

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

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

PROCESSO Nº: 101156/2011-1

Ândrei Camponogara - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI
Laboratório de Radiofrequência e Comunicações
LRC/CRS/CCR/INPE – MCTI
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CCR/INPE – MCTI
E-mail: acamponogara@lacesm.ufsm.br

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

Santa Maria, julho de 2012.



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

PROJETO

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

PROCESSO Nº: 101156/2011-1

Relatório elaborado por:

Ândrei Camponogara - Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI

E-mail: acamponogara@lacesm.ufsm.br

Dr. Pawel Rozenfeld – Orientador

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

E-mail: pawel@ccs.inpe.br

Dr. Nelson Jorge Schuch - Co-orientador

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais

CRS/CCR/INPE – MCTI

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: 101156/2011-1

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 – MCTI.

Co-orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

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.

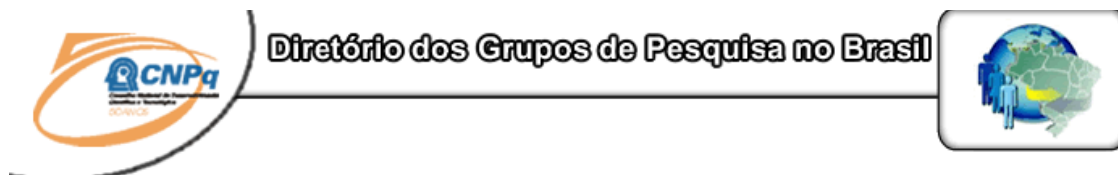


Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

Observatório Espacial do Sul – OES/CCR/INPE – MCTI.

Projeto executado no âmbito da parceria INPE/MCTI – UFSM, através do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



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-MCTI, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCTI, 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



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](#)
[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 – MCTI e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infraestrutura disponibilizada; ao Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCTI 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/MCTI.

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.



RESUMO

O Projeto de Pesquisa tem como objetivo inicial a definição da arquitetura para implementação da Estação Terrena de Rastreamento e Controle (ET) para o Nanosatélite Científico Brasileiro, NANOSATC-BR1. A ET foi instalada na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE – MCTI), em Santa Maria, RS. O Relatório apresenta o sistema adotado para a ET a partir do estudo de duas propostas. A primeira proposta referia-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 proposta corresponde a 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.

Como prosseguimento da proposta adotada, foram realizados estudos bibliográficos referentes à Modulação Digital, dando foco na modulação BPSK, utilizada pelo NANOSATC-BR1 para o envio de pacotes de dados. Em paralelo, buscou-se um bom entendimento do programa Matlab, para fins de auxílio na compreensão da lógica algorítmica que seriam utilizadas em Software de Solo. É relatada a instalação da Estação Terrena de rastreamento e controle feita pela empresa fornecedora do equipamento, ISIS, ocorrida em Dezembro de 2011.



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	16
INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 2	17
O PROJETO NANOSATC-BR –	17
DESENVOLVIMENTO DE CUBESATS	17
2.2 Missão NanosatC-Br1	18
2.3 O PROJETO NANOSATC –BR1	20
2.3.1 Substema de Comunicação de Bordo	21
CAPÍTULO 3	25
ESTAÇÃO TERRENA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
3.1 REQUISITOS FUNCIONAIS	26
3.2 DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTAÇÃO TERRENA PARA O NANOSATC-BR1	27
CAPÍTULO 4	28
ESTAÇÃO TERRENA	28
4.1 Estação Terrena ISIS - UHF/VHF/S-BAND	28
4.2 INSTALAÇÃO DA ESTAÇÃO TERRENA	29
CAPÍTULO 5	35
UM ESTUDO SOBRE MODULAÇÃO DIGITAL	35
5.1 CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL	35
5.1.1 Amostragem	36
5.1.2 Quantização Linear	37
5.1.3 Codificação PCM	40
5.2 CÓDIGOS DE LINHA	40
5.2.1 No return to zero level – NRZ	41
5.2.2 Codificação Pseudoternário	41
5.2.3 Codificação Manchester	41



5.2 MODULAÇÃO BPSK.....	42
CAPÍTULO 6.....	44
SIMULAÇÃO EM MATLAB	44
CAPÍTULO 7	51
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
BIBLIOGRAFIA	52



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Prédio Sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais. Fonte: INPE, 2011.....	18
Figura 2 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Fonte: Heirtzler, 2002.	19
Figura 3 – Região do Eletrojato Ionosférico Equatorial. Fonte: Lühr et al, 2004	19
Figura 4 – Representação visual do NanosatC-Br fornecida pela empresa holandesa ISIS	21
Figura 5 – Transceptor TRXUV1200A desenvolvido pela empresa ISIS	22
Figura 6 – Antenas do tipo fita para as faixas VHF e UHF desenvolvidas pela empresa ISIS	24
Figura 7 – Eixo das antenas de solo	30
Figura 8 – Estação Terrena.....	30
Figura 9 – Montagem das antenas UHF e VHF	31
Figura 10 – Colocação das antenas.....	31
Figura 11 – Antenas	32
Figura 12 – Estação Terrena.....	32
Figura 13 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas e rastreamento de satélites Orbitron 3.71	33
Figura 14 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas Orbitron 3.71 e do drive WispDEE	34
Figura 15 – Conversão Analógico-Digital. Fonte: Gomes, 2012.	35
Figura 16 – Sinal a ser amostrado.	36
Figura 17 – Sinal Amostrado.....	37
Figura 18 – Processo de Quantização. Fonte: Ynoguti, 2012.....	38
Figura 19 – Códigos de linha.....	40
Figura 20 – Modulação BPSK. Fonte: Gomes, 2012.	42
Figura 21 – Sinal a ser modulado	44
Figura 22 – Código referente a amostragem do sinal	45
Figura 23 – Sinal amostrado.....	45
Figura 24 – Código referente à quantização das amostras.....	46
Figura 25 – Codificação PCM.....	47
Figura 26 – Código referente à Codificação Manchester	48
Figura 27 – Gráfico da Codificação Manchester	49
Figura – 28. Código referente à Modulação BPSK	50
Figura 29 – Sinal Modulado em BPSK	50



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Intervalo e Níveis de Quantização. Fonte: Gomes, 2012.....39



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Relatório descreve as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos entre os meses de Agosto de 2011 e Junho de 2012, 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 rastreamento e controle do primeiro nanosatélite científico brasileiro - NANOSATC-BR1. Porém ela permitirá rastreamento 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.

Assim, o Relatório apresenta-se estruturado em sete capítulos, da seguinte forma:

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 apresentada uma fundamentação teórica referente às Estações Terrenas, sendo em seguida exposto as duas soluções pensadas de arquitetura para a implementação da ET.

O Capítulo 4 expõe informações sobre ET adquirida junto a empresa holandesa ISIS.

Referente ao Capítulo 5, é apresentado um estudo sucinto sobre Modulação Digital focando na modulação BPSK, sendo os resultados referentes às simulações em Matlab expostos no Capítulo 6.

No Capítulo 7 são descritas as considerações finais referentes ao Projeto.



