



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

DESENVOLVIMENTO ELETROMECÂNICO DE ANTENAS DIPOLO APLICADAS A RADIOASTRONOMIA DE BAIXAS FREQUÊNCIAS.

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

PROCESSO Nº 105428/2006-0

Jean Carlos Daroit – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT
Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas
LAMEC/CRS/CIE/INPE - MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
E-mail: daroit@lacesm.ufsm.br

Dr. Nelson Jorge Schuch – Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
CRS/CIE/INPE – MCT
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPE – MCT
E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

Santa Maria, junho de 2008.



RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO
PROGRAMA: PIBIC/INPE – CNPq/MCT

PROJETO

DESENVOLVIMENTO ELETROMECAÂNICO DE ANTENAS DIPOLO
APLICADAS A RADIOASTRONOMIA DE BAIXAS FREQUÊNCIAS.

PROCESSO Nº 105428/2006-0

Relatório elaborado por:

Jean Carlos Daroit – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCT

E-mail: daroit@lacesm.ufsm.br

Dr. Nelson Jorge Schuch - Orientador

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

E-mail: njschch@lacesm.ufsm.br

Dr. Natanael Rodrigues Gomes – Co-Orientador

**Departamento de Eletrônica e Computação e Laboratório de Ciências
Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia**

LACESM/CT - UFSM

E-mail: natanael@lacesm.ufsm.br

Dr. Ademar Michels – Co-Orientador

**Departamento de Engenharia Mecânica e Laboratório de Ciências
Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia**

LACESM/CT - UFSM

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título: DESENVOLVIMENTO ELETROMECAÂNICO DE ANTENAS DIPOLO APLICADAS A RADIOASTRONOMIA DE BAIXAS FREQUÊNCIAS.

Processo CNPq Nº: 105428/2006-0

Bolsista:

Jean Carlos Daroit

Curso de Engenharia Mecânica

Centro de Tecnologia – CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Co-Orientadores:

Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes – Co-Orientador

Departamento de Eletrônica e Computação – DELC/CT – UFSM

Prof. Dr. Ademar Michels – Co-Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica – DEM/CT – UFSM

Ambos os Professores são vinculados ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT/UFSM.

Local de Trabalho/Execução do Projeto:

Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas –

LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT

Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/INPE - MCT

Trabalho desenvolvido no âmbito da parceria INPE – 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: Interações Terra - Sol,
NanoSatC-Br

**Identificação****Recursos Humanos****Linhas de Pesquisa****Indicadores do Grupo****Identificação****Dados básicos**

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

Status do grupo: **certificado pela instituição**

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 18/06/2008 15:04

Líder(es) do grupo: Nelson Jorge Schuch - nelson.schuch@pq.cnpq.br

Ademar Michels - michels@ct.ufsm.br

Área predominante: Ciências Exatas e da Terra; Geociências

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Órgão: Coordenação de Gestão Científica - CIE

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

E-mail: njschuch@lasesm.ufsm.br

Home page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo de Pesquisa - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS: INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CIE/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CIE/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 (CEA, ETE, CPA), CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, os mecanismos de geração de energia no Sol, o Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra. Pesquisas teóricas e observacionais utilizando-se de larga base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, bem como de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-



Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Marcelo Barcellos da Rosa, Ademar Michels.

Recursos humanos	
Pesquisadores	Total: 32
Ademar Michels	Jean Carlo Santos
Alan Prestes	Jean Pierre Raulin
Alicia Luisa Clúa de Gonzalez	Joao Paulo Minussi
Alisson Dal Lago	Jose Humberto Andrade Sobral
Antonio Claret Palerosi	Mangalathayil Ali Abdu
Barclay Robert Clemesha	Marcelo Barcellos da Rosa
Clezio Marcos De Nardin	Nalin Babulau Trivedi
Cristiano Max Wrasse	Natanael Rodrigues Gomes
Delano Gobbi	Nelson Jorge Schuch
Eurico Rodrigues de Paula	Odin Mendes Junior
Ezequiel Echer	Osmar Pinto Junior
Fabiano Luis de Sousa	Otavio Santos Cupertino Durão
Fábio Augusto Vargas dos Santos	Petrônio Noronha de Souza
Fernando Luís Guarnieri	Polinaya Muralikrishna
Hisao Takahashi	Severino Luiz Guimaraes Dutra
Ijar Milagre da Fonseca	Walter Demetrio Gonzalez Alarcon
Estudantes	Total: 28
Alan Carlos Klein	Juliano Moro
Antonio Marcos Martins Silveira	Lilian Piecha Moor
Bernardo Henz	Lorenzo Marzari Félix
Carlos Roberto Braga	Lucas Lopes Costa
Cassio Espindola Antunes	Marcos Vinicius Dias Silveira
César Augusto Daroit	Mateus Sabadi Schuh
Cristiano Sarzi Machado	Nikolas Kemmerich
Eduardo Ceretta Dalla Favera	Rafael Lopes Costa
Fabrício Deives Kummer	Samuel Martins da Silva
Fernando de Souza Savian	Silvano Lucas Prochnow
Igor Freitas Fagundes	Tardelli Ronan Coelho Stekel
Jean Carlos Daroit	Tiago Domingos dos Santos
Jose Fernando Thuorst	Tiago Jaskulski
Josemar de Siqueira	Willian Rigon Silva
Técnicos	Total: 5
Anderson Pereira Colvero - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Eletrônica	
Eduardo Ceretta Dalla Favera - Ensino Profissional de nível técnico - Técnico em Computação	
Koiti Ozaki - Especialização - Analista de Sistemas	
Roben Castagna Lunardi - Graduação - Técnico em Computação	
Vinicius Ceregati Costa - Graduação - \Outra Função	



Linhas de pesquisa	Total: 4
<ul style="list-style-type: none">• AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA• MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO• MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL• NANOSATC-BR	

Relações com o setor produtivo	Total: 0
--------------------------------	----------

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	32
Estudante(s)	28
Técnico(s)	5



RESUMO

Este Relatório visa descrever as atividades vinculadas ao Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, desenvolvidas pelo bolsista **Jean Carlos Daroit**, acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, durante o período de **Agosto de 2007 à Julho de 2008**, no Projeto **“DESENVOLVIMENTO ELETROMECÂNICO DE ANTENAS DIPOLO APLICADAS A RADIOASTRONOMIA DE BAIXAS FREQUÊNCIAS.”**, junto ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE – MCT. As atividades foram realizadas no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas e no Observatório Espacial do Sul, em São Martinho da Serra, RS.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	12
1.1 INTRODUÇÃO	12
1.2 OBJETIVO.....	12
1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	13
CAPITULO II.....	14
RADIOASTRONOMIA E RADIOTELESCÓPIOS.....	14
2.1 INTRODUÇÃO	14
2.2 RADIOASTRONOMIA.....	16
2.3 RADIOTELESCÓPIOS	17
2.3.1 <i>Histórico dos Radiotelescópios de Baixa Frequência</i>	18
2.3.2 <i>Características dos Radiotelescópios</i>	21
2.3.2.1 Interferometria	22
2.3.2.2 Síntese de Abertura.....	24
2.3.2.3 Arranjo de Antenas (<i>Arrays</i>)	24
CAPÍTULO III	26
LOFAR – <i>LOW FREQUENCY ARRAY</i>	26
3.1 PROJETO LOFAR	26
3.2 OBJETIVOS DE LOFAR	26
3.3 RADIAÇÃO DE RÁDIO DE BAIXA FREQUÊNCIA	28
3.4 CARACTERÍSTICAS DE LOFAR	29
3.5 ANTENAS DESENVOLVIDAS PARA O SISTEMA LOFAR	33
3.5.1 <i>Antenas de Baixas Frequências - Low Frequency Antennas</i>	33
3.5.1.1 Dipolo V-Invertido	33
3.5.1.2 Dipolo NLTA	35
3.5.2 <i>Antenas de Altas Frequências - High Frequency Antennas</i>	36
CAPITULO IV.....	38
MODELAGEM DIGITAL DAS ANTENAS DIPOLO	38



4.1 MODELAGEM MECÂNICA.....	38
4.1.1 Construção de um Modelo Paramétrico da Antena Dipolo.....	38
4.1.2 Análise Estrutural da Antena	40
4.1.2.1 Análise por Elementos Finitos.....	41
4.1.2.2 Critério de Falha de Von Mises.....	43
4.1.3 Resultados da Estruturação Mecânica.....	46
4.2 MODELAGEM ELETROMAGNÉTICA.....	47
4.2.1 Modelamento Computacional do Protótipo.....	47
4.2.2 Simulação Eletromagnética.....	49
4.2.3 Resultados do Comportamento Eletromagnético da Antena Dipolo	49
CAPITULO V	55
CONCLUSÕES	55
AGRADECIMENTOS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO EM CONGRESSOS E SEMINÁRIOS	59
APÊNDICE A.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Padrão de Antena.	15
Fig. 2.2. Absorção das ondas eletromagnéticas causadas pela Ionosfera Terrestre.	17
Fig. 2.3. Disposição das antenas.....	19
Fig. 2.4. (a) Efeito de difração ao passar por uma abertura,.....	22
(b) Padrão teórico de difração de uma fonte pontual.	22
Fig. 2.5. Princípio de funcionamento de um interferômetro.	23
Fig. 2.6. Esquema de um Interferômetro de duas antenas.....	23
Fig. 2.7. Rotação aparente de uma área da Terra, formando uma abertura sintetizada...24	
Fig. 3.1. Disposição das antenas em estações formando uma espiral.	29
Fig. 3.2. Diâmetro da disposição das antenas de LOFAR.....	30
Fig. 3.3. Propagação dos sinais entrantes na Ionosfera terrestre.	30
Fig. 3.4. Milhares de antenas dipolo simulam uma antena de prato com 350 Km de diâmetro.....	31
Fig. 3.5. Disposição das antenas na Estação Central de LOFAR.....	32
Fig. 3.6. Computador Central Bluegene, utilizado na Estação Central de LOFAR.	32
Fig. 3.7. Antena Dipolo V-Invertido.	34
Fig. 3.8. Antena Dipolo.	35
Fig. 3.9. Antena “Fat Dipole”.	36
Fig. 3.10. <i>High Frequency Antennas</i> em sua estrutura de montagem.....	37
Fig. 3.11. Disposição das antenas de alta frequência.	37
Fig. 4.1. Braço da antena dipolo com suas dimensões principais.	39
Fig. 4.2. Antena dipolo NLTA.	39
Fig. 4.3. Ponto de fixação da antena dipolo NLTA.....	40
Fig. 4.4 (a) Malha de elementos e aplicação de forças.....	42
(b) Tensões e direções principais.	42
Fig. 4.5 (a) Campo de deslocamento vertical.....	43
(b) Campo de tensões normais.	43

Fig. 4.6 Diagrama tensão/deformação.....	44
Fig. 4.7 Diagrama das tensões principais segundo o critério de Von Mises.	45
Fig. 4.8 Deformação do braço da antena dipolo.....	46
Fig. 4.8 Deflexão do braço da antena dipolo.....	47
Fig. 4.9 Interface do software MMANA 2.03	48
Fig. 4.10 Geometria da antena dipolo.	48
Fig. 4.10 Resistência e reatância da antena antes e após sofrer deformação.....	50
Fig. 4.11 Taxa de onda estacionária da antena antes e após sofrer deformação.	51
Fig. 4.12 Ganho e relação frente-costa referentes a antena antes e após sofrer deformação.	52
Fig. 4.13 Diagrama de irradiação comparativo da antena sem e com deformação.	53

CAPÍTULO I

1.1 Introdução

Historicamente a radioastronomia de baixa frequência tem recebido pouca atenção devido as dificuldades impostas pela Ionosfera Terrestre. Nesse contexto, os radiotelescópios são de grande valia permitindo a possibilidade do estudo cósmico na janela de rádio frequências que se amplia com o desenvolvimento completo da nova tecnologia empregada em LOFAR.

O Sistema LOFAR – *Low Frequency Array* é um radiotelescópio digital, em implantação na Holanda, na Europa, projetado para operar em uma faixa de rádio de baixas frequências (10-240 MHz).

A importância do desenvolvimento de antenas receptoras provém da necessidade de detectar o campo elétrico das ondas eletromagnéticas de modo coerente e com sensibilidade suficiente para coletar as pequenas variações do fluxo emitido pelas radiofontes. Para isso, têm-se o desenvolvimento e a confecção experimental de modelos computadorizados dos protótipos de antenas dipolo adaptadas as necessidades eletro/eletrônicas do sistema em desenvolvimento, similares aos que são partes integrantes dos modelos desenvolvidos para o radiotelescópio LOFAR.

1.2 Objetivo

O Projeto tem como objetivo promover a implantação de um sistema, estação LOFAR (*Low-Frequency Array*) no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CIE/INPE – MCT, em São Martinho da Serra, RS.

Para instalação do Sistema LOFAR faz-se necessário um estudo do funcionamento e das características desse novo radiotelescópio, bem como de suas partes integrantes.

Para tal, utilizaram-se as características construtivas da antena dipolo que trabalhará na faixa de frequências de 10 a 90 MHz para realizar um estudo comparativo verificando a influência eletromagnética gerada na antena dipolo a partir de uma solicitação de esforço mecânico proveniente do peso próprio da estrutura. Este estudo foi desenvolvido no Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CIE/INPE –

MCT. A partir dos resultados obtidos, será estudada a possibilidade de implantação de uma unidade LOFAR no Sul do Brasil.

1.3 Organização do Relatório

O Relatório é dividido em cinco capítulos. No primeiro Capítulo é feita uma breve introdução, onde são relacionados os objetivos do Projeto. O segundo Capítulo apresenta conceitos de ondas eletromagnéticas, antenas, radioastronomia e radiotelescópios, bem como sua aplicação prática na idealização do Projeto LOFAR. O Capítulo III é utilizado para apresentar o Sistema LOFAR. Prototipagem, Confecção e Simulações Digitais das Antenas dipolo de LOFAR são apresentados no Capítulo IV. No Capítulo V é feita a conclusão sobre o trabalho realizado, bem como, no Apêndice A são apresentados certificados de cursos e participações em congressos ocorridos durante o período de vigência da bolsa.

