acesso em: 16 de jun. 2010.

SMARTech. **Professional HRPT SMART Station Instalation Guide Version 2.5.**

SMARTech. 47 p.

VIEZBICKE, P. P. **Yagi Antenna Design.** NBS Technical Note 688, 1976. 30 p.

YAESU **Instruction Manual G-5500.** Disponível em: <<http://www.yaesu.com>>.

Acesso em: 27 de abr. 2010.

YAESU. **GS-232A Computer Control Interface for Antenna Rotators.** Disponível

em: <<http://www.yaesu.com>>. Acesso em: 27 de abr. 2010.



ANEXO A

Descrição do método NBS de projeto prático das antenas Yagi-Uda.

Passo 1: Marcar o comprimento dos elementos dispostos na Tabela A1 sobre a curva (B) referente a antena Yagi-Uda de $2,2\lambda$ de comprimento na Figura A1, os comprimentos representam o caso de $d/\lambda=0,0085$.

Passo 2: Marcar o ponto para a razão $d/\lambda=0,0046$ sobre a curva (B) para a antena Yagi-Uda de $2,2\lambda$ de comprimento na Figura A1, obtendo o comprimento do elemento diretor 1 $LD1=0,444\lambda$.

Passo 3: Para a mesma razão $d/\lambda=0,0046$, determinar o comprimento compensado do refletor na curva (B), $LR=0,485\lambda$.

Passo 4: Medir a distância entre os pontos marcados para o diretor D1 até o diretor D2 na direção horizontal, para o caso de $d/\lambda=0,0085\lambda$ marcados no Passo 1. Na sequência transpor esta distância a partir do ponto D1 determinado no Passo 2, e marcar este ponto sobre a curva dos diretores, obtendo o comprimento $LD2=0,422\lambda$. De forma semelhante são medidas as distâncias entre os demais elementos, obtendo os seguintes comprimentos: $LD3=0,413\lambda$; $LD4=0,402\lambda$; $LD5-LD10=0,394\lambda$.

Passo 5: Aos comprimentos estabelecidos do Passo 4 devem ter adicionados um fator de correção o qual leva em consideração o diâmetro do suporte e a frequência de operação, conforme a Figura A2. Para a relação $D/\lambda=0,0104$, conforme a curva da Figura A2, cada comprimento deve ser compensado por $0,0068\lambda$.

Os comprimentos dos elementos compensados são: $LR=0,4918\lambda$; $LD1=0,4508\lambda$, $LD2=0,4288\lambda$; $LD3=0,4198\lambda$; $LD4=0,4088\lambda$; $LD5-LD10=0,4008\lambda$.

Tabela A.1 – Comprimentos otimizados para os elementos de antena Yagi-Uda de seis comprimentos diferentes

Diâmetro do elemento (d/λ) = 0,0085 $f = 400\text{MHz}$ Espaçamento R-Alimentador = $0,2\lambda$		Comprimento da antena Yagi-Uda em função de λ					
		0,4	0,8	1,20	2,2	3,2	4,2
Comprimento do refletor em λ		0,482	0,482	0,482	0,482	0,482	0,475
Comprimento do diretor em função de λ	1°	0,424	0,428	0,428	0,432	0,428	0,424
	2°		0,424	0,420	0,415	0,420	0,424
	3°		0,428	0,420	0,407	0,407	0,420
	4°			0,428	0,398	0,394	0,407
	5°				0,390	0,394	0,403
	6°				0,390	0,390	0,398
	7°				0,390	0,386	0,394
	8°				0,390	0,386	0,390
	9°				0,398	0,386	0,390
	10°				0,407	0,386	0,390
	11°					0,386	0,390
	12°					0,386	0,390
	13°					0,386	0,390
	14°					0,386	
	15°					0,386	
Espaçamento entre diretores em λ		0,20	0,20	0,25	0,20	0,20	0,308
Ganho relativo ao dipolo de meia-onda em dB		7,1	9,2	10,2	12,25	13,4	14,2
Curva de projeto (ver Figura A1)		(A)	(C)	(C)	(B)	(C)	(D)