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 – MCTI, unidade regional do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE–MCTI 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, o 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 e de pós-graduação do INPE/MCTI, orientados com apoio técnico de engenheiros, especialistas Tecnologistas e Pesquisadores do INPE/MCTI.



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

2.2 MISSÃO NANOSATC-BR1

A Missão Científica do NANOSATC-BR1 tem como objetivo 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).

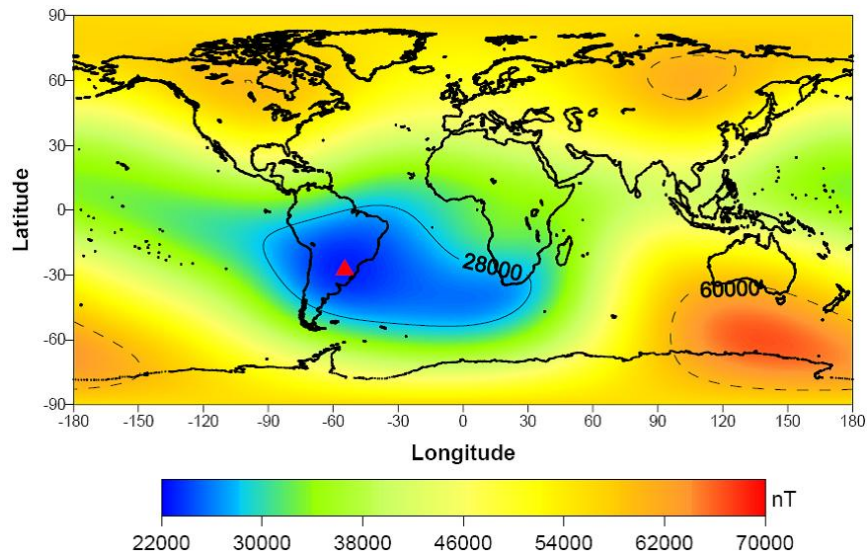


Figura 2 – Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Fonte: Heirtzler, 2002.

O Eletrojato Equatorial (EEJ), Figura 3, representa uma faixa 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).

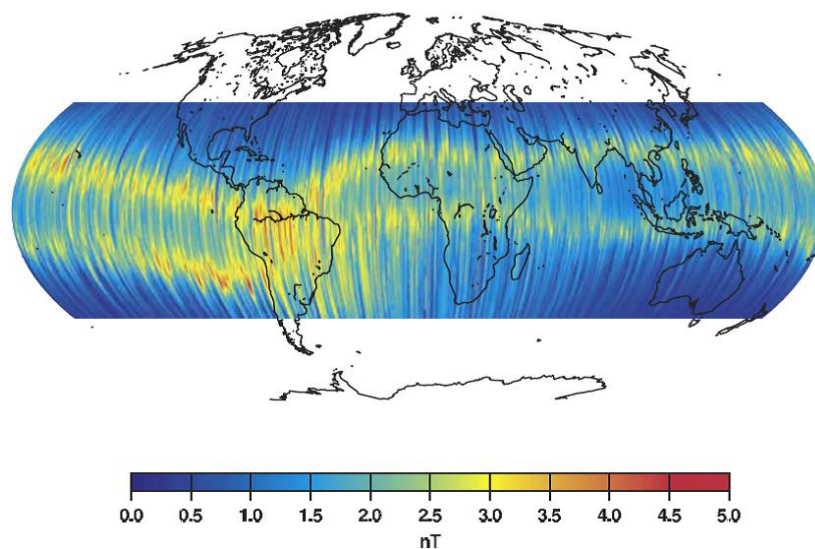


Figura 3 - - Região do Eletrojato Ionosférico Equatorial. Fonte: Lühr et al, 2004



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 - MCTI, 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.

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

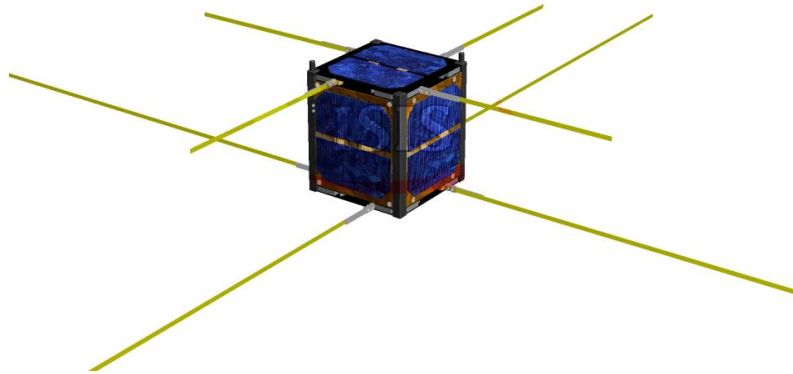


Figura 4 – Representação visual do NanosatC-Br fornecida pela empresa holandesa ISIS

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: 130-160MHz (Cristal controlado).
- Potência de transmissão: 300mW (pico), 150mW (média).
- Modulação: *Raised-Cosine Binary Phase Shift Keying* (BPSK).
- Taxa transferência de dados: 1200bps.
- 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 - 450MHz (Cristal controlado).
- Modulação: *Audio Frequency Shift Keying* (AFSK), 1200Hz/2200Hz (Bell202).
- Taxa transferência de dados: 300 – 1200bps.
- Sensibilidade: -100dBm, 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: 85g.
- Dimensões: 90x96mm, compatível com PC/104 PCB CubeSat.
- Potência: < 1,7W (transmissor ligado), < 0,2W (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 55cm, 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.

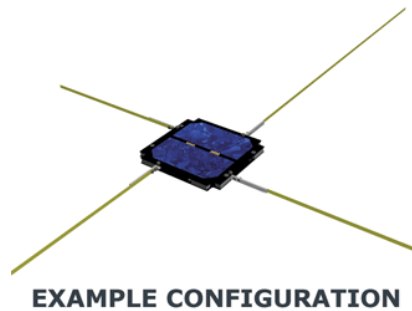


Figura 6 – Antenas do tipo fita para as faixas VHF e UHF desenvolvidas pela empresa ISIS

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

CAPÍTULO 3

ESTAÇÃO TERRENA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Definimos que um sistema satélite é dividido 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 elevado, 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 estudadas e planejadas duas propostas: (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 proposta (ii) é apresentada no Capítulo 4, em razão de ter sido a proposta adotada. São apresentadas também as especificações e informações sobre a instalação da ET na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS/CCR/INPE - MCTI.



CAPÍTULO 4

ESTAÇÃO TERRENA

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).

De acordo com as especificações acima adquiriu-se a Estação Terrena de Rastreo e Controle junto à empresa holandesa *Innovative Solutions In Space* (ISIS).

4.1 ESTAÇÃO TERRENA ISIS - UHF/VHF/S-BAND

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 ET do NANOSATC-BR1 apresenta as seguintes características (CUBESAT SHOP ISIS, 2012):



- 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 12dBic (RHCP - LHCP comutável);
- Antena Yagi UHF – ganho 16dBic (RHCP - LHCP comutável);
- Antena com refletor parabólico Banda S – ganho 21 dBic RHCP (faixa de frequência de 2400 – 2402MHz);
- Amplificadores VHF e UHF de baixo ruído;
- Proteção contra raios;
- Faixas de frequência: 144 - 146MHz, 430 – 440MHz e 2400 – 2402MHz, 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 – 9600bps, o qual utiliza protocolo AX.25;
- Fonte de tensão ininterrupta;
- Um computador com o aplicativo de rastreamento de satélites.