CAPITULO II

RADIOASTRONOMIA E RADIOTELESCÓPIOS

Este capítulo apresenta conceitos de ondas eletromagnéticas, antenas, radioastronomia e radiotelescópios, bem como sua aplicação prática na idealização do Projeto LOFAR.

2.1 Introdução

Para entender o princípio de funcionamento do radiotelescópio LOFAR, são necessários alguns conceitos básicos que regem as ondas eletromagnéticas, rádio, e como as antenas cumprem seu papel de captar uma onda livre no espaço conduzindo-a para a análise da qual se destina o Sistema LOFAR.

As ondas eletromagnéticas têm um importante papel na vida do ser humano, graças a ela que o Sol pode mover os processos naturais que dependem da luz e do calor gerados por ele. Além do Sol temos outras estruturas que emitem ondas eletromagnéticas: a radiação eletromagnética emitida por átomos de hidrogênio neutro que povoam o espaço interestelar da nossa galáxia; as emissões na faixa de radiofrequências dos *quasars* (objetos ópticos que se encontram a enormes distâncias de nós, muito além de nossa galáxia, e que produzem enorme quantidade de energia); pulsos intensos de radiação dos *pulsars* (estrelas pequenas cuja densidade média é em torno de 10 trilhões de vezes a densidade média do Sol); fontes terrestres de estações de rádio e de TV, sistemas de telecomunicações à base de microondas, lâmpadas artificiais, corpos aquecidos e muitas outras.

Essas ondas eletromagnéticas são tão importantes para a vida do homem, que a partir de sua descoberta por James Clerk Maxwell em sua teoria eletromagnética, passamos a ter preocupações em captar e transmitir ondas, tanto na Terra como para o espaço interestelar. Fazendo uso de antenas esse objetivo foi alcançado, pois elas possibilitaram através de uma estrutura geométrica cujo material construtivo permite livre movimentação a cargas elétricas, uma região de transição entre uma onda livre no espaço e uma onda guiada.

Para tal, as antenas possuem características próprias que delimitam sua eficiência e seu funcionamento. Dentre as tantas características empregadas para qualificar uma antena podemos citar as seguintes:

- ◆ Polarização: Define a direção do vetor campo elétrico do campo eletromagnético por ela irradiado com relação a um plano de referência.
- ◆ Padrão de Irradiação: Expressão analítica que define a intensidade normalizada do campo elétrico.
- ◆ Padrão de Antena: Resposta da antena em função da direção. Numericamente pode ser especificado em função da largura angular do lóbulo principal para um determinado nível. Isso pode ser visto na Fig. 2.1.

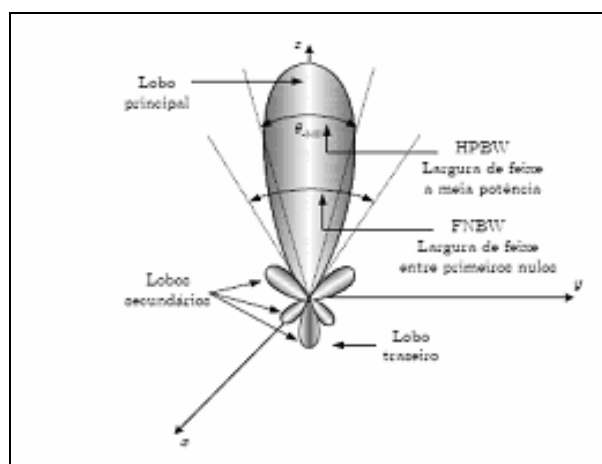


Fig. 2.1. Padrão de Antena.

Fonte: Diagrama de Radiação, 2007.

- ◆ Intensidade de Irradiação: Densidade sólido-angular de potência irradiada.
 - ◆ Diretividade: Índice numérico que mede a habilidade de uma antena em concentrar a absorção de potência incidente na direção de máxima irradiação (ou concentrar a potência irradiada na direção de máxima irradiação).
 - ◆ Ganho: Definido como a razão entre a máxima densidade superficial da antena e a densidade superficial de potência irradiada.
-

- ◆ Impedância de Entrada: É a resistência que a antena apresenta à linha de transmissão que a alimenta (Resistência de Radiação) e a estrutura de acoplamento que a une a essa linha (Resistência Própria).
- ◆ Abertura Efetiva: Área equivalente ou abertura equivalente através da qual a antena extrai a máxima energia possível de uma onda eletromagnética que sobre ela incida.
- ◆ Largura de Banda: Faixa de frequências que uma antena pode operar satisfazendo os mínimos parâmetros de desempenho.

Tendo levado em consideração todos estes parâmetros e características singulares de cada antena, LOFAR terá o desafio de coordenar o funcionamento de várias antenas operando em um conjunto *Array*. Um conjunto *Array* nada mais é que um número n de elementos (antenas transmissoras ou receptoras) localizados em uma região do espaço, a fim de somar os campos individuais de cada elemento de modo a maximizar o campo elétrico em um ponto de interesse.

2.2 Radioastronomia

Graças a grande importância do estudo das ondas eletromagnéticas provenientes do espaço, surge uma nova ciência, a Radioastronomia, que se detém ao estudo de corpos celestes, captando e analisando as ondas de rádio por eles emitidas.

Em 1930 Karl Jansky observou ondas na frequência de 20,5 MHz. Em 1938 Reber fez uma experiência com ondas de 160 MHz. Revelando muitas coisas sobre o Sistema Solar, nossa própria Galáxia, Radiogaláxias, *Quasars* e Cosmologia Observacional, esse estudo mostrou-se melhor em uma porção do Espectro Eletromagnético, e pouco ou de modo nenhum em outras partes do Espectro.

A realização das observações por meio de ondas de rádio possibilitou o estudo onde a atmosfera Terrestre é transparente em determinados comprimentos de onda, de 300 nm - 700 nm, e às ondas de rádio com comprimentos de onda aproximadamente de 1 mm a 30 m. Ver Fig. 2.2. As ondas de rádio de curto comprimento de onda são absorvidas por moléculas na Atmosfera, e outros comprimentos de onda mais longos são refletidos pelas camadas de partículas carregadas na Ionosfera. Na alta atmosfera a reflexão é a razão porque por muito tempo, os sinais da onda média e curta em rádio

podem ser recebidos em torno do mundo. Para estudar outros comprimentos de onda: raios X, ultravioleta e infravermelho, são usados satélites com telescópios e detectores especiais.

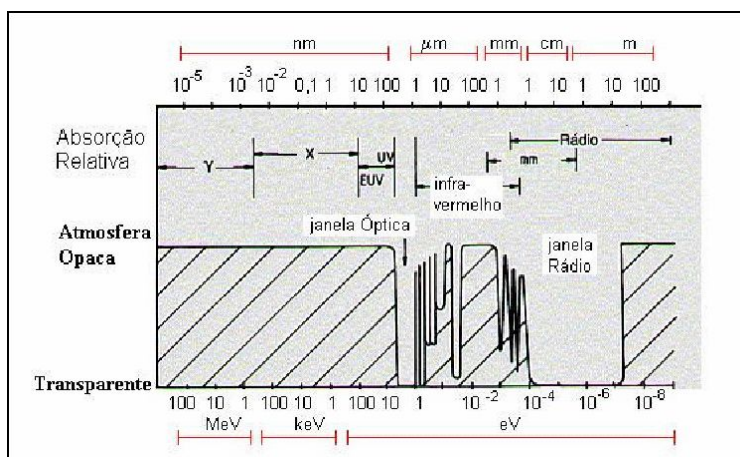


Fig. 2.2. Absorção das ondas eletromagnéticas causadas pela Ionosfera Terrestre.

Fonte: Fundamentos de Astronomia.

Os sinais emitidos por radio fontes podem ser recebidos nas partes mais distantes do Universo, entretanto eles sofrem uma grande atenuação, principalmente devido à dispersão de propagação em espaço livre, por isso há necessidade de receptores sensíveis e softwares de computador para controle de telescópios e análise das imagens. Estas técnicas são extensamente aplicáveis fora da Astronomia. Radioastronomia é, portanto, importante tanto para pesquisa pura como aplicada na formação e treinamento para cientistas e engenheiros.

2.3 Radiotelescópios

Um Radiotelescópio consiste em um receptor radiastronômico que detecta o campo elétrico captado de modo coerente, com sensibilidade suficiente para coletar pequenas densidades de fluxo das radiofontes cósmicas. Independente de seu tamanho e configuração, um radiotelescópio quando do tipo radio-interferômetro, usa grande quantidade de pequenas antenas para simular uma única antena parabólica de grande porte, por exemplo.

2.3.1 Histórico dos Radiotelescópios de Baixa Frequência

Na Radioastronomia, baixas frequências geralmente se referem ao espectro abaixo dos 100 MHz. Historicamente, esta banda tem recebido relativamente pouca atenção dos astrônomos. Isto é devido as grandes complicações impostas pela Ionosfera da Terra, a qual se torna cada vez mais refrativa e turbulenta abaixo de 100 MHz, e torna-se essencialmente opaca abaixo dos 10 MHz. As antenas as quais utilizam refletores de forma paraboloidal, que são muito usadas como elementos interferométricos em altas frequências tornam-se inutilizáveis na faixa abaixo de 100 MHz.

Exemplos semelhantes a estas disposições que podem ser citados são: o dipolo de banda estreita na frequência de 22 MHz, desenvolvido na Inglaterra e ativo durante 1960; o UTR-2, uma construção de elementos dipolos, ditos “gordos” na faixa de 10-15 MHz construído na Ucrânia durante a década de 1970; e o Clark Lake Teepee-Tee – TPT, uma disposição de 15 – 125 MHz consistindo de antenas dispostas em uma espiral cônica, construído no Sul da Califórnia nos anos de 1970. O interesse na observação nestas frequências diminuiu em 1980, principalmente devido à resolução de imagens superiores que são possíveis em altas frequências.

Vários fatores têm contribuído para o ressurgimento do interesse da Radioastronomia de baixa frequência. Perto dos anos de 1990 uma técnica foi desenvolvida, a qual aperfeiçoava drasticamente a habilidade dos astrônomos para suavizar os efeitos da ionosfera em imagens de síntese de abertura, permitindo a resolução na escala inferior a arcos-minutos. Ao mesmo tempo a produção, custos e tecnologia para recebimento e processamento adequado dos sinais digitais de grandes comprimentos de onda se aperfeiçoaram drasticamente, tornando possível a construção de disposição de dipolos muito maiores que as tentativas feitas nas décadas de 60 e 70.

A próxima geração de grandes telescópios para Radioastronomia em frequências abaixo de 100 MHz consistirá de milhares de antenas dipolo de banda larga, como pode ser visto na Fig. 2.3. onde cada antena é individualmente instrumentada com um receptor e todas são combinadas através da utilização de sinais digitais processados. Nestas baixas frequências, a sensibilidade de um telescópio é limitada pelo ruído

Galáctico, e até mesmo simples dipolos devem procurar limitar este ruído para melhor captação da radiação eletromagnética emitida pelas estrelas no espaço.



Fig. 2.3. Disposição das antenas.

Fonte: ASTRON, 2006.

No momento, no mínimo três novos projetos de grandes telescópios estão com projetos em andamento: Telescópio de Baixa Frequência (Low-Frequency Array – LOFAR), agora em fase de prototipagem avançada na Holanda onde já existem antenas instaladas; Telescópio de Longo Comprimento de Onda (Long Wavelength – LWA), que está sendo planejado para ser construído no Novo México, onde dois sistemas de protótipos estão sendo desenhados; e o Telescópio de Grande Área Mileura (Mileura Wide-Field Array – MWA), planejado para ser construído no oeste da Austrália. Os dois últimos ainda são projetos, uma vez que a Holanda e a Alemanha, países que detinham os maiores recursos para a construção do radiotelescópio decidiram, sem o consenso de todos os países envolvidos, construir o radiotelescópio na Holanda, apesar de este não ser o local mais apropriado para este fim. Assim os Radiotelescópios planejados para o Novo México e para a Austrália estão em fase de planejamento, uma vez que necessitam de muitos recursos dos países envolvidos.

Todos estes instrumentos requerem milhares de antenas, cada uma apresentando uma ampla largura de onda e o maior possível comprimento de banda. Estas antenas serão agrupadas em "estações", com diâmetros de aproximadamente 100 metros cada.

Os sinais de cada estação serão digitalizados e a interferometria será executada entre as estações e não entre antenas. Cada estação funciona equivalente a um grande refletor, em forma de prato, como os utilizados em uma antena tradicional para altas frequências, em radiotelescópios de síntese de abertura, e neste nível são combinadas para formar imagens. O grandioso número de antenas requeridas torna essencial que cada antena tenha um custo o mais baixo possível, com fácil manufatura e instalação, e que sejam resistentes, não requerendo nenhuma manutenção.

Para alcançar grandes escalas de ajustes, telescópios anteriores como o UTR-2 e o TPT usaram antenas as quais tem forma inerente a grandes comprimentos de onda, em razão que a impedância final é quase constante até uma grande ordem de frequência. Por outro lado, antenas como estas – incluindo as do tipo dipolo “gordo” e as cônicas espirais – são mecanicamente complexas, com custo elevado, dificuldades para construção, e apresentam problemas para manutenção. Isto torna estas antenas inadequadas para uma disposição de antenas na escala de tamanho do LOFAR, LWA e MWA. Em contraste, dipolos de arames, ou fios, simples são mecanicamente bem adequados para o uso em grandes disposições de baixa frequência, mas apresentam uma largura de banda de estreita impedância. Mas por outro lado, esta não é uma limitação restrita em baixas frequências com é em altas frequências, isto porque o ruído Galáctico natural pode facilmente ser dominado pelo próprio ruído dos componentes eletrônicos acoplados a antena. Neste caso, o desempenho da antena é inaceitável somente se a não combinação de impedância entre os terminais das antenas e os componentes eletrônicos se tornem muito grandes, fazendo com que as antenas não fiquem distante do limite de ruído Galáctico. Uma vez que, o sistema de antenas é minimamente afetado pelo ruído Galáctico, facilita o aprimoramento do nível de impedância, apresentando poucos efeitos na sensibilidade do instrumento. Como os ruídos Galácticos são frequências de bandas largas e estão distribuídos por todo o céu, o aprimoramento na sensibilidade de um telescópio pode então ser alcançadas somente pela adição de antenas adicionais, aumentando a abertura efetiva. Deste modo, até mesmo o casamento de antenas ruins, assim como dipolos finos com pouca ressonância, devem apresentar uma melhor sensibilidade.