Fonte: Adaptado de NBS Technical Note 488 - Yagi Antenna Design

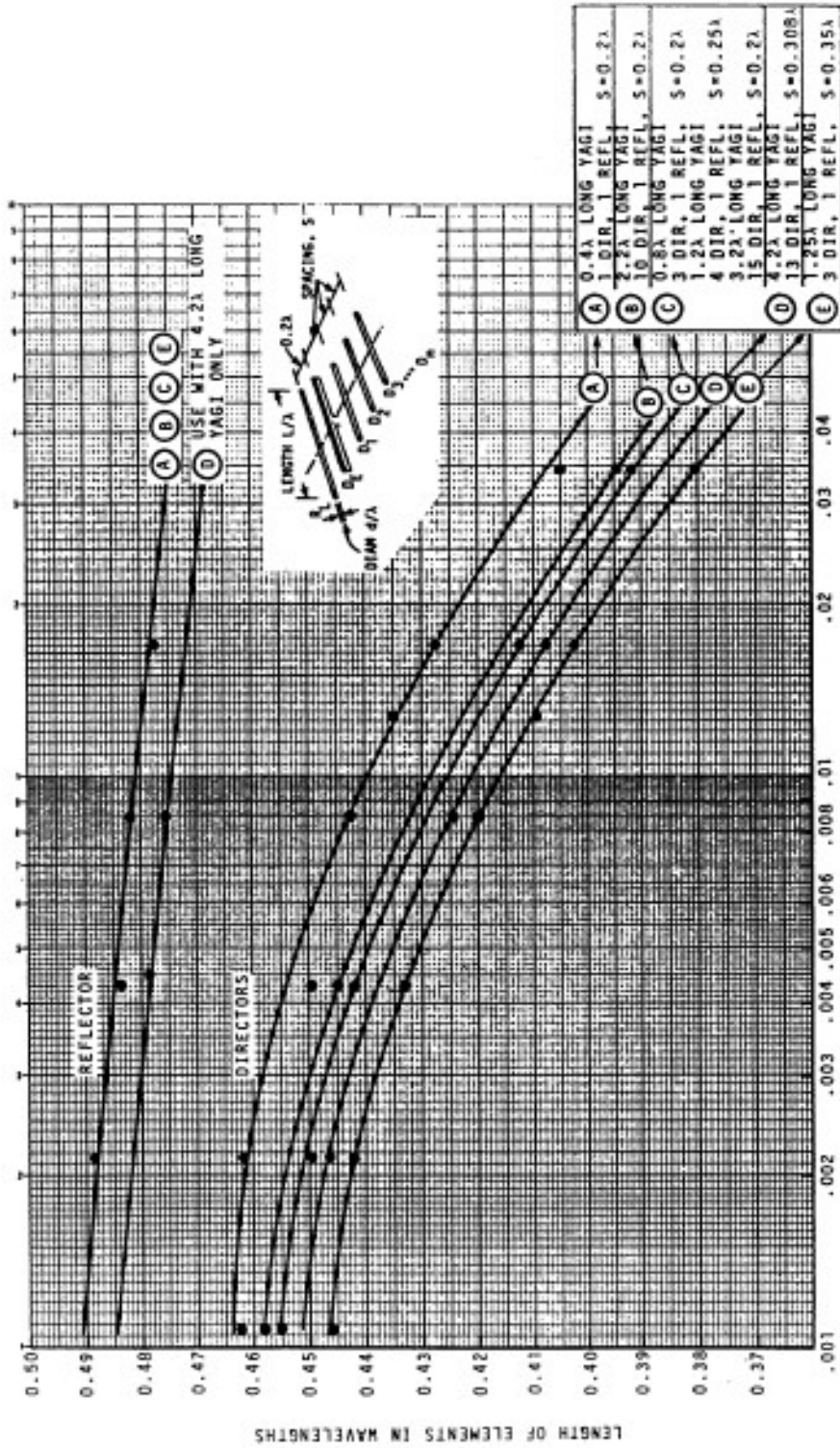


Figura A.1 – Dados para o projeto de antenas Yagi-Uda mostrando a relação entre a razão do diâmetro do elemento pelo comprimento de onda λ e o comprimento do elemento para diferentes antenas

Fonte: Adaptado de NBS Technical Note 488 - Yagi Antenna Design.