4.2 INSTALAÇÃO DA ESTAÇÃO TERRENA

Como colocado inicialmente, a ET foi adquirida junto à ISIS, tendo sua instalação ocorrida na cobertura do prédio sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/CCR/INPE – MCTI), em Santa Maria, RS, em dezembro de 2011.

A Figura 7 e a Figura 8 correspondem ao empacotamento dos equipamentos da ET na sede da ISIS em Delft, na Holanda.



Figura 7 – Eixo das antenas de solo



Figura 8 – Estação Terrena

As imagens abaixo (Figura 9 e Figura 10) referem-se a montagem das antenas.



Figura 9 – Montagem das antenas UHF e VHF

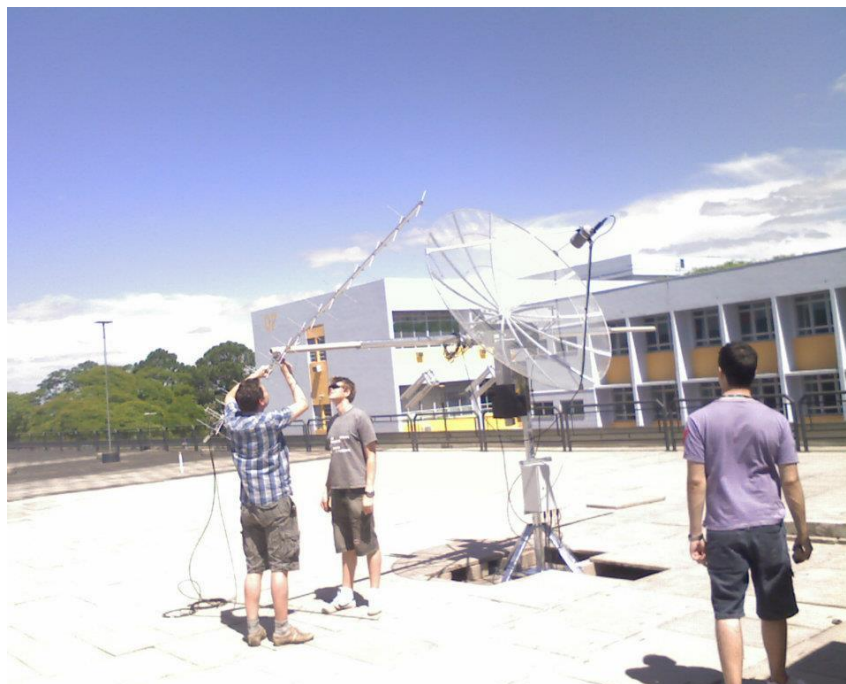


Figura 10 – Colocação das antenas

Na Figura 11 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. Já a Figura 12 apresenta seu *hardware*.



Figura 11 – Antenas



Figura 12 – Estação Terrena

Como ferramenta para a previsão de órbita e o rastreamento dos satélites a ET faz uso do aplicativo Orbitron (versão 3.71), o qual foi desenvolvido por Sebastian Stoff para os propósitos de utilização de radioamadores e observadores como usuários de satélites de comunicação e meteorológicos.

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 13.

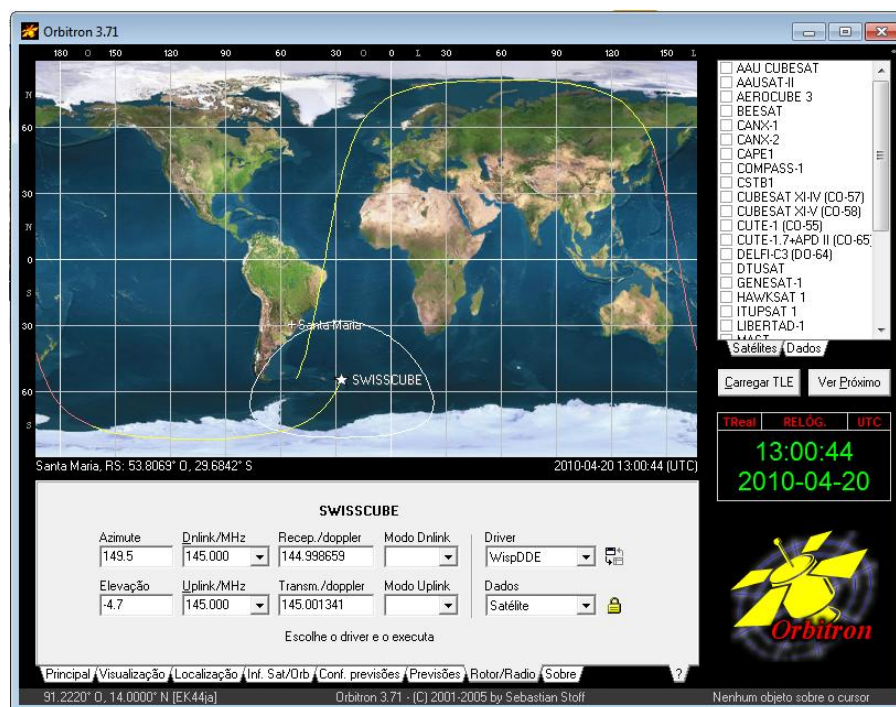


Figura 13 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas e rastreamento de satélites Orbitron 3.71

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 14 ilustra as informações do drive WispDEE, o qual encontra-se instalado no computador da ET, a partir de um satélite selecionado no Orbitron.

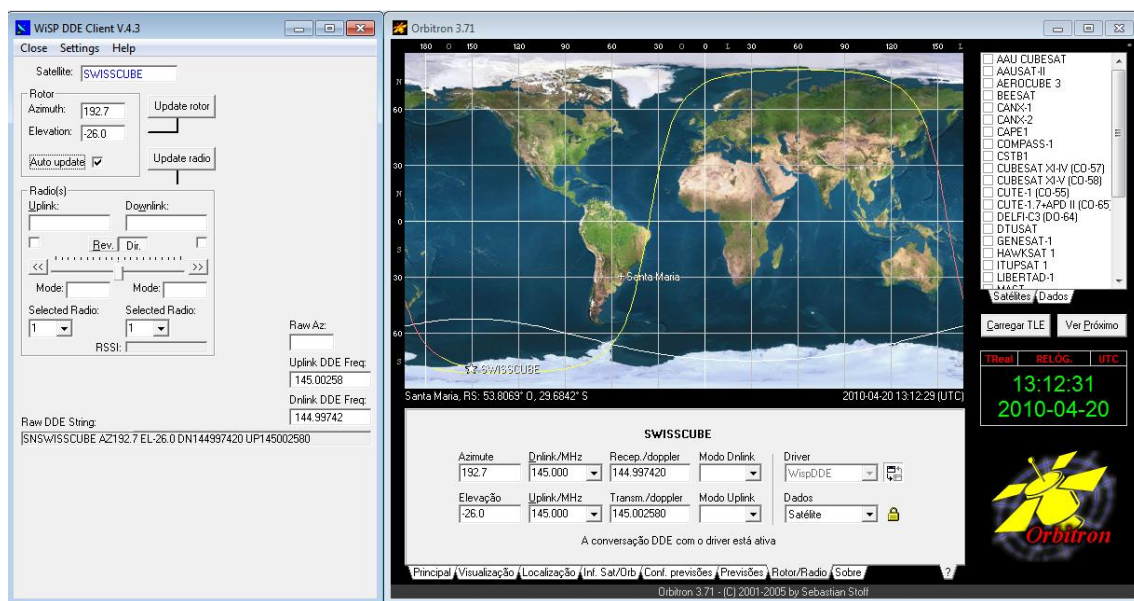


Figura 14 – Ilustração do aplicativo de determinação de órbitas Orbitron 3.71 e do drive WispDEE

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 DDE.