Este é o princípio básico de operação para antenas ativas eletricamente pequenas, as quais são comumente usadas em comunicação de HF (3-30 MHz), neste caso o ruído feito pelo homem desempenha a mesma função que o ruído Galáctico. Em 2000, foi mostrado que esta aproximação foi também aplicada para Radioastronomia de baixas frequências. Porém, estes estudos não quantificaram os limites para esta aproximação, por exemplo, não foi deixado claro como a medida do desenho da antena e dos componentes eletrônicos realmente limitavam a graduação do sinal, o qual poderia limitar o ruído galáctico e sobre qual escala de frequências. Recentemente tem sido relatados desempenhos de limites de ruídos Galácticos, na escala de 10-50 MHz usando uma antena dipolo com um simples *balun* ativo. Isto confirma que o conceito é válido, mas regras de desenho e limites de performance ainda não existem. Este breve histórico foi adaptado do Relatório Final PIBIB – 2006 de Jean Paulo Guarnieri.

2.3.2 Características dos Radiotelescópios

De um modo geral, os radiotelescópios com grandes superfícies coletoras são muito usados no estudo de fontes fracas, com tempos de observação relativamente curtos. São particularmente usuais na espectroscopia de fontes de pequeno tamanho angular; para o estudo de fenômenos rapidamente variáveis, tais como pulsares ou estrelas pulsantes; ou mesmo ocultações de fontes pela Lua, onde longos tempos de integração não são adequados para a resolução desejada.

Para se ter uma análise astronômica de boa qualidade, precisamos levar em consideração dois fatores que desempenham um papel importante na observação de objetos distantes: O poder de resolução (melhor nível de detalhamento) e sensibilidade (maior quantidade de radiação coletada em um menor tempo de exposição). Comparativamente a Fig 2.4.(a), podemos dizer que o obstáculo é a dificuldade imposta pela Ionosfera terrestre as ondas eletromagnéticas entrantes e a Fig 2.4.(b) é um padrão teórico de difração de uma fonte pontual que pode ser captado no máximo poder de resolução de um radiotelescópio.

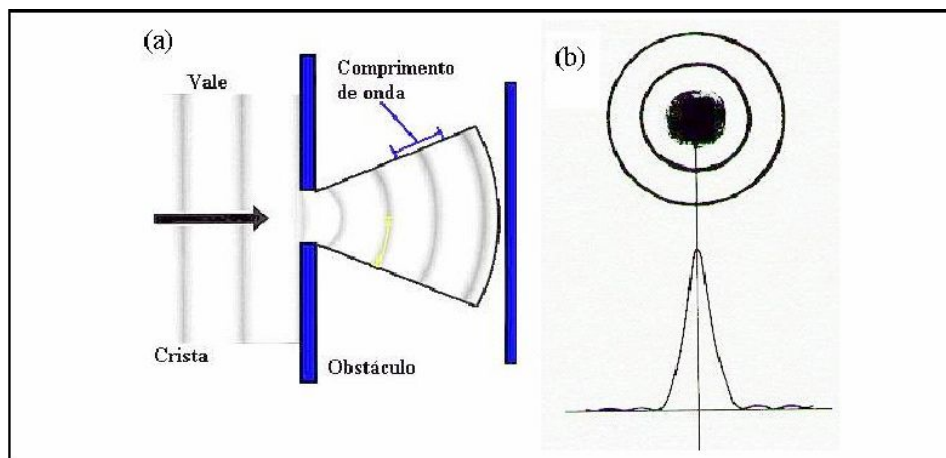


Fig. 2.4. (a) Efeito de difração ao passar por uma abertura,
(b) Padrão teórico de difração de uma fonte pontual.

Fonte: Fundamentos de Astronomia.

Em radioastronomia, para se obter um poder de resolução comparável com a resolução dos telescópios ópticos, os instrumentos devem ter dimensões exageradamente grandes, sem possibilidades de construção. Esse tipo de problema pode ser resolvido pelo uso da interferometria entre radio antenas separadas por grandes distâncias, proporcionando a mesma resolução angular que seria obtida com o uso de uma única antena, com diâmetro equivalente à separação entre os elementos do interferômetro.

2.3.2.1 Interferometria

O processo de interferometria nas observações astronômicas se dá pelo fato de cada antena receptora interagir de modo a formar franjas de interferência. Nas posições em que as cristas das duas ondas coincidem ocorre interferência construtiva e franjas brilhantes aparecem. Por outro lado, onde as cristas de uma onda encontram os vales de outra, a interferência é destrutiva, formando-se então franjas escuras. Ver Fig. 2.5.

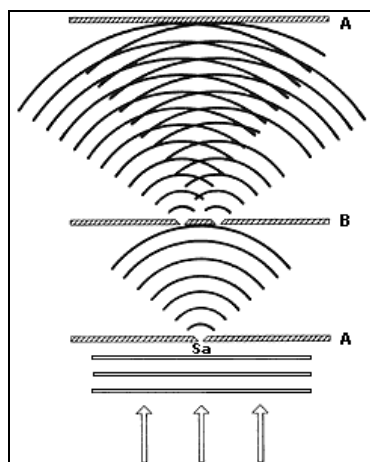


Fig. 2.5. Princípio de funcionamento de um interferômetro.

Fonte: Luz, óptica e ondas, 2007.

Pensando em um exemplo simples de duas antenas montadas sobre uma linha base e ligadas entre si por cabos de transmissão, quando a fonte passa pelo feixe da antena, a resposta de saída terá um aspecto de franja de interferência para cada uma delas, devido as ondas não chegarem em fase pelo movimento da Terra. Com isso, podemos determinar através do princípio básico de funcionamento do dispositivo de Michelson, o ângulo de posição da fonte, θ , a distância, D , entre as antenas e o comprimento, r , da defasagem da onda incidente, como mostrado na Fig. 2.6.

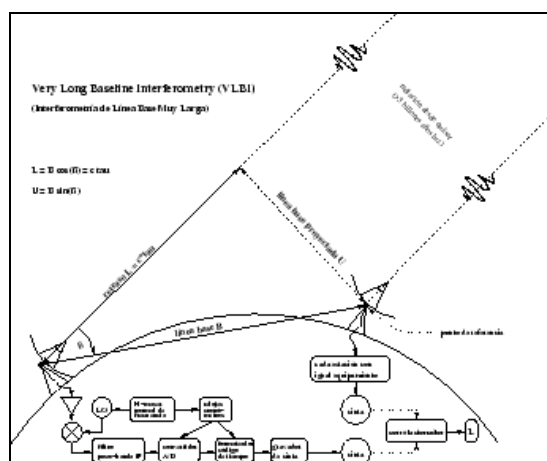


Fig. 2.6. Esquema de um Interferômetro de duas antenas.

Fonte: Sistemas de Medición, 2007.

2.3.2.2 Síntese de Abertura

A medida de visibilidade das franjas é uma função que envolve o produto de duas outras funções. Uma delas é a distribuição de brilho da fonte observada e a outra é dada pelo padrão de sensibilidade da antena, ou seja, o sinal depende tanto da estrutura da fonte quanto das posições relativas entre os elementos do interferômetro e a posição da fonte.

Assim, com um número suficiente de medidas da visibilidade, pode-se reconstruir a imagem da radio emissão do objeto, usando-se as propriedades das transformadas de Fourier. Uma maneira de se medir a visibilidade em várias posições diferentes é utilizar o método de Síntese de Abertura, ver Fig. 2.7., que aproveita o movimento de rotação da Terra para sintetizar uma grande área varrida.

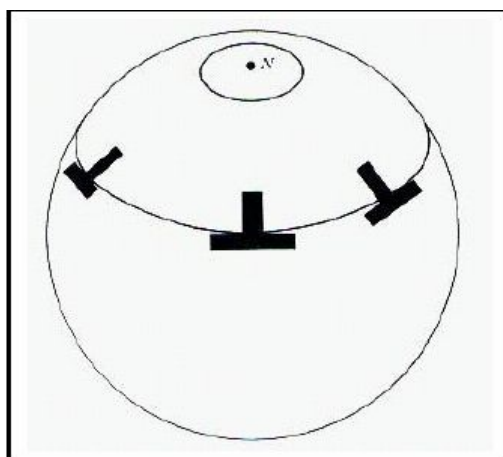


Fig. 2.7. Rotação aparente de uma área da Terra, formando uma abertura sintetizada.

Fonte: Telescópios, 2007.

2.3.2.3 Arranjo de Antenas (*Arrays*)

Um *array* pode ser conceituado como um conjunto de n irradiadores localizados em uma região do espaço, objetivando somar os campos individuais de cada irradiador, de modo a maximizar um ponto de interesse localizado em uma região do campo distante.

O problema de maximizar o campo irradiado em uma direção desejada foi por muito tempo resolvido através do uso de superfícies eletricamente refletoras, as quais



tendem a atuar como espelhos ópticos focalizando o feixe. No entanto, a Teoria de Sistemas Adaptativos e com o aumento da capacidade computacional e a redução de custos dos microprocessadores, os *arrays* adquiriram grande vantagem sobre as antenas refletoras com seu diagrama de irradiação podendo ser totalmente determinado pela amplitude e fase das correntes de cada irradiador que o compõe.

CAPÍTULO III

LOFAR – *LOW FREQUENCY ARRAY*

Este capítulo apresenta o Sistema LOFAR em todas as suas características, objetivos e tecnologias desenvolvidas para possibilitar sua implementação e desenvolvimento.

3.1 Projeto LOFAR

LOFAR – *Low-Frequency Array* é um Radiotelescópio digital, que está sendo planejado para operar em uma faixa do espectro de baixas frequências (10-240 MHz).

Vários grupos de pesquisa estão a alguns anos trabalhando para desenvolver o conceito de “telescópio por *software*”, tais como LOFAR. Dentre estes grupos podemos incluir o Instituto SETI, com o seu *Allen Telescope Array* e uma equipe da Universidade do Estado de Ohio.

LOFAR é o resultado do trabalho da Fundação Holandesa para a Investigação em Astronomia – ASTRON, do Laboratório de Pesquisa da Marinha dos EUA e do Observatório Haystack, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts. Para seu desenvolvimento foram considerados locais como Holanda, Oeste da Austrália e Sudoeste dos Estados Unidos. Embora a Austrália tivesse sido selecionada como o melhor sítio, o grupo holandês decidiu rescindir o projeto de construção neste local e construir o Radiotelescópio na Holanda, com o recebimento de um financiamento de 52 milhões de euros.

3.2 Objetivos de LOFAR

O grande objetivo de LOFAR, como o mais novo e poderoso radiotelescópio a ser implantado no mundo, é abrir uma nova janela de alta resolução do espectro eletromagnético na faixa de 10-240 MHz. Tendo a sensibilidade e definição espectral, suficientemente atingidas com LOFAR, serão possíveis diversos estudos fundamentais do Universo, bem como aprimorar as investigações do ambiente terrestre:

- ◆ No Universo muito distante ($7 < z < 10$), o LOFAR pode procurar pela assinatura produzida pela reionização do hidrogênio neutro. Esta mudança crucial da fase é predita para ocorrer na época da formação das primeiras Estrelas e Galáxias.
 - ◆ No Universo “formativo” distante ($1.5 < z < 7$), o LOFAR detectará as mais distantes galáxias maciças e estudará os processos pelo qual as estruturas do Universo (Galáxias, conjuntos e núcleos ativos) são formadas e sondam o gás intergaláctico.
 - ◆ No Universo próximo, o LOFAR traçará a distribuição tridimensional de raios cósmicos em nosso próprio campo magnético global e em Galáxias próximas.
 - ◆ No Universo de energias elevadas, o LOFAR detectará os raios cósmicos de energia ultra elevada e como ela perfura a atmosfera da Terra.
 - ◆ Dentro de nossa própria Galáxia o LOFAR detectará flashes da radiação de baixa frequência dos *pulsars* e eventos transientes de curta vida produzidos por fusão e interações estelares e procurará Júpiter, assim como, por planetas extrasolares.
 - ◆ Dentro de nosso Sistema Solar o LOFAR detectará ejeções maciças coronais do sol e fornecer mapas contínuos em grande escala do vento solar. Esta informação crucial sobre o tempo solar e seu efeito na terra, facilitarão previsões de custos e perigo de tempestades geomagnéticas.
 - ◆ Dentro do ambiente imediato da Terra, LOFAR traçará continuamente irregularidades na Ionosfera, detectando os efeitos de ionização, de explosões distantes de raios gama e prever os flashes de raios cósmicos que conduzem grande energia, cuja origem é indefinida.
 - ◆ Ainda dentro do ambiente terrestre, o LOFAR maximizará a produção e o lucro monitorando fatores ambientais para uma nova agricultura de precisão. Para isso são requeridas as previsões de tempo exatas, modelos e sensores para monitorar o crescimento e as pragas; e integração de ferramentas biológicas da tomada de decisão com informação dinâmica de mercado.
-

Outro importante fator local de LOFAR são as aplicações na Geofísica, em especial nas geociências, como arquivo de dados de vibrações sísmicas naturais, infra-sons, monitoramento da água do solo, monitoramento da pressão e temperatura e obtenção de imagens de fenômenos sísmicos por métodos passivos.