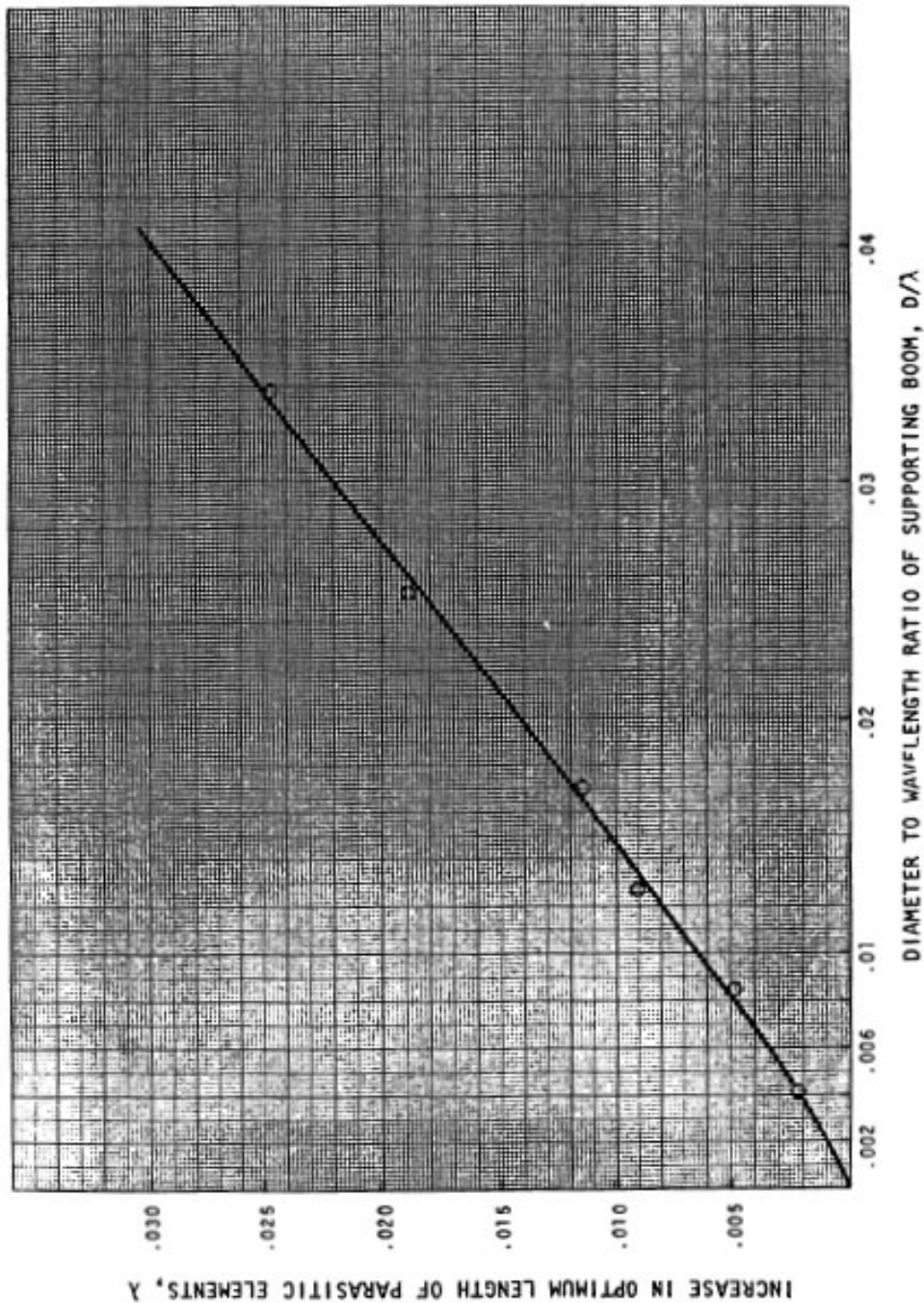


Figura A.2 – Gráfico mostrando o efeito do diâmetro do suporte no comprimento dos elementos

Fonte: NBS Technical Note 488 - Yagi Antenna Design.