CAPÍTULO 5

UM ESTUDO SOBRE MODULAÇÃO DIGITAL

A comunicação de dados pode ser vista como um subconjunto de telecomunicações (Gomes, 20120), envolvendo a transmissão de dados (informação na forma de voz, áudio, vídeo, texto ou imagem) em um sistema de comunicação que envolva hardware e software. A comunicação de dados se preocupa com a transmissão de dados digitais. Isto é, dados que apresentam valores discretos em um intervalo de tempo, por exemplo, textos e números inteiros.

Antes de se falar em modulação digital, é importante conhecer as etapas que antecedem a mesma, descritas no processo de conversão analógico – digital. Essas etapas são de vital importância para que um determinado sinal possa ser transmitido. Nesse Capítulo será apresentado um breve estudo sobre essas etapas e sobre a modulação digital propriamente dita, com ênfase em BPSK.

5.1 CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL

Para convertermos um sinal analógico em digital, primeiramente, precisamos amostrá-lo, obtendo assim valores discretos coletados em um intervalo fixo de tempo, conhecido como período de amostragem. Em seguida o sinal passa pelo processo de quantização, onde a amplitude de cada amostra é ajustada ao valor mais próximo escolhido dentre um número finito de níveis de amplitude discreta, afim de que, então, possam ser codificados em zeros e uns. Os blocos da Figura 15 exemplificam a conversão analógica de um sinal $a(t)$.

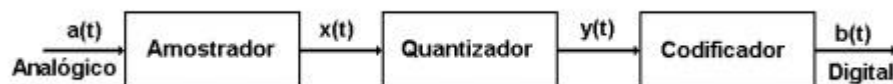


Figura 15 – Conversão Analógico-Digital. Fonte: Gomes, 2012.

5.1.1 Amostragem

Como já citado, a amostragem de um sinal analógico consiste em coletar valores instantâneos (amostras) em um intervalo fixo de tempo (período de amostragem, T_a). Sabe-se também que a que o período de amostragem depende da frequência de amostragem (f_a), onde $T_a = 1/f_a$. A Figura 16 e a Figura 17 correspondem respectivamente ao sinal analógico e ao sinal amostrado.

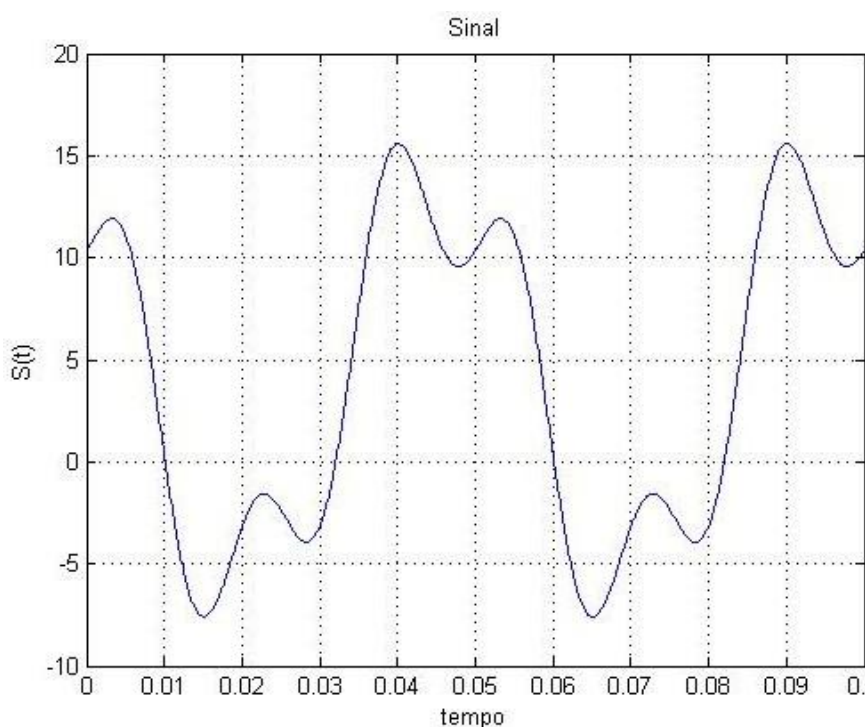


Figura 16 – Sinal a ser amostrado.

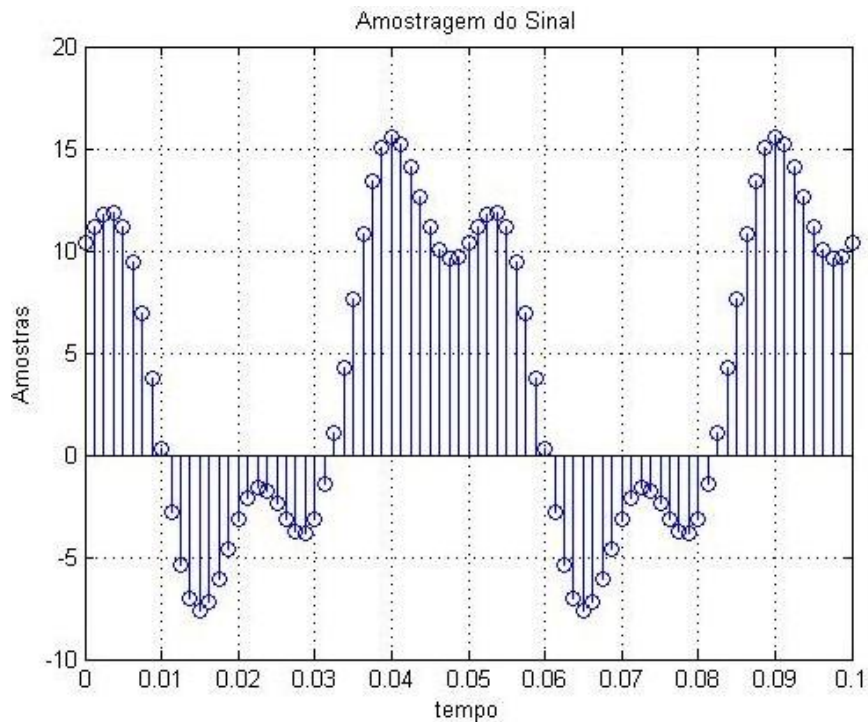


Figura 17 – Sinal Amostrado.