3.3 Radiação de Rádio de Baixa Frequência

Para conseguir alcançar os objetivos descritos acima, LOFAR atuará em alguns dos mecanismos especiais que fazem com que tenhamos uma radiação incidente nas frequências extremamente baixas. São eles:

- ◆ *Emissão do Synchrotron*: A radiação do *Synchrotron* é produzida pelos elétrons que movem-se perto da velocidade de luz em um campo magnético. Este é o mecanismo dominante da radiação encontrado na astronomia de rádio clássica. Isso porque, os objetos que emitem a radiação de rádio luminosa (por exemplo, Galáxias ativas distantes) são diferentes daquelas que emitem radiação térmica luminosa (por exemplo, estrelas e nebulosas brilhantes), o universo de rádio parece muito diferente do universo visível. As fontes do *Synchrotron* que serão observadas por LOFAR incluem os lóbulos e os jatos emissores pelos núcleos da maioria das Galáxias distantes, os raios cósmicos e os restos de super-novas produzidas por Estrelas em Galáxias normais.
- ◆ *Emissão Coerente do Plasma e do Cyclotron*: É conhecida pela sua importância no Sol e em Júpiter, os dois objetos mais brilhantes no céu de rádio de baixa frequência.
- ◆ *Os Processos de Absorção*: Muitas fontes do *Synchrotron* têm os espectros que declinam agudamente no ponto baixo da radiofrequência. Este declínio em baixas frequências é geralmente atribuído à absorção da radiação *Synchrotron* emitida dentro do próprio objeto ou no trajeto entre o emissor e a Terra. Um estudo desta absorção pode fornecer o diagnóstico sobre as densidades, a geometria do gás, o plasma dentro das radiofontes, o ambiente circunvizinho e o trajeto entre a fonte emissora e a Terra.

O LOFAR examinará e monitorará o céu galáctico e extragaláctico em diversas frequências. Com a potencialidade original em observar simultaneamente um número de

feixes sintetizados, será possível observar grandes áreas do céu com profundidades sem precedentes. Desde que a posição dos parâmetros espaciais que o LOFAR observará for território desconhecido, uma estimativa do número das fontes que LOFAR observará é baseada necessariamente em exames das pequenas regiões do céu que foram estudadas em algumas frequências mais elevadas.

3.4 Características de LOFAR

LOFAR terá aproximadamente 25.000 sensores, ou seja, pequenas antenas omnidirecionais de baixo custo, geofones, infra-sons e outros, distribuídos em forma de cachos em 100 estações formando uma espiral de 350 Km de diâmetro. Ver Fig. 3.1.

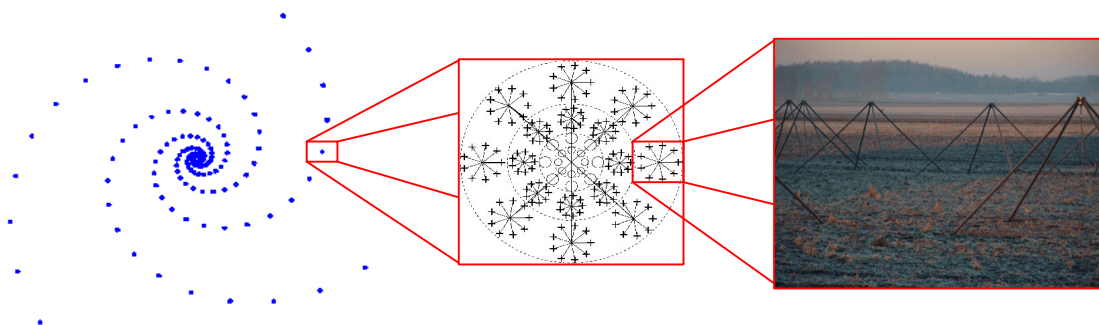


Fig. 3.1. Disposição das antenas em estações formando uma espiral.

Fonte: LOFAR, 2006.

Utilizará um conjunto de antenas de duas diferentes frequências em cada estação. Uma do tipo dipolo ativo que opera na faixa de 10 a 90 MHz e outra, em uma disposição de 4x4 antenas na frequência de 110 a 240 MHz.

Cada estação estará disposta em uma circunferência de 100 metros de diâmetro, como mostra a Fig. 3.2, e os dados coletados por ela serão digitalizados através da Transformação de Fourier e de filtros digitais, reduzindo o sinal a ser transportado para uma frequência de 2 a 4 MHz. Isso nos mostra que o funcionamento deste radiotelescópio está baseado no processamento de dados interferométricos em cada estação, e não separadamente para cada antena.

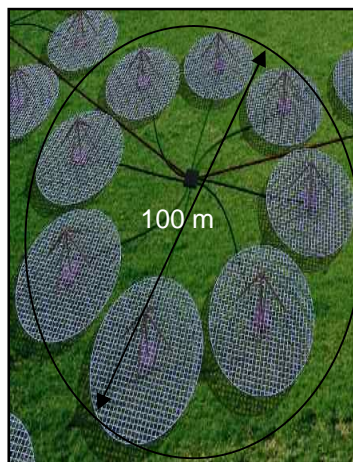


Fig. 3.2. Diâmetro da disposição das antenas de LOFAR.

Fonte: LOFAR, 2006.

Esses dados serão transportados por meio de fibra ótica, pelo fato deste possibilitar a transferência de terabits de dados por segundo e ocasionar uma impedância resultante final menor que os conhecidos cabos coaxiais, para um computador central que processará os dados entrantes.

Este computador central terá um importante papel na atuação de LOFAR, pois será ele que processará os sinais de cada estação por meio de estudos de interferometria entre as diversas estações que formam o radiotelescópio e a compensação dos sinais dispersos devido a propagação da Ionosfera existente na atmosfera terrestre, ver Fig. 3.3.

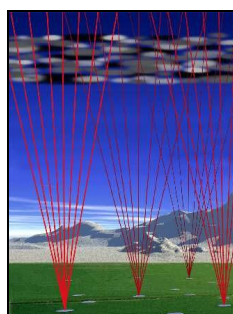


Fig. 3.3. Propagação dos sinais entrantes na Ionosfera terrestre.

Fonte: LOFAR 2006.

Ou seja, LOFAR será um “telescópio *software*” que simulará uma antena de prato de 350 Km de diâmetro em um supercomputador central, como mostra a Fig. 3.4.

Sendo assim, LOFAR possuirá uma grande agilidade nas faixas de frequência ao qual ele foi projetado para operar, tornando possíveis observações com grande sensibilidade em mais de uma faixa de frequência.



Fig. 3.4. Milhares de antenas dipolo simularão uma antena de prato com 350 Km de diâmetro.

Fonte: Dutch Space, 2007.

A primeira estação central de LOFAR (CS1) foi construída nos campos de Exloo, no nordeste dos Países Baixos durante o verão de 2006. 96 antenas de banda baixa foram distribuídas em 4 estações; 48 antenas foram colocadas em um campo central e 16 foram distribuídos em 3 estações em torno da estação central – formando uma linha de base de 450 metros. A Fig. 3.5. abaixo dá uma impressão de uma vista sobre a estação central. A instalação foi escolhida para permitir não somente testes do desempenho de uma única estação na largura total de faixa, mas também da simulação de LOFAR com 24 micro-estações com largura de faixa reduzida.



Fig. 3.5. Disposição das antenas na Estação Central de LOFAR.

Fonte: LOFAR, 2007.

A estação CS1 do protótipo de LOFAR começou a operar em outubro de 2006. Desde então, os dados fluíram ao BlueGene e estão sendo processados, armazenados e analisados, ver Fig. 3.6. Uma estação em Effelsberg começou a produzir dados em novembro de 2007 e agora está conectado a um instituto em Bonn, que por sua vez, está conectado por uma rede de alta velocidade transferindo os dados da Alemanha para o supercomputador de LOFAR. Há plantas também bem-avanzadas para construir estações no Reino Unido, França e em outras partes da Alemanha, quando as demais possibilidades forem exploradas teremos estações também na Suécia, Itália e Polônia.

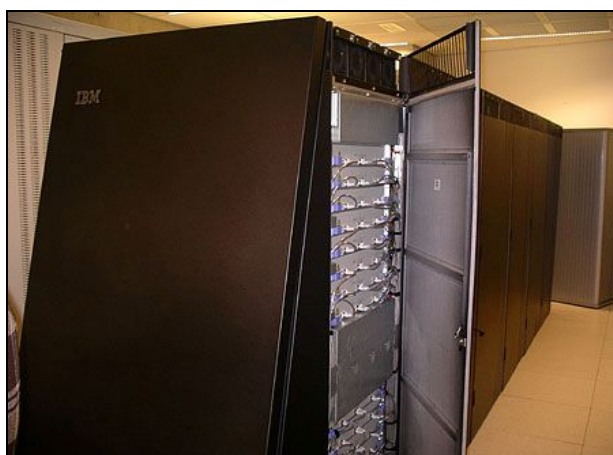


Fig. 3.6. Computador Central Bluegene, utilizado na Estação Central de LOFAR.

Fonte: LOFAR, 2007.

3.5 Antenas Desenvolvidas para o Sistema LOFAR

Vários grupos de pesquisa desenvolveram diversos protótipos de antenas para configurar este novo radiotelescópio, dentre eles podemos citar a Fundação Holandesa para a Investigação em Astronomia – ASTRON, *U.S. Naval Research Laboratory's* – NRL, MIT *Haystack Observatory*, entre outros.

Estes grupos desenvolveram modelos visando apresentarem bom desempenho eletrônico, baixo custo e facilidade de fabricação, uma vez que serão necessários milhares de antenas para a construção de um radiotelescópio de baixa frequência.

Como LOFAR opera em duas faixas de frequência, 10 a 90 MHz e 110 a 240 MHz, foram desenvolvidas duas classes de antenas denominadas, Antenas para Baixa Frequência (*Low Frequency Antennas* – LFA) e Antenas para Alta Frequência (*High Frequency Antennas* – HFA).

3.5.1 Antenas de Baixas Frequências - *Low Frequency Antennas*

Os protótipos desenvolvidos para esta faixa de frequência, basicamente são compostos por antenas de dupla polarização e um filtro ou balun ativo que filtra os ruídos gerados pelo sistema e amplifica os sinais entrantes. Para LOFAR foram desenvolvidos vários protótipos, como o dipolo V-Invertido, NTLA, NRL entre outras.

3.5.1.1 Dipolo V-Invertido

Esta antena é o modelo que está sendo utilizado por LOFAR e foi desenvolvida pela Fundação Holandesa para a Investigação em Astronomia – ASTRON. Elas recebem ondas eletromagnéticas na faixa de 10-90 MHz em dupla polarização, enviando informações para uma unidade receptora e amplificadora de sinais através de um balun ativo. Estas antenas podem ser divididas em duas faixas de frequências, de 10-40 MHz e de 30-90 MHz, para facilitar a captação de sinais sem que haja interferência do ruído galáctico.

Mecanicamente a antena é confeccionada na forma de uma pirâmide, apresentando dois dipolos em forma de V, os quais estão localizados em dois planos

ortogonais. Sua estrutura é composta por tubos padrões de PVC, onde internamente se encontram fios finos de cobre de aproximadamente $2,5 \text{ mm}^2$. Na base inferior coloca-se uma malha metálica para aumentar o rendimento e diminuir a reflexão das ondas que incidem no solo. Na parte superior se encontra os receptores para as duas polarizações, juntamente com o *balun* para amplificação do sinal. Esta antena possui baixo custo de fabricação e pode ser vista na Fig. 3.7.



Fig. 3.7. Antena Dipolo V-Invertido.

Fonte: ASTRON, 2007.

Similar a antena Dipolo V-Invertido foram feitas outras concepções. Um modelo estudado consiste em dois braços confeccionados de tubos de cobre com 15,85 mm de diâmetro externo e uma espessura da parede de 1,575 mm. Cada haste do dipolo tem um comprimento de 1,9 m com ressonância final na frequência de $\sim 38 \text{ MHz}$. Os braços da antena formam um ângulo de 45° graus com o zênite, melhorando as características padrão, enquanto diminuem a impedância final para aproximadamente 50Ω em ressonância. O desenho esquemático deste modelo pode ser visto na Fig. 3.8.

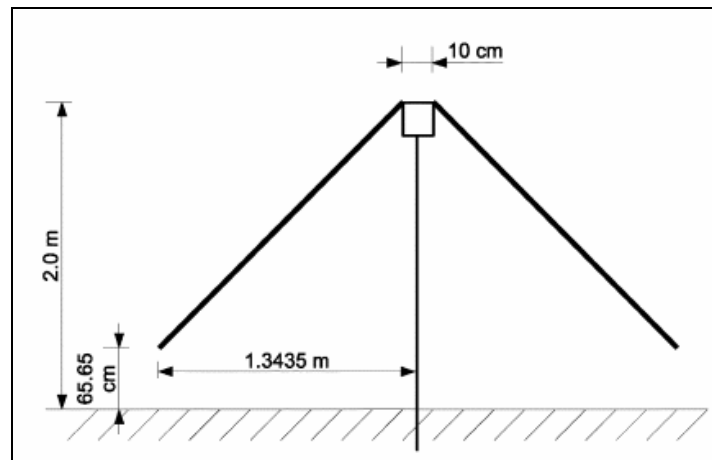


Fig. 3.8. Antena Dipolo.

Fonte: Ellingson, 2005.

Realizando testes eletrônicos e considerando um cenário o mais próximo à realidade através da estipulação de algumas variáveis, foi verificado que esta antena entrou em ressonância na faixa de 26 – 53 MHz, na impedância de 50 Ω . Os resultados apresentados mostraram que a antena obteve uma estreita faixa de impedância em que foi obtido ressonância. Essa reduzida largura de banda útil pode estar relacionada com os efeitos de condução do solo, e pode ser melhorada com a utilização de uma malha de cabos na região abaixo da antena, modificando assim, os efeitos de condutividade do solo.