ANEXO B

Antena Yagi-Uda cruzada de polarização circular para faixa UHF do radioamador PY2BSS.

Tabela B.1 – Dimensões da antena Yagi-Uda de 8 elementos do Radioamador PY2BSS

Elemento	Comprimento dos elementos	Espaçamento entre os Elementos
Refletor (R)	0,334m	R-A = 0,192m
Alimentador (A)	0,318m	A-D1 = 0,053m
Diretor (D1)	0,302m	D1-D2= 0,125m
Diretor (D2)	0,298m	D2-D3= 0,152m
Diretor (D3)	0,2925m	D3-D4= 0,180m
Diretor (D4)	0,287m	D4-D5= 0,195m
Diretor (D5)	0,2865m	D5-D6 = 0,207m
Diretor (D6)	0,2815m	-

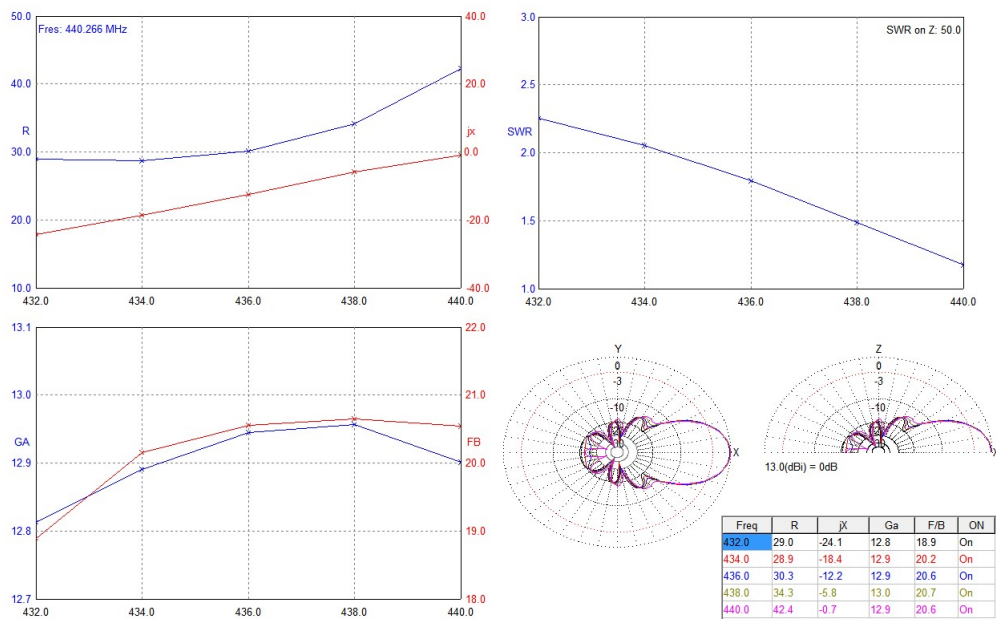


Figura B.1 – Características da antena Yagi-Uda cruzada de 8 elementos do radioamador PY2BSS obtidas através do aplicativo MMANA-GAL



ANEXO C

Participação com apresentação de Trabalhos Científicos e publicação em anais de Congressos em 2009.

Título: PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÃO DO NANOSATC-BR.

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

Evento: XVII Jornadas de Jovenes Investigadores - Universidad, Conocimiento y Desarrollo Regional.

Local: Concordia, Entre Rios - República Argentina.

Período: 27 a 29 de outubro de 2009.

Título: DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA (ET) PARA O NANO-SATÉLITE CIENTÍFICO BRASILEIRO NANOSATC-BR - SICINPE 2009.

Autores: FAGUNDES, I. F.; ROZENFELD, P.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.;

Evento: 24ª Jornada Acadêmica Integrada.

Local: Santa Maria, RS.

Período: 10 a 13 de novembro de 2009.

Título: ESPECIFICAÇÕES PARA A IMPLANTAÇÃO DA ESTAÇÃO TERRENA DE COMUNICAÇÃO DO PROJETO NANOSATC-BR.

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

Evento: XXIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia.

Local: Joinville, SC.

Período: 16 a 18 de novembro de 2009.