5.1.1.1 Teorema de Nyquist

Segundo Gomes, sinais com largura de banda limitada podem ser reconstruídos exatamente do sinal amostrado desde que a frequência de amostragem seja o dobro da largura de banda do sinal. Por exemplo, considerando o sinal de voz para telefonia com uma largura de banda de 4KHz, a frequência de amostragem será de 8KHz (8 mil amostras por segundo). Se utilizarmos 8 bits para codificar uma amostra de voz ter-se-á uma taxa de 64Kbps.

5.1.2 Quantização Linear

De acordo com Ynoguti, quando quantizamos um sinal analógico, geramos uma aproximação do mesmo, como mostrado na Figura 18, onde diferença entre o sinal analógico original e sua versão quantizada é chamada de ruído de quantização. Assim, quantizar um sinal analógico corresponde a adicionar uma certa quantidade de ruído,

por isso quanto menos bits usamos na quantização, mais grosseira ela fica, e portanto temos mais ruído adicionado.

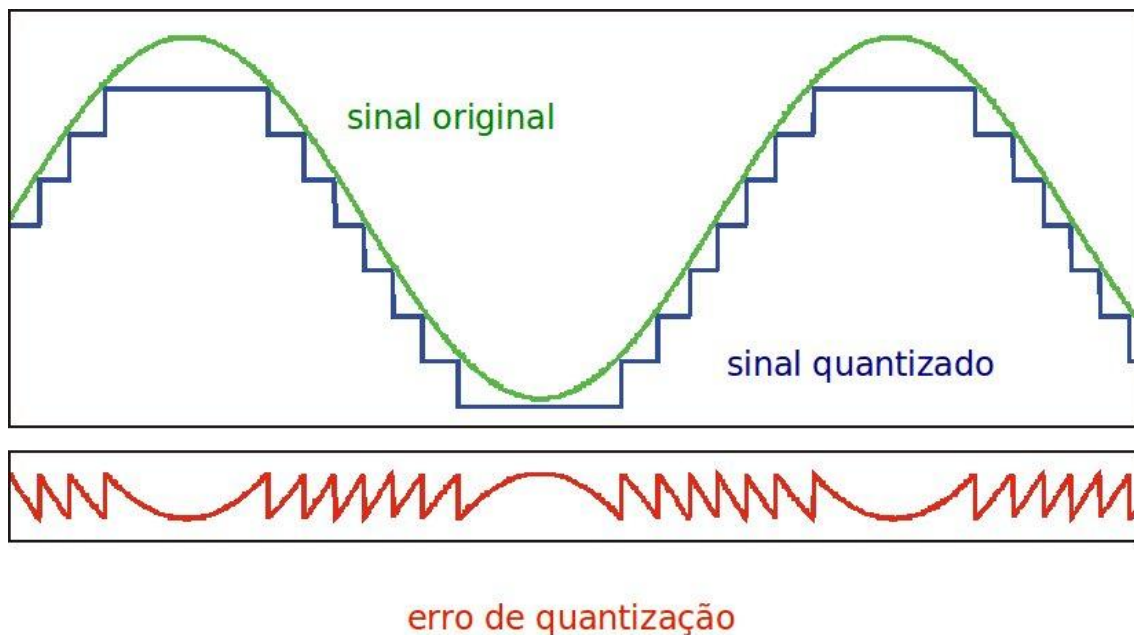


Figura 18 – Processo de Quantização. Fonte: Ynoguti, 2012.

Para podermos realizar o processo de quantização, como falando anteriormente, precisamos, primeiramente, obter as amostras do sinal desejado. Para que os valores de amplitude das amostras possam ser representados por uma quantidade finita de bits, é necessário convertê-las para um número finito de amplitudes (Gomes, 2012). Esta operação é designada quantização. Portanto, após um processo de amostragem, a faixa dos valores possíveis do sinal é subdividida em intervalos de quantização. Em cada intervalo é definido um nível de quantização, o qual corresponde a um valor de tensão intermediário do intervalo.

A equação $\Delta = 2 \cdot A / N$ define a distância entre os níveis de quantização, Δ . Sendo $N = 2^b$. Então, temos que:

- A – refere-se a amplitude máxima do sinal que assume valores entre A e $-A$;

- N - número de níveis empregado;
- b – número de bits utilizado na codificação de cada amostra.

A Tabela 1 apresenta os intervalos de quantização para as referidas amostras. O tamanho de cada intervalo é de $0,875V$, conforme calculado acima. Os níveis de quantização correspondem ao valor médio de cada intervalo.

Tabela 1 – Intervalo e Níveis de Quantização. Fonte: Gomes, 2012.

Amostras	Intervalos de Quantização	Nível de Quantização	Codificação PCM
3,5000	3,5	3,0625	111
	2,625		
	2,625	2,1875	110
	1,75		
	1,75	1,3125	101
	0,875		
0,8238	0,875	0,4375	100
	0		
-0,1305	0	-0,4375	000
	-0,875		
-1,0437	-0,875	-1,3125	001
	-1,75		
-2,2014	-1,75	-2,1875	010
	-2,625		
	-2,625	-3,0625	011
	-3,5		

5.1.3 Codificação PCM

A Tabela 1 apresenta, em sua última coluna, a codificação em PCM (Modulação por Codificação de Pulso) dos níveis de quantização do sinal amostrado. São considerados 3 bits para codificação. De acordo com Gomes, Uma codificação em PCM transforma uma amostra quantizada em um número codificado. Usualmente, o número é codificado e convertido para a sua representação binária. A sequência binária é, então, convertida em uma sequência de pulsos para a transmissão.

5.2 CÓDIGOS DE LINHA

Os códigos de linha consistem em inúmeras técnicas de formatação de sinais digitais (binários ou multi-níveis) em banda-base. A Figura 19 traz alguns exemplos.

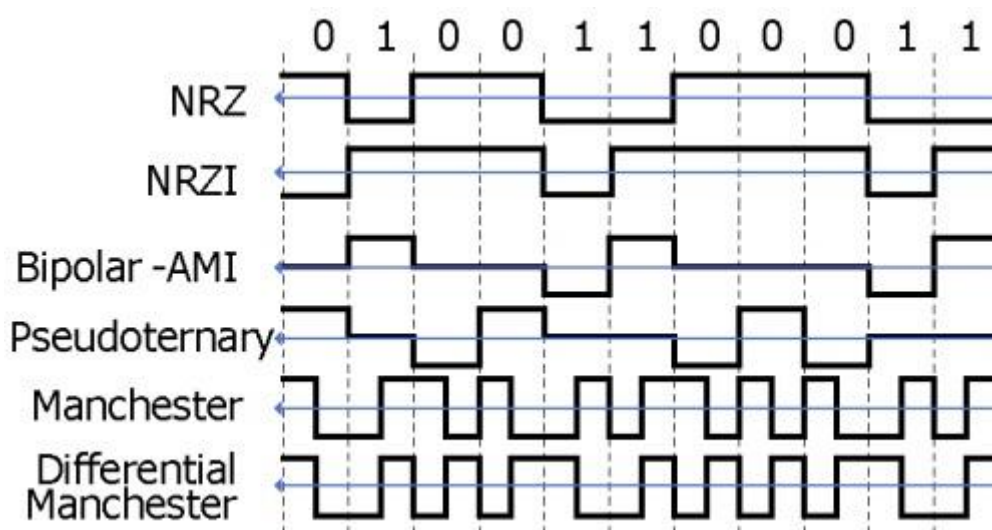


Figura 19 – Códigos de linha. Fonte: Gomes, 2012.