3.5.1.2 Dipolo NLTA

Outra alternativa a ser utilizada pelos cientistas é o “*fat dipole*” desenvolvido pelo *U.S. Naval Research Laboratory’s* – NRL. Esta concepção visa aumentar o comprimento de banda útil de uma antena simples, através do aumento da área de frequência de impedância. Um conhecido método para melhorar a faixa de frequência de dipolos é confeccioná-los “gordos”, isto é, aumentar o irradiador em relação ao comprimento e a espessura. Também é conhecido que muito dos benefícios da espessura podem ser alcançados somente pelo aumento da largura, resultando em antenas achatadas e amplamente irradiadoras. Esta estrutura pode ser aproximada por

uma rede de cabos, acompanhando o desenho de um irradiador achatado, sendo um desenho de fácil construção e que apresenta baixo peso.

Na Fig. 3.9., pode-se observar a forma desta antena desenvolvida e atualmente em uso no *U. S. Naval Research Laboratory's Low-frequency Test Array (NLTA)*. Como os dipolos V-Invertido, este dipolo é construído de tubos de cobre de 15,85 mm de diâmetro externo e 1,575 mm de espessura de parede. Com esta configuração otimizamos a antena para trabalhar na faixa de frequências de 10 – 100 MHz, sendo o casamento de impedância em 200Ω o mais indicado para manter a linearidade de funcionamento ao longo da faixa de interesse. Esta versão demonstrada na figura abaixo inclui uma segunda antena em ângulos ajustados para obter duas polarizações lineares.

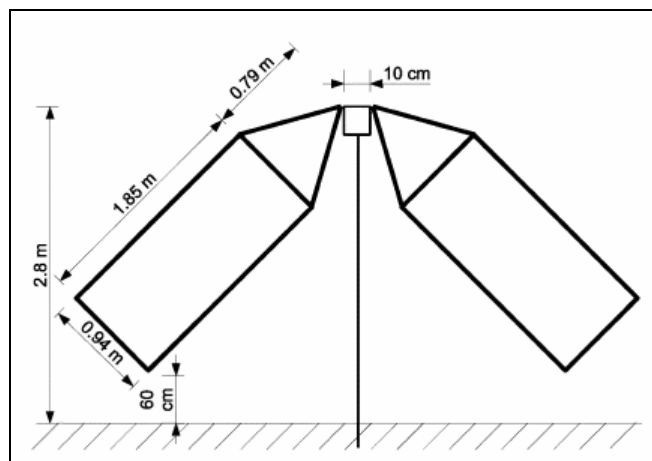


Fig. 3.9. Antena “Fat Dipole”.

Fonte: Ellingson, 2005.

3.5.2 Antenas de Altas Frequências - High Frequency Antennas

Com desenho original projetadas para cobrir a faixa de frequência de 110 a 240 MHz, estas antenas foram desenvolvidas pelo MIT *Haystack Observatory*.

Esta disposição possui 16 elementos de banda alta, com dupla polarização, onde os dipolos estão dispostos de forma não ortogonal. As antenas estão agrupadas em uma disposição compacta plana, com espaçamento entre as antenas de meio comprimento de onda em 140 MHz, como pode ser visto na Fig. 3.10. Sua sensibilidade está associada com a área do coletor e com o sistema de temperatura, sendo também afetada em

ângulos maiores que 60° a partir do zênite. Estas antenas podem ser guiadas eletronicamente de 0 a 60° .



Fig. 3.10. *High Frequency Antennas* em sua estrutura de montagem.

Fonte: Haystack Observatory, 2007.

Sob as antenas existe uma malha de fios de metal para diminuir os efeitos de condutividade do solo. Esta malha possui as dimensões de 4,8 m x 4,8 m estando elevada 1,5 m do solo, onde teremos as antenas dispostas alinhadamente em uma malha de 4x4, ver Fig. 3.11.

Para a captação do sinal existe um amplificador de sinal, pelo fato de o ruído recebido ser menor que o ruído do céu.

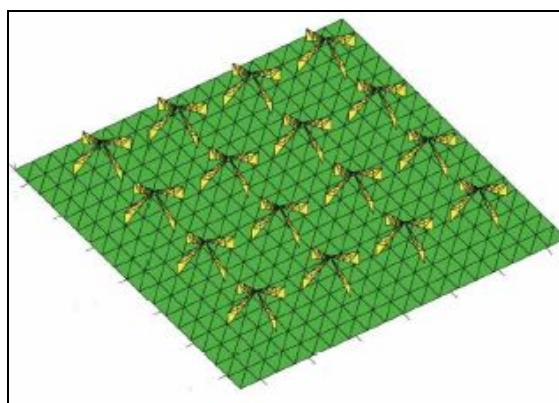


Fig. 3.11. Disposição das antenas de alta frequência.

Fonte: Haystack Observatory, 2007.

CAPITULO IV

MODELAGEM DIGITAL DAS ANTENAS DIPOLO

Este capítulo mostra como foi realizada a modelagem digital para o desenvolvimento eletromecânico de antenas dipolo aplicadas a radioastronomia de baixas frequências.

4.1 Modelagem Mecânica

O modelamento digital, graças ao avanço da tecnologia no desenvolvimento de softwares voltados para as áreas das engenharias permite avaliar o comportamento de um dispositivo em situações muito próximas da realidade. Fazendo uso dessa ferramenta, pode-se efetuar a modelagem de uma antena dipolo similar as do LOFAR para otimizar as suas características conforme nossas necessidades. Seguindo o modelo desenvolvido para o Sistema LOFAR pelo laboratório *U. S. Naval Research Laboratory's Low-frequency Test Array (NLTA)*, buscou-se verificar o comportamento mecânico da antena dipolo quando aplicado um esforço estático sobre a estrutura.

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Mecânica Fina, Mecatrônica e Antenas – LAMEC/CRS/CIE/INPE – MCT juntamente com o Laboratório de Radiofrequência e Comunicações – LRC/CRS/CIE/INPE – MCT.

4.1.1 Construção de um Modelo Paramétrico da Antena Dipolo

Durante muito tempo os antigos povos basearam-se em desenhos 2D para representar suas idéias, mas com o avanço da tecnologia temos a disposição *hardwares* e *softwares* que permitem a representação de objetos em mais dimensões. A modelagem paramétrica consiste de um objeto definido por um conjunto de variáveis ou parâmetros que posteriormente podem ser editados, permitindo relações entre si e remanejo dos dados do objeto alvo da modelagem.

Neste caso o objeto alvo foi a antena dipolo NLTA, devido ao projeto anterior ter sido desenvolvido em função da confecção de um protótipo em tamanho real destas antenas.

Foi desenvolvida a estruturação paramétrica da antena em *software* de CAD, com as medidas indicadas na Fig. 4.1 e com as constantes características do elemento e do tipo de material relacionado ao mesmo.

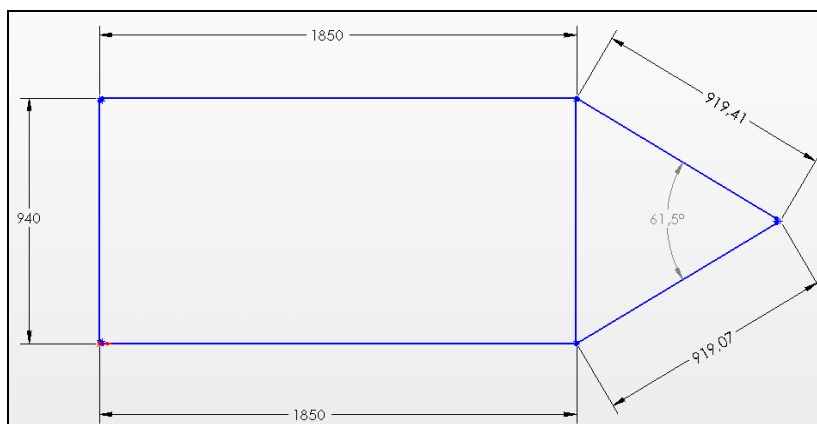


Fig. 4.1. Braço da antena dipolo com suas dimensões principais.

Fonte: Desenhado por Guarnieri, J. P. 2006.

Do resultado desta construção tem-se uma estrutura dividida em dois braços da antena dipolo que foram dispostos a 45° (quarenta e cinco graus) com o zênite, isso devido a especificações no projeto original. A estrutura pode ser vista nas Fig 4.2.

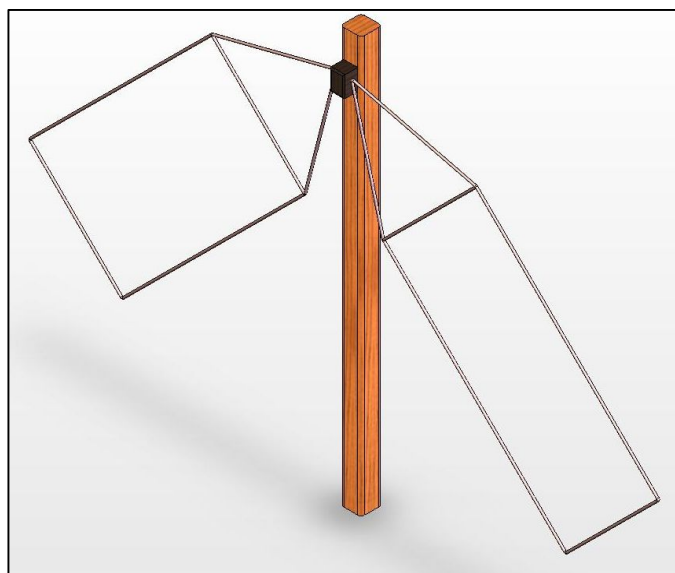


Fig. 4.2. Antena dipolo NLTA.

Fonte: Desenhado por Daroit, J. P. 2007.

4.1.2 Análise Estrutural da Antena

A antena anteriormente confeccionada em modelo paramétrico foi utilizada como objeto de estudo em um *software* de simulação de esforços mecânicos. O objetivo deste teste foi o de verificar o comportamento da antena quanto a aplicação de forças do peso próprio da estrutura em condições extremas de uso.

Este teste foi desenvolvido usando a ferramenta de análise por elementos finitos, ao qual se atribuiu valores de especificações de uso como a condição de apoio com fixação da antena sendo somente em sua extremidade, ver Fig 4.3, a força atuante do peso próprio da antena – carga estática – concentrado no centro de massa da mesma e o fator de segurança aplicado a quantidade 5. Esse fator foi utilizado devido a especificações que mostram esse valor como sendo a quantidade necessária para ter-se segurança quando usado materiais bem definidos e caracterizados.

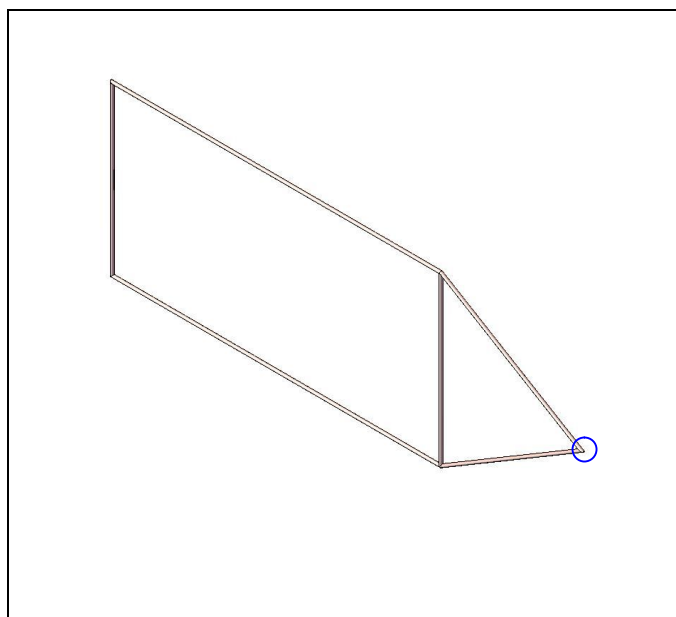


Fig. 4.3. Ponto de fixação da antena dipolo NLTA.

Fonte: Desenhado por Daroit, J. C. 2007.

As condições de uso fornecidas ao programa permitiram ao simulador realizar a análise do esforço mecânico ao qual a antena estará submetida. A análise estática tem por objetivo quantificar a intensidade dos esforços internos e dos deslocamentos

relativos que ocorrem na estrutura, quando submete-se a um carregamento desprezando forças de amortecimento e de inércia. Para isso, o *software* utilizou o critério de falha de Von Mises gerando os resultados expostos no item 4.1.3.

4.1.2.1 Análise por Elementos Finitos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) foi desenvolvido a partir da década de 60 incorporando variadas técnicas mais antigas que utilizavam a designação “elemento finito”, mas foi com a disseminação do uso de computadores digitais que esse método obteve maior progresso.

Inicialmente os elementos finitos mais comumente usados eram os triangulares e os tetraédricos, passando-se mais tarde aos quadriláteros e aos hexaedros. Essa melhora foi acompanhada pelo crescente desenvolvimento dos computadores capazes de realizar grande quantidade de cálculos para resolução de complicados sistemas lineares e equações diferenciais.

MEF tem como objetivo a determinação do estado sólido de tensões e deformações de uma geometria arbitrária sujeito a ações exteriores. Isso implica em uma modelagem de um fenômeno físico com os fatores que influenciam de maneira relevante no problema, ou seja, na escolha adequada dos princípios físicos e das variáveis dependentes e independentes que descrevem o problema, resultando em um modelo matemático.

Para definição do problema de análise, primeiro tem-se que classificar o objeto alvo quanto a geometria, material constituinte e ações aplicadas, se a análise é dinâmica ou estática, linear ou não linear e o tipo de estrutura que estará sujeita a aplicação da carga.

A formulação do MEF requer a existência de uma equação integral, de modo que seja possível substituir a integral sobre um domínio complexo (de volume V) por um somatório de integrais estendidos a sub-domínios de geometria simples (de volume V_i). Esta técnica é ilustrada com o seguinte exemplo, que corresponde a integral de volume de uma função f .

$$\int_V f dV = \sum_{i=1}^n \int_{V_i} f dV$$

Se for possível calcular todos as integrais estendidos aos sub-domínios V_i , basta efetuar o somatório correspondente ao segundo membro da equação para se obter a integral estendida a todo o domínio. Cada sub-domínio V_i corresponde a um elemento finito de geometria simples (e.g., segmento de reta, triângulo, quadrilátero, tetraedro, paralelepípedo).

A seguir tem-se um exemplo de análise de uma estrutura do tipo consola curta de pequena espessura, sujeita as ações indicadas na Fig. 4.4. A definição do problema consiste de um meio contínuo, sujeito a um estado plano de tensões, constituída de uma malha de 92 elementos finitos quadriláteros, sendo cada um destes elementos definidos por 8 nós.

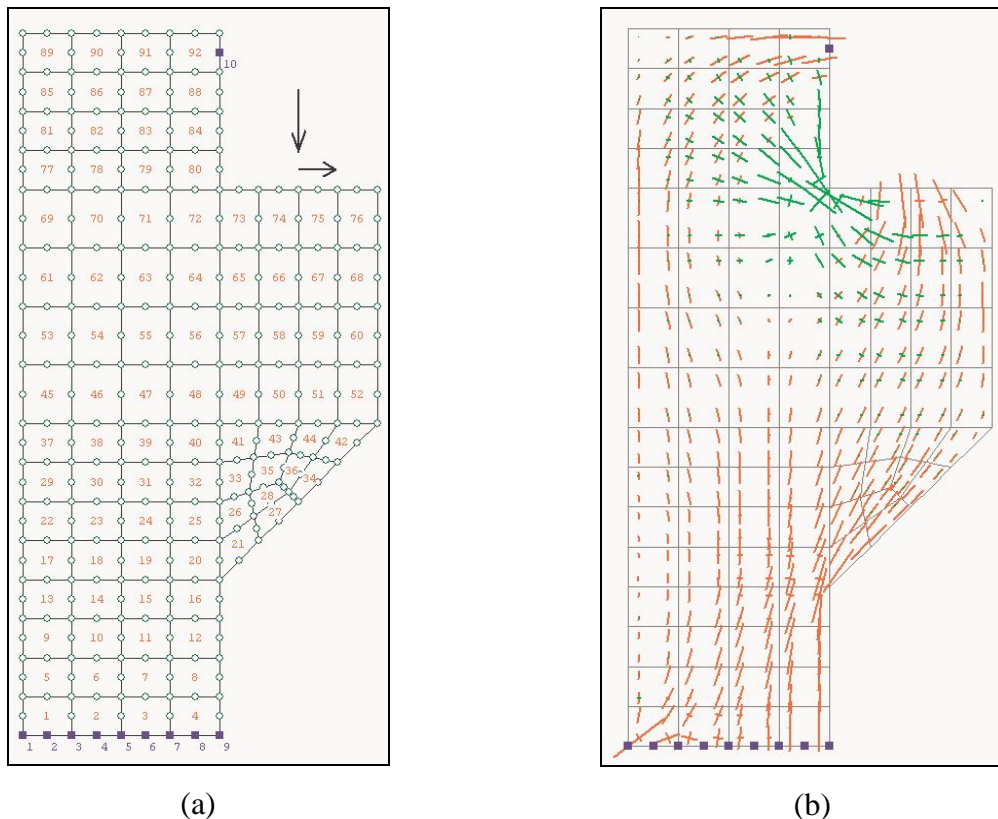


Fig. 4.4 (a) Malha de elementos e aplicação de forças.

(b) Tensões e direções principais.

Fonte: Métodos dos Elementos Finitos, 2003.

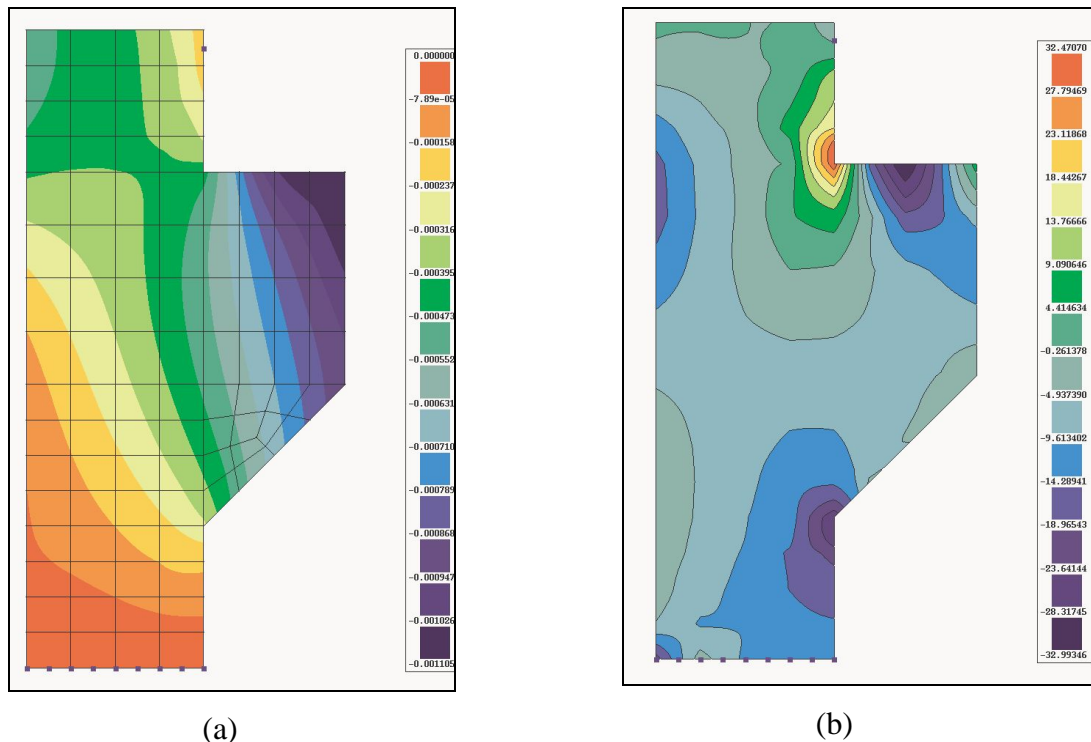


Fig. 4.5 (a) Campo de deslocamento vertical.

(b) Campo de tensões normais.

Fonte: Métodos dos Elementos Finitos, 2003.

4.1.2.2 Critério de Falha de Von Mises

Em um projeto mecânico, na grande maioria dos casos, os elementos mecânicos são projetados para trabalhar dentro do regime elástico. Esse regime compreende uma deformação elástica, ou seja, a tensão máxima que pode ser aplicada em um material sem ocasionar deformação permanente. Para os metais, essa propriedade pode ser vista em um diagrama de tensão pela deformação.

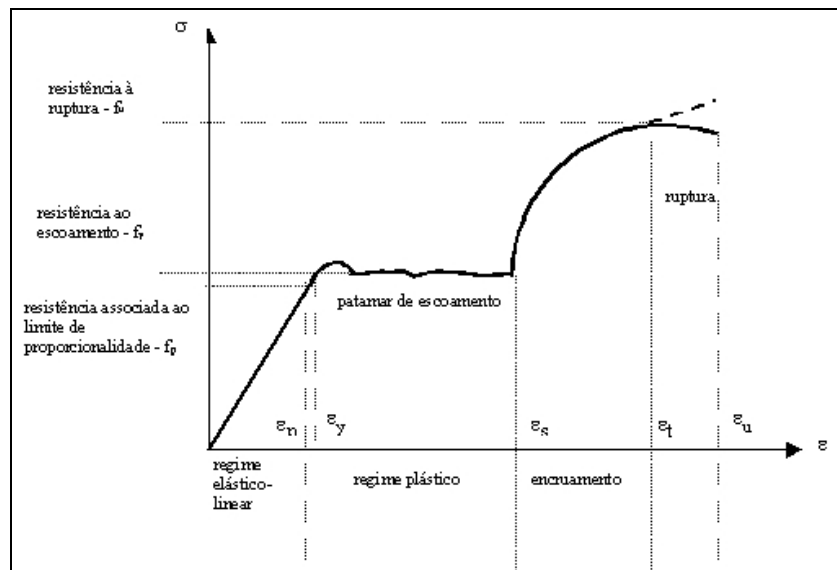


Fig. 4.6 Diagrama tensão/deformação.

Fonte: Propriedades Mecânicas dos Aços Estruturais, 2008.

Como pode ser visto na Fig. 4.6, a região de proporcionalidade entre a tensão e a deformação é o regime elástico do material. Quando atingido o ponto onde a inclinação do gráfico é nula tem-se um regime plástico, onde o material deforma-se plasticamente mudando suas dimensões conforme o coeficiente de Poisson. No encruamento as características da estrutura cristalina do material são mudadas devido a contínua aplicação da força pela área da seção reta do material até atingir a máxima resistência à ruptura, ocasionando o destacamento do material pela diminuição de sua área de seção reta.

No regime elástico de trabalho usam-se elementos que assegurem a resistência do equipamento às cargas aplicadas. Esse elemento de segurança nada mais é que um critério de resistência para cada material que impõe limitações ao nível do estado de tensões em determinados pontos discretos do corpo, ou seja, o limite do estado de tensões está relacionado as características de riscos de instabilidade, ruptura por fadiga ou limite excedendo o comportamento elástico baseado em experimentos análogos para o mesmo material.

O critério de Von Mises ou critério da máxima energia de distorção estabelece que a energia de distorção, em materiais dúcteis, é a magnitude determinante no momento da cedência do material. Assim, o escoamento do material inicia quando a energia de deformação atinge um valor crítico.

A expressão que mostra a tensão equivalente segundo o critério de Von Mises é dada em função das três tensões principais que agem na peça, mostrando assim a energia específica de distorção no momento da cedência:

$$\sigma_{ced}^2 = \frac{1}{2} \cdot [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

Onde:

σ_{ced} – limite de resistência(cedência) do material;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – tensões principais.

A representação gráfica abaixo mostra as duas tensões principais relevantes onde foram traçados os pontos correspondentes aos valores nos quais σ_1 e σ_2 cumprem a condição da tensão limite de resistência. Isso determina a figura fechada onde todos os pontos situados em seu interior encontram-se abaixo do limite de resistência.

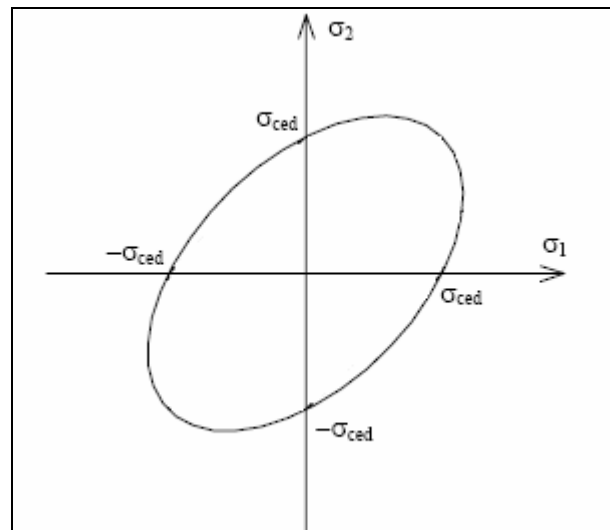


Fig. 4.7 Diagrama das tensões principais segundo o critério de Von Mises.

Fonte: Desenhado por Daroit, J. C. 2008.

4.1.3 Resultados da Estruturação Mecânica

Tendo em vista os requisitos de aplicação das restrições impostas a simulação do esforço mecânico da antena dipolo, a estrutura mostrou-se resistente quanto as solicitações que está submetida. A malha de 4,03 mm que foi usada mostrou ser capaz de identificar os pontos de máxima distorção do campo de aplicação das forças e de reconhecer os pontos críticos da estrutura.

Na Fig. 4.8 pode-se ver um dos braços da antena submetido a aplicação da força na qual a escala de cores, que vai do azul ao vermelho, indicando uma maior concentração da deformação do material na extremidade onde a antena será fixada. A cor vermelha indica os pontos onde a deformação na estrutura é maior. Esses pontos mostrados na figura não ultrapassam o limite de escoamento médio do material que é de 119 GPa, portanto a deformação não é permanente, esperando-se assim que o material retorne pelo efeito elástico a sua estrutura anteriormente exposta.

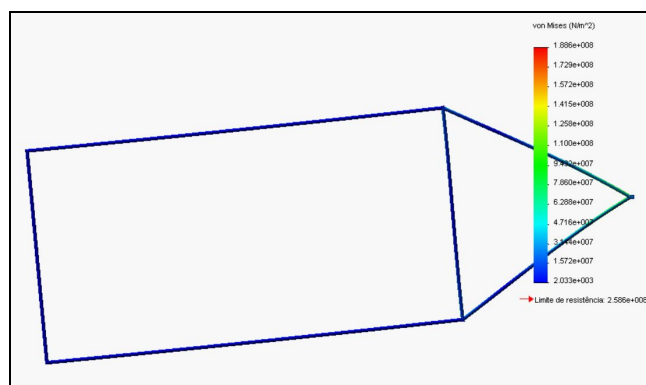


Fig. 4.8 Deformação do braço da antena dipolo.

Fonte: Desenhado por Daroit, J. C. 2007.

Na Fig. 4.9 pode-se ver o ponto onde ocorreu a máxima deflexão da estrutura. Esse ponto obteve um valor de 109,8 mm na extremidade inferior mais distante do ponto de fixação da estrutura, como pode ser notada pela escala de cores empregada na simulação.

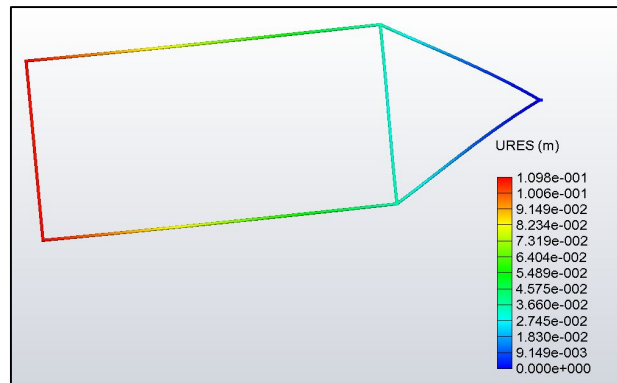


Fig. 4.8 Deflexão do braço da antena dipolo.