5.2.1 No return to zero level – NRZ

- Dois níveis de tensão diferentes para bits 0 e 1, por exemplo: nível alto para o bit 1 e nível baixo para o bit 0;
- As tensões são constantes durante o tempo de duração do bit;
- O tempo de duração do bit deve ser o mesmo para ambos os tipos de pulso

5.2.2 Codificação Pseudoternário

- Bit 1 representado pela ausência de sinal;
- Bit 0 representado pela alternância entre polaridade.

5.2.3 Codificação Manchester

Apresenta codificação no meio do tempo de bit. São consideradas as codificações Manchester e Manchester diferencial.

- **Codificação Manchester**
 - Transição no meio de cada período de bit;
 - Transição serve como clock e dado;
 - Pode-se adotar: Transição alto para baixo representa 0, Transição baixo para alto representa 1;
 - Used by IEEE 802.3 (Ethernet).
- **Manchester Diferencial**
 - Transição no meio do período de bit apenas clock;
 - Transição no começo do período de bit representa 0;
 - Nenhuma transição representa 1;
 - Used by IEEE 802.5 (Token Ring).

5.2 MODULAÇÃO BPSK

A modulação envolve operações sobre uma ou mais das três características de uma portadora (amplitude, fase, frequência) (Gomes, 2012). Há três técnicas básicas de modulação para transformar dados digitais em sinais analógicos: Modulação por mudança em amplitude (Amplitude Shift Keying – ASK), Modulação por mudança em frequência (Frequency Shift Keying – FSK), Modulação por mudança em fase (Phase Shift Keying – PSK)

A modulação BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) é do tipo PSK, em que consiste modular um sinal digital, sequência de 0's e 1's, deslocando a fase de uma portadora, que pode se uma senóide ou cossenóide, em 180° toda vez que houver uma troca de bit. A Figura 20 trás um exemplo de modulação em BPSK.

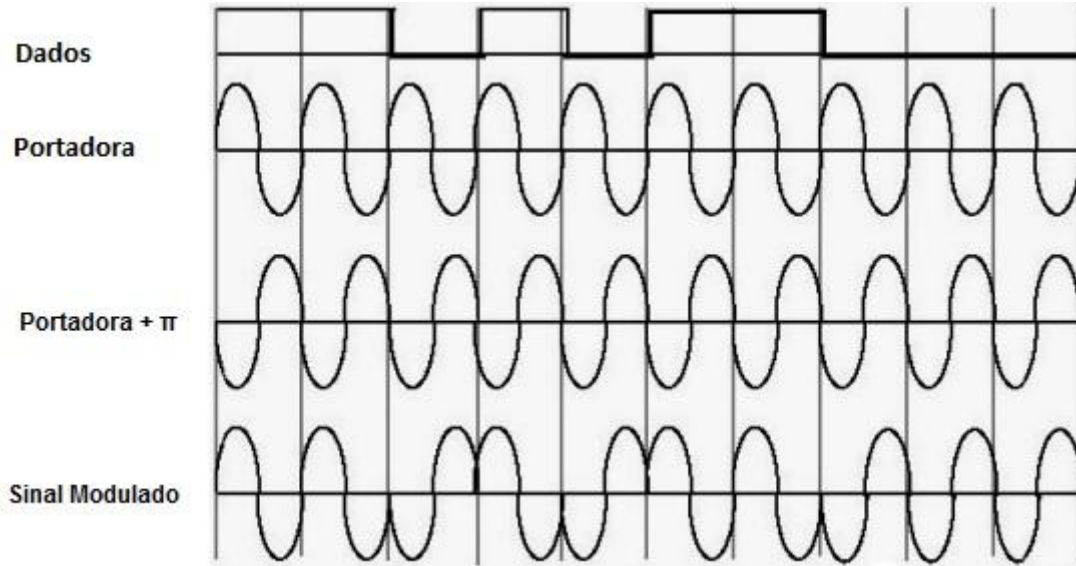


Figura 20 – Modulação BPSK. Fonte: Gomes, 2012.



Nota-se que modulação BSPK apresenta as seguintes características:

- Fácil implementação;
- Uso ineficiente da banda do canal;
- Muito robusta;
- Extensivamente usada em comunicações via satélite.

No Capítulo seguinte, serão mostrados os resultados das simulações em Matlab empregando o conhecimento acima.

CAPÍTULO 6

SIMULAÇÃO EM MATLAB

Com fins de por em prática o que foi aprendido, foi simulado em Matlab etapas para que um sinal analógico possa ser modulado digitalmente, empregando-se a modulação BPSK.

Primeiramente, implementou-se, como sinal a ser modulado, uma senóide complexa fazendo-a o mais próximo de um sinal analógica, já que por mais que reduzirmos o intervalo entre os pontos, o sinal será sempre discreto. A Figura 21 refere-se a plotagem feita no Matlab do sinal em questão.