Fonte: Desenhado por Daroit, J. C. 2007.

Todos estes resultados da estruturação mecânica possibilitaram uma análise estrutural satisfatória em relação ao comportamento da antena. Os resultados comprovam que a estrutura é resistente as solicitações impostas a ela, pois não ultrapassou o limite de escoamento do material usado para sua confecção e a sua deformação máxima possibilitou o estudo do resultado eletromagnético da antena que será exposto a seguir.

4.2 Modelagem Eletromagnética

Na modelagem eletromagnética foi avaliada a resposta da antena, antes e depois da aplicação da força, através de uma comparação entre os resultados obtidos para parâmetros como impedância da antena e diagrama de irradiação.

4.2.1 Modelamento Computacional do Protótipo

Para modelar o protótipo de antena dipolo usou-se o software livre para simulação de antenas *MMANA 2.03 Antenna Analyzer*. Esse programa gera tabelas onde são atribuídos valores para vários parâmetros da antena, como dimensões do fio, fonte receptora de tensão, número de elementos.

No.	X1(m)	Y1(m)	Z1(m)	X2(m)	Y2(m)	Z2(m)	R(mm)	Seg.
1	-0.05	0.0	2.8	0.05	0.0	2.8	1.0	-1
2	-0.05	0.0	2.8	-0.9307	0.0	2.5366	6.35	-1
3	-0.9307	0.0	2.5366	-2.1829	0.0	1.1748	6.35	-1
4	-2.1829	0.0	1.1748	-1.491	0.0	0.5386	6.35	-1
5	-1.491	0.0	0.5386	-0.2388	0.0	1.9003	6.35	-1
6	-0.2388	0.0	1.9003	-0.05	0.0	2.8	6.35	-1
7	-0.9307	0.0	2.5366	-0.2388	0.0	1.9003	6.35	-1
8	0.05	0.0	2.8	0.9307	0.0	2.5366	6.35	-1
9	0.9307	0.0	2.5366	2.1829	0.0	1.1748	6.35	-1

Fig. 4.9 Interface do software MMANA 2.03

Por exemplo, a Fig. 4.9 ilustra uma tabela onde os valores representam as coordenadas $((X_1, Y_1, Z_1); (X_2, Y_2, Z_2))$ dos elementos que compõem a antena. O modelo resultante pode ser visualizado na aba View. A fig. 4.10 mostra o modelo de antena dipolo similar a de LOFAR. Note que o ponto entre os dois braços da antena é o local onde teremos a fonte geradora de pulsos em uma antena transmissora ou o ponto onde teremos a concentração do sinal em uma antena receptora.

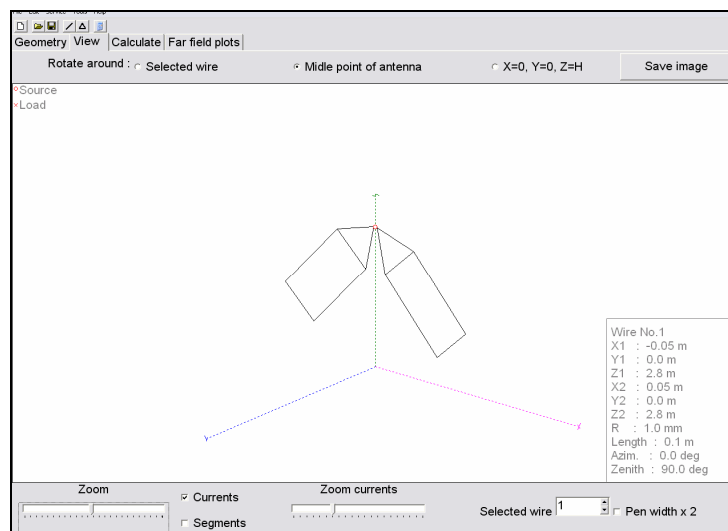


Fig. 4.10 Geometria da antena dipolo.

4.2.2 Simulação Eletromagnética

Tendo como principal objetivo para esse estudo a verificação da interferência da deformação mecânica da estrutura da antena no seu comportamento eletromagnético, buscou-se analisar e comparar as características da antena, antes e após sofrer deformação. Para isso, usou-se duas formulações geométricas da antena dipolo. A primeira com parâmetros avaliados sem deformação e, a segunda, com parâmetros avaliados após piores condições de uso e instalação da antena, ver item 4.1.3.

Com as estruturas geométricas confeccionadas, passou-se a delimitação de parâmetros para o cálculo da antena dipolo. A frequência central de excitação escolhida foi de 50 MHz, a altura adotada para a antena em relação ao solo é de três metros, o material é constituído de tubos de cobre e as características do solo, devido a constante dielétrica e a condutância mais próximas do modelo real.

Através do método de elementos finitos o programa realiza diversas análises do comportamento eletromagnético da antena resultando em diversos parâmetros, como impedância final, resistência, reatância, taxa de onda estacionária, ganho e retorno, bem como o diagrama de irradiação da antena.

4.2.3 Resultados do Comportamento Eletromagnético da Antena Dipolo

Como as antenas são projetadas para uma faixa de frequências específica (10 a 90 MHz), comparamos as características da antena, antes e após sofrer deformação, nos gráficos que seguem.

Para melhor comparação entre as diversas características abordadas fixamos como padrão o primeiro gráfico, isto é, sem a deformação imposta pela força e o segundo gráfico com a deformação mecânica ao qual foi submetida ao teste de esforço mecânico.

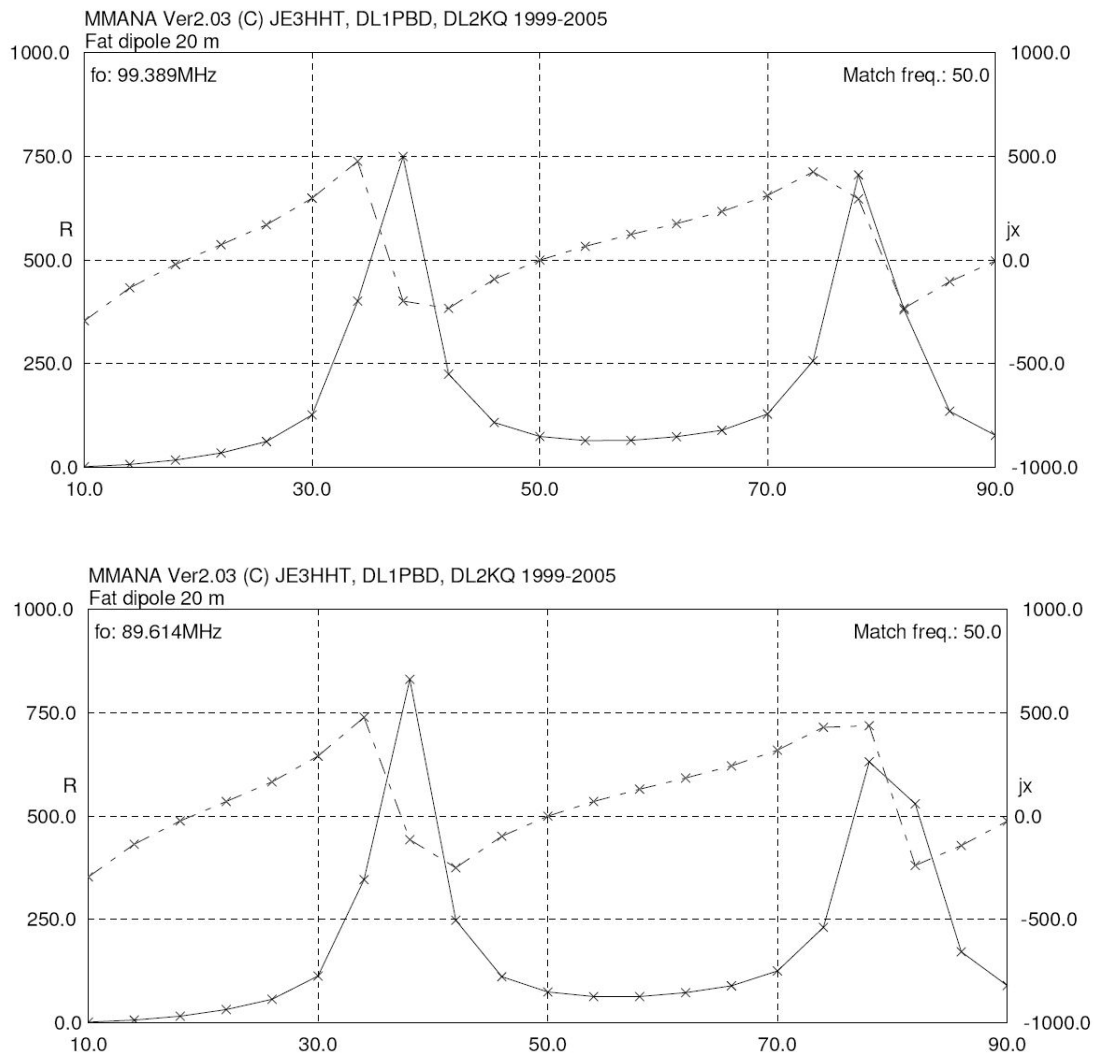


Fig. 4.10 Resistência e reatância da antena antes e após sofrer deformação.

Como pode ser visto na figura acima, as características de resistência e reatância variam conforme a frequência na qual a antena é utilizada. Uma comparação entre os dois estados de deformação da antena verifica-se que não se tem variações significativas, mesmo porque, os picos de resistência e reatância estão localizados praticamente na mesma frequência.

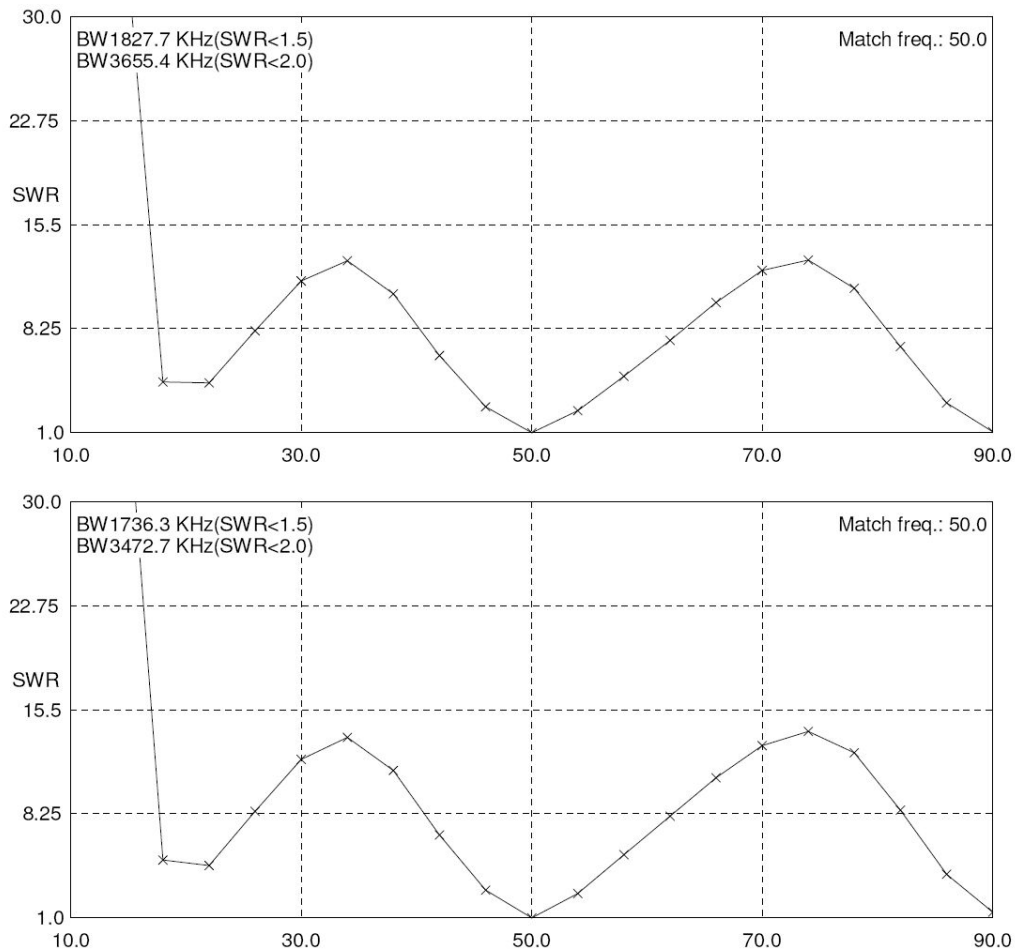


Fig. 4.11 Taxa de onda estacionária da antena antes e após sofrer deformação.

Na Fig. 4.11 pode-se verificar a permanência da taxa de onda estacionária nos mesmos parâmetros quando considerando a simulação da antena sem e com deformação. Isso nos faz concluir que a antena manteve constante esta característica ao longo da faixa de frequência em ambos os casos, independente da atuação externa da força aplicada.