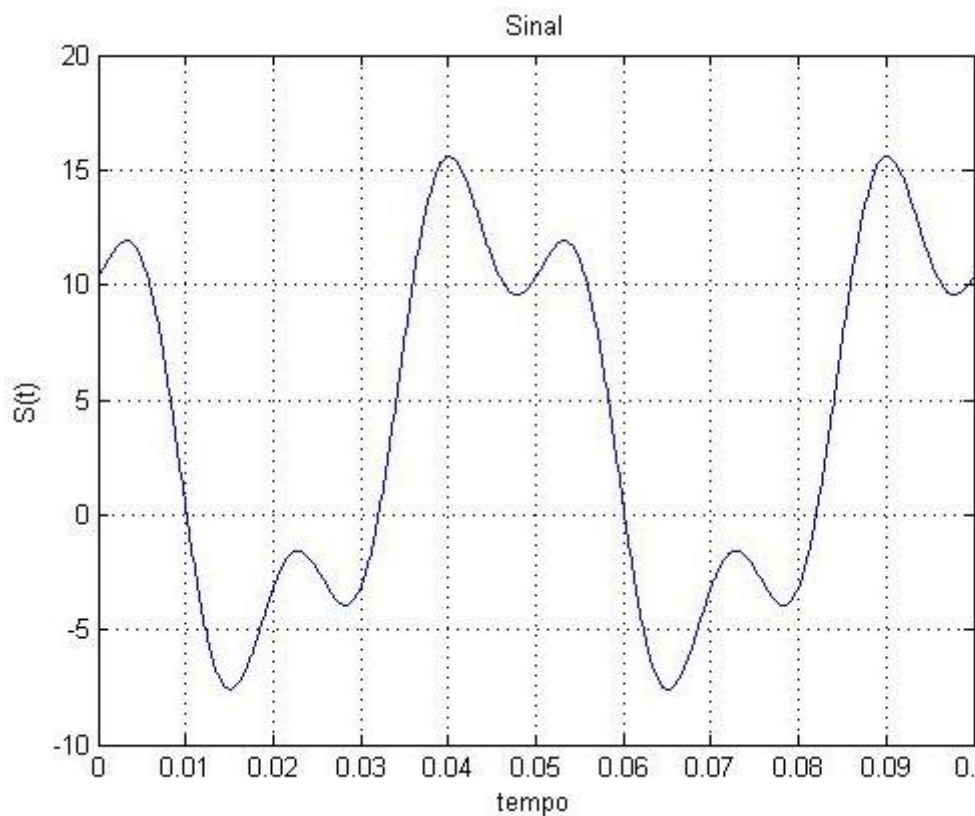


Figura 21 – Sinal a ser modulado

Após a obtenção do sinal, foi feita a amostragem do mesmo fazendo uso de um período de amostragem (T_s) igual a 1,25 ms, como pode ser evidenciado na Figura 22. Já a Figura 23 mostra a plotagem do sinal amostrado.

```
%=====Amostragem do Sinal
fs = 800;
Ts = 1/fs;
tempo = 0:Ts:0.5;
amostras = Sinal(tempo);

subplot(3,2,3);
stem(tempo,amostras);
title('Amostragem do Sinal');
ylabel('Amostras');
xlabel('tempo');
axis([0,0.1,-10,20]);
grid on;
```

Figura 22 – Código referente a amostragem do sinal

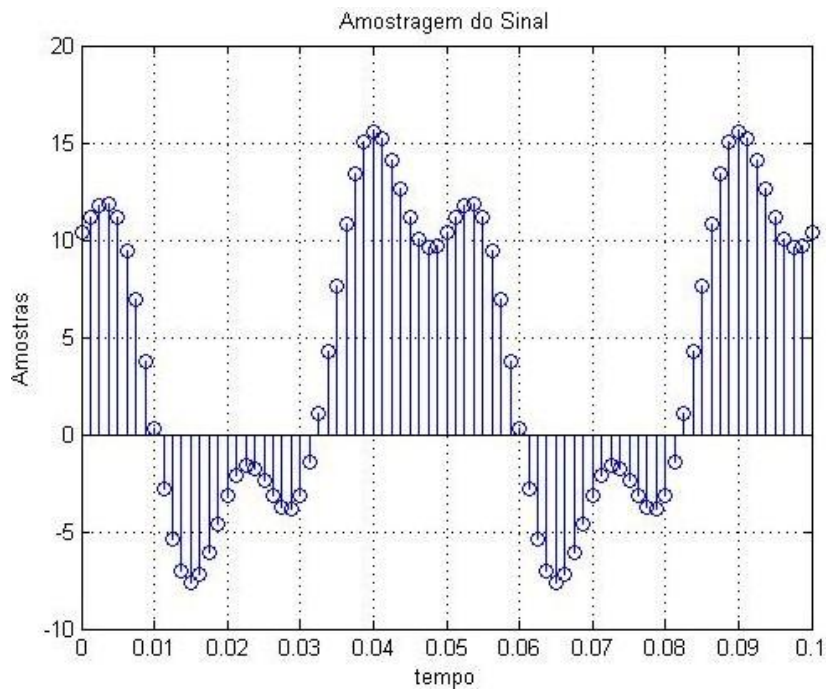


Figura 23 – Sinal amostrado

Depois de ter-se adquirido as amostras, sua quantização e codificação PCM foram feitas, sendo os respectivos códigos evidenciados nas Figuras 24 e 25. Na codificação binária (PCM), os números negativos foram representados em complemento de dois.

```
%-----Quantização do Sinal
Amax = max(amostras);
Amin = min(amostras);
if Amin < 0
    Amin = Amin*(-1);
end
Atotal = Amax + Amin; %Pico a pico da função.
b = 8; %Número de bits.
N = 2^b; %Número de níveis.
delta = Atotal/N; %Intervalo entre os níveis;

q = N;
for i = 1:length(amostras)
    q(i) = amostras(i)-delta;
    q(i) = (amostras(i)+q(i))/2;
    q(i) = round(q(i));
end
```

Figura 24 – Código referente à quantização das amostras

```
%=====Codificação PCM
pcm = zeros(1,length(q)*8);
k = 0;
for i = 1:length(q)
    if q(i)<0
        flag = 1;
        q(i) = q(i)*(-1);
    else
        flag = 0;
    end
    bin = dec2bin(q(i),b);
    bin = double(bin);
    for j = 1:b %Loop para conversão de char para double
        if bin(j) == 49
            bin(j) = 1;
        else
            bin(j) = 0;
        end
    end %=====
    if flag == 1 %Conversão binária para complemento de 2
        inv = ~bin;
        bin = bin+inv;
    end %=====
    for j = 1:b
        k = k+1;
        pcm(k) = bin(j);
    end;
end

subplot(3,2,5);
stem(pcm);
xlabel('Amostras');
ylabel('Amplitude');
title('PCM do Sinal');
axis([0,100,-0.5,1.5]);
```

Figura 25 – Codificação PCM

Para o estudo do código de linha em implementação no Matlab, optou-se por utilizar a Codificação Manchester. Logo abaixo, consta a Figura 26 e a Figura 27, que

respectivamente correspondem ao código que faz o a codificação da sequência binária em Manchester e a plotagem do mesmo.

```
%=====Codificação de linha Manchester
Tb = Ts/8; %Tempo de bit;
R = 1/Tb; %Taxa de bit;
tensao = 1; %Amplitude do sinal;

manchester = zeros(1,16*length(pcm));
j = 0;
passo = Tb/32;
for i = 1:length(pcm)
    for tempo = 0:passo:(Tb/2)-passo
        j = j+1;
        manchester(j) = (-1)^(pcm(i))*tensao;
    end
    for tempo = Tb/2:passo:Tb-passo
        j = j+1;
        manchester(j) = (-1)^((pcm(i)+1))*tensao;
    end
end
tempo = 0:passo:Tb*length(pcm)-passo;

subplot(3,2,2);
plotHandle=plot(tempo,manchester);
xlabel('Tempo');
ylabel('Amplitude');
title('Codificação Manchester');
set(plotHandle,'LineWidth',2.5);
maxTime=max(tempo);
maxAmp=max(manchester);
minAmp=min(manchester);
axis([0,0.005,minAmp-1,maxAmp+1]);
grid on;
```

Figura 26 – Código referente à Codificação Manchester

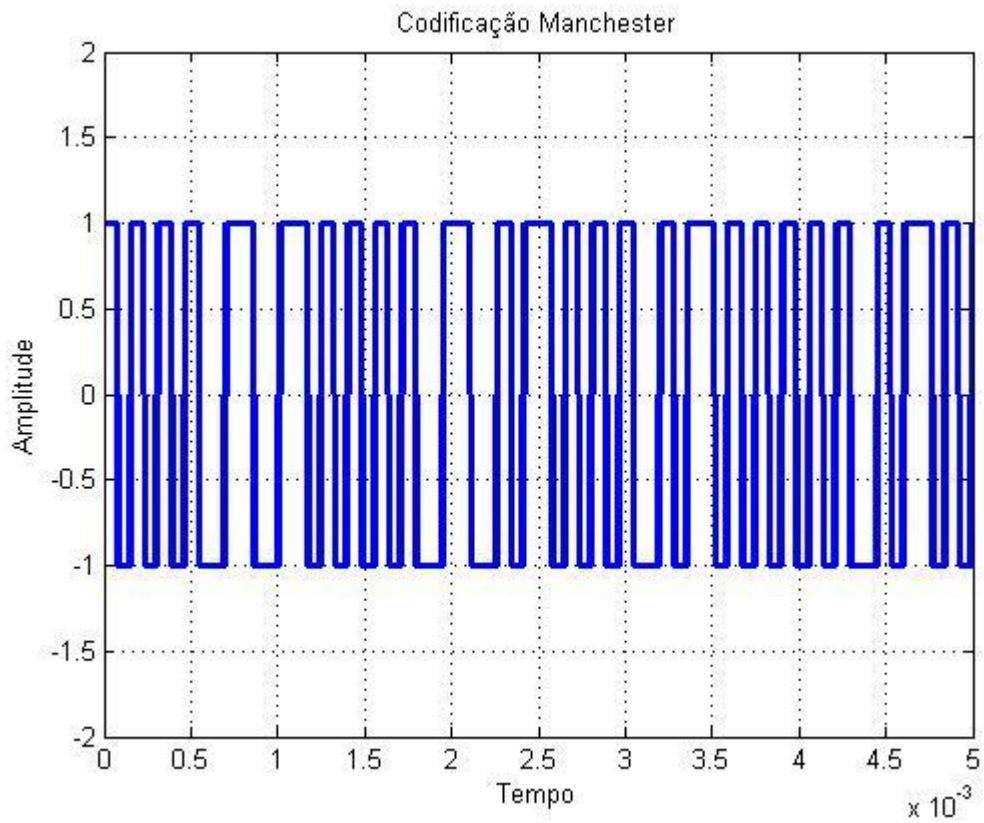


Figura 27 – Gráfico da Codificação Manchester

Logo após foi implementada a modulação BPSK, cujo código e o respectivo gráfico aparecem nas Figuras 28 e 29.

```
§=====Modulação BPSK  
fc = 400000000;  
fase = sin(2*pi*fc*tempo);  
bpsk = manchester.*fase;  
subplot(3,2,4);  
plot(tempo,bpsk);  
xlabel('Tempo');  
ylabel('Amplitude');  
title('Modulação BPSK');  
maxTime=max(tempo);  
maxAmp=max(manchester);  
minAmp=min(manchester);  
axis([0,0.005,minAmp-1,maxAmp+1]);
```

Figura – 28. Código referente à Modulação BPSK

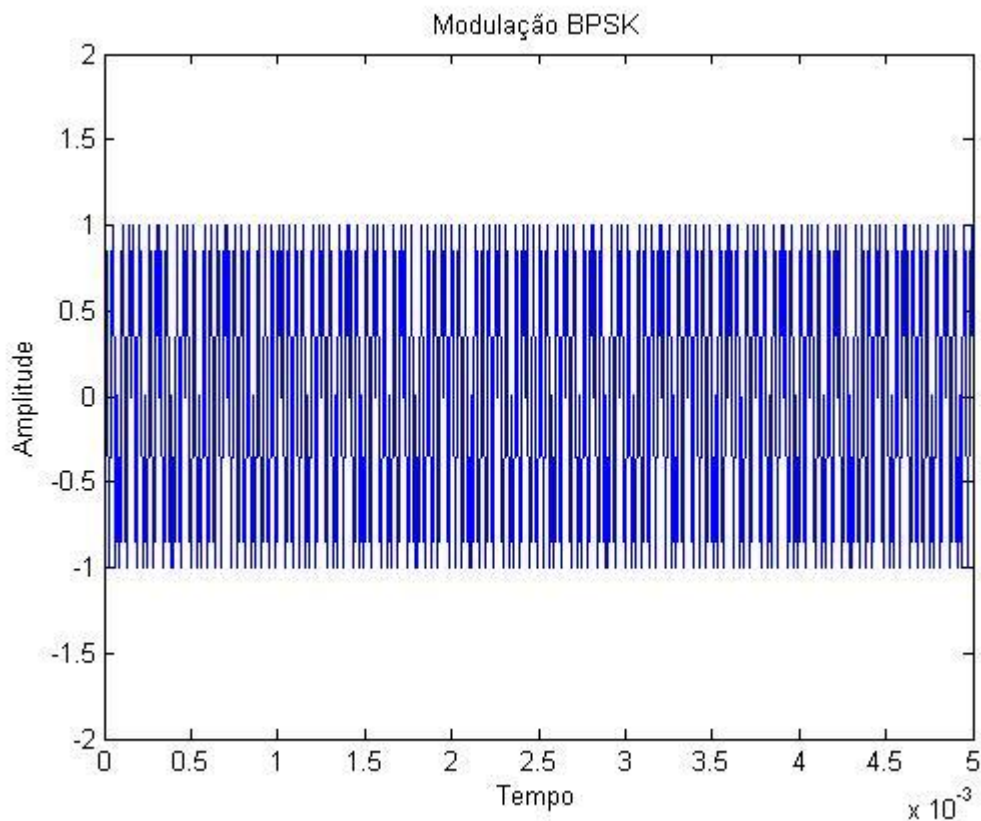


Figura 29 – Sinal Modulado em BPSK



CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Relatório teve como enfoque a abordagem de apenas uma das soluções propostas inicialmente para a implementação da Estação Terrena (ET) de rastreamento e controle para NANOSATC-BR1. As soluções consistiam em: (i) aquisição de equipamentos utilizados por radioamadores que seriam integrados em laboratório de acordo com as especificações de projeto; e (ii) compra de uma ET completa importada fornecida por uma empresa especializada.

O motivo de relatar apenas a solução (ii) deve-se ao fato de que a mesma foi adotada e instalada na sede do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI, e a solução (i) não teve seu estudo continuado. Sendo então, expostas de forma clara informações técnicas sobre a proposta (ii) e sobre sua instalação.

Como sequência do Projeto foram realizados estudos bibliográficos referentes à Modulação Digital, dando foco na modulação BPSK, utilizada pelo NANOSATC-BR1 para o envio de pacotes de dados, procurando compreender todas as etapas que antecedem a mesma. Em paralelo, buscou-se um bom entendimento do programa Matlab, para fins de auxílio na compreensão da lógica algorítmica. O processo de modulação foi implementado em Matlab, o que permitiu um claro conhecimento da transmissão e recepção de sinais na estação terrena.



BIBLIOGRAFIA

CUBESAT SHOP - INNOVATIVE SOLUTIONS IN SPACE (ISIS). Disponível em: <<http://www.cubesatshop.com>>. Acesso em: 27 de jun. 2012.

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

GOMES, N. R. **Transmissão e Comunicação de Dados (Notas de aula)**. Disponível em <<http://www.ufsm.br/gpscom/professores/Renato%20Machado/comunicacaodedados.html>>. Acesso em: 26 jun. 2012.

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.

Ynoguti, C. **Amostragem e Quantização**. Disponível em: <<http://www.inatel.br/docentes/ynoguti/graduacao/amostragem-e-quantizacao>>. Acesso em: 10 de jul. 2012.