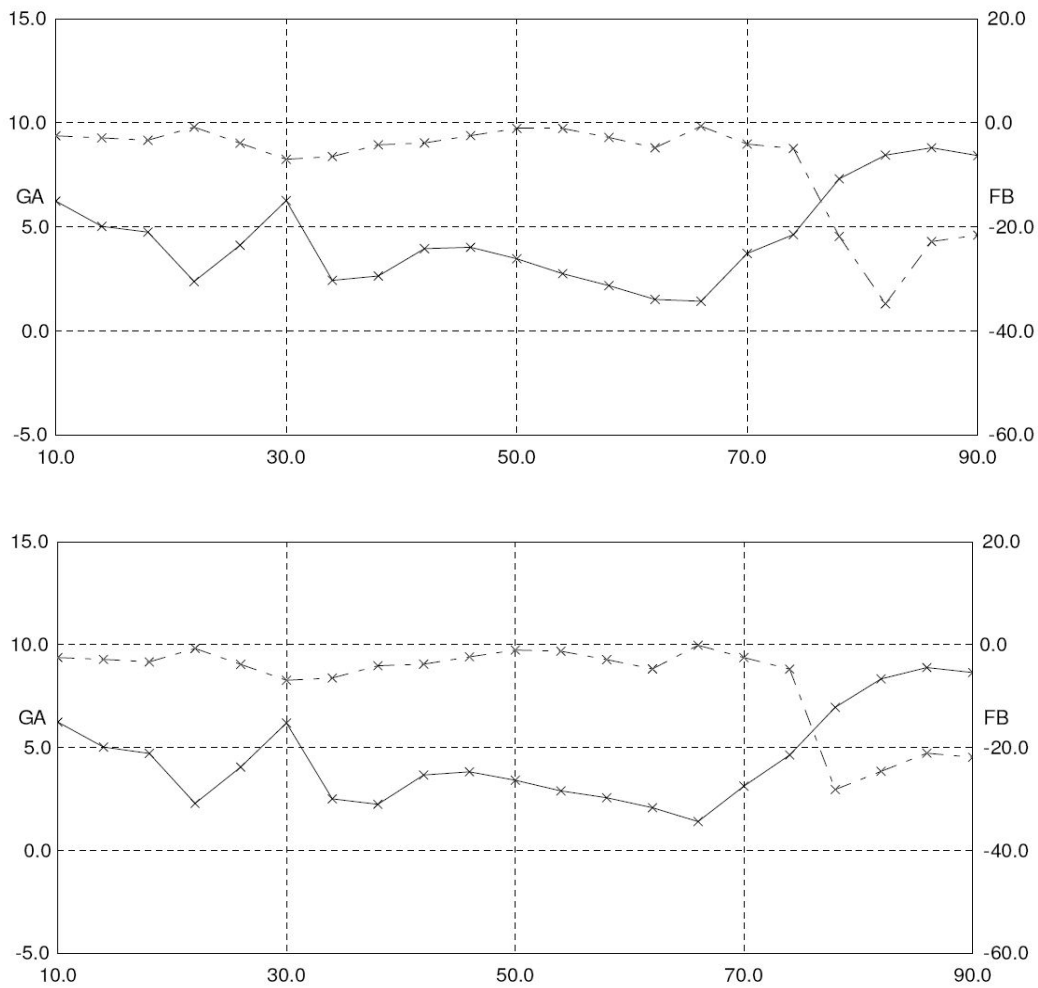


Fig. 4.12 Ganho e relação frente-costa referentes a antena antes e após sofrer deformação.

Analisando a figura acima em relação ao ganho da antena, a característica geral do comportamento se mantém constante em uma comparação entre os dois estados físicos estruturais. Já a relação frente-costa possui um leve distanciamento dos pontos desenhados acima de 70 MHz, o que não tem muita interferência no resultado global dessa característica em toda a faixa de frequência que a antena trabalha.

Um exemplo específico que pode ser dado em relação ao comportamento da antena em determinada frequência é mostrado na Fig. 4.13.

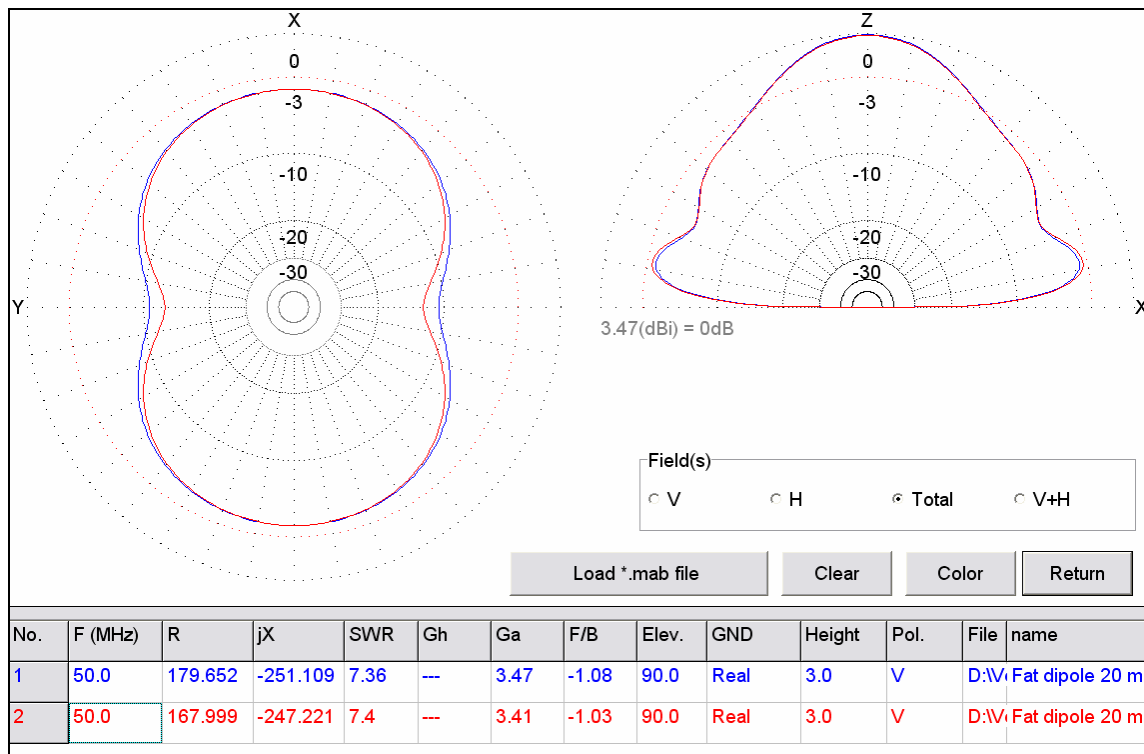


Fig. 4.13 Diagrama de irradiação comparativo da antena sem e com deformação.

Os diagramas de irradiação apresentados na figura acima mostram, em azul a antena sem deformação e em vermelho a antena com deformação, o comportamento do campo irradiado total para uma frequência de 50MHz. Como pode ser verificado, as linhas estão praticamente sobrepostas no plano vertical e com pouca diferença entre ambas no plano horizontal.

Os valores mostrados na tabela são muito semelhantes com impedância final de $308,76 \Omega$ para a simulação da antena sem deformação e $298,90 \Omega$ para a simulação da antena com deformação imposta pela carga aplicada, ou seja, ocupando um cabo coaxial de impedância nominal de 75Ω , a relação para os dois valores expostos acima é muito pequena quando leva-se em conta a aplicação experimental do cabo para a transmissão dos dados adquiridos pela estrutura.

As antenas dipolo desenvolvidas para o Sistema LOFAR têm como característica principal a capacidade de trabalhar em uma faixa de frequências bem ampla devido a concepção de projeto do sistema, sendo assim, as características

eletromagnéticas da antena não deveriam ter muita variação quando mudada a frequência de trabalho do conjunto. Isso fez com que, quando aplicada a deformação imposta pela força, as características da antena não interferiram em demasia na resposta eletromagnética da mesma.

Como método para correção e calibração das características eletromagnéticas da antena, o Laboratório de Radiofrequência e Comunicação – LRC/CRS/CIE/INPE – MCT está desenvolvendo um filtro ativo para a correção da impedância de entrada, possibilitando assim o melhor funcionamento do sistema de aquisição e leitura dos dados.

CAPITULO V

CONCLUSÕES

Com este relatório demonstram-se as atividades realizadas no projeto de desenvolvimento de antenas dipolo para aplicação na radioastronomia de baixas frequências, no período de Agosto de 2007 a Junho de 2008. Foram realizadas revisões bibliográficas sobre propagação das ondas eletromagnéticas, princípios de funcionamento de antenas lineares, dipolo e quadrupolo, conceitos e histórico da Radioastronomia, funcionamento de Radiotelescópios. Todos estes tópicos para o conhecimento do campo de atuação do Sistema LOFAR.

Para a modelagem paramétrica das antenas, realizou-se um estudo autodidata em relação ao *software* de projetos de engenharia Solid Works, que possibilitou a prototipagem computacional dos braços da antena dipolo de LOFAR. Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre conceitos básicos de análise por elementos finitos e critérios de falhas, em especial o de Von Mises que é usado pelo simulador como critério de segurança, o que possibilitou a análise mecânica dos esforços a que estão submetidos aos braços da antena dipolo.

Na modelagem e simulação eletromagnética da antena, realizou-se um estudo autodidata em relação ao *software* livre de análise de antenas *MMANA Antenna Analyzer*, que possibilitou o desenho computacional dos braços da antena dipolo de LOFAR. Com isto foi possível desenvolver conceitos e características relevantes do funcionamento da antena verificando quais as melhores condições de trabalho da antena.

Participando de trabalhos de pesquisa em grupo e individual, o bolsista desenvolveu habilidades interpessoais, como auto-estima, interatividade, espontaneidade, autoconfiança, autodidatismo e liderança. Isso possibilitou um engrandecimento pessoal e profissional nas grandes áreas de abrangência comportamental e na ciência das engenharias.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a meu Orientador, Dr. Nelson Jorge Schuch pelo apoio prestado ao desenvolvimento pessoal e científico a que experimentei nesse ano. Não poderia deixar de mencionar, e agradecer a meus colegas e acadêmicos do curso de Engenharia: Silvano Lucas Prochnow, Lucas L. Costa, Rafael L. Costa que muito contribuíram no desenvolvimento das atividades.

Gostaria de agradecer as Co-Orientações do Prof. Dr Ademar Michels, Professor Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da UFSM – DEM e do Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes, Professor Pesquisador do Departamento de Eletrônica e Computação do Centro de Tecnologia da UFSM – DELC e vinculados ao Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM..

Por fim, agradecimentos ao Dr. José Carlos Becceneri, Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCT, pela aprovação do Projeto de Pesquisa que oportunizou minhas atividades de Iniciação Científica, proporcionando um grande crescimento pessoal e profissional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ellingson, S. W. **Antennas for the Next Generation of Low-Frequency Radio Telescopes**, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 53, N°. 8, 2005.

Stewart K. P. et al. **LOFAR Antenna Development and Initial Observations of Solar Bursts**, Journal Planetary and Space Science, pp. 1351-1355, Sep. 2004.

Boonstra, A. J.; Bregman, J. D.; Mohamoud, A. A. **A LOFAR Spectrum Monitoring: Dynamic Range and Spectral Occupancy Issues**, ASTRON, 2000.

Butcher, H. **LOFAR Project Explained**. ASTRON, pp. 01-04, Nov. 2003.

M.P. van Haarlem, **LOFAR Scientific Applications**, 1.00 version, Report ASTRON-LOFAR-00230, pp. 01-64, March 2001.

Marco de Vos, **LOFAR Phase I Baseline Specification**, 2.0 version, LOFAR-ASTRON-MEM-145, pp. 01-18, Sep. 2004.

Bruyn, A. G. de, et al. **Exploring The Universe With The Low Frequency Array**, 1.0 version, pp. 01-59, Sep. 2002.

Vieira, P. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia de Electrónica e Telecomunicações e de Computadores, **Propagação II**, pp. 01-16. Lisboa.

Balanis, C. A. **Antenna Theory Analysis and Design**. 3 edition, Maio 2005, p. 1136, Hardcover - Handbook/Reference Book.

De Castro, F.C.C. Franco P. R. G. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica, **Antenas**, Cap. I, IV, V. Porto Alegre.

Hetem G. Pereira J. Observatórios Virtuais, **Fundamentos de Astronomia**. Cap. IV, VI.

Solid Works 2006 User's Guide.

Azevedo, A. F. M. **Método dos Elementos Finitos**, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pp. 01-248, Abril 2003. Porto.

Ribeiro, F. L. B. **Introdução ao Método dos Elementos Finitos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Civil, pp. 01-93. Março 2004. Rio de Janeiro.

Sabino, J. **Critérios de Resistência**. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, pp. 01-15.

Relatórios anteriores.

- ◆ Páginas na rede internet:

LOFAR – Low Frequency Array. Disponível em: <http://www.lofar.org>

ASTRON – Netherlands Foundation for Research Astronomy. Disponível em: <http://www.astron.nl>

LOFAR – UK project. Disponível em: <http://www.lofar-uk.org/>.

MIT – Massachusetts Institute of Technology. Disponível em: <http://web.mit.edu/index.html>.

Diagrama de Radiação. Disponível em: paginas.fe.up.pt/~ee99051/pstfc/imagens/dia.bmp

Luz, óptica e ondas. Disponível em: html.rincondelvago.com/files/8/2/2/000168221.png

Sistemas de Medición. Disponível em: www.wettzell.ifag.de/tigo/s/tigo_s/img37.gif

Telescópios. Disponível em: www.astro.iag.usp.br

Propriedades Mecânicas dos Aços Estruturais. Disponível em: http://www.lmc.ep.usp.br/people/valdir/PEF5736/propr_mec/propr_mec1.html

ATIVIDADES COMPLEMENTARES – PARTICIPAÇÃO E APRESENTAÇÃO EM CONGRESSOS E SEMINÁRIOS

Título: DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DE ANTENAS DIPOLO SIMILARES AS DO SISTEMA LOFAR – SICINPE 2007.

Autores: Daroit, J. C. ; Schuch, N. J. ; Gomes, N. R. ; Michels, A. ; Silva, C. P. ; Prochnow, S. L.

Evento: XXII Jornada Acadêmica Integrada – JAI 2007.

Local: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Santa Maria/RS.

Data: 22 a 25 de out. 2007.

Título: MODELAMENTO DIGITAL PARA ESTUDO ELETROMECAÂNICO DE ANTENAS DIPOLO DESENVOLVIDAS PARA O SISTEMA LOFAR.

Autores: Daroit, J. C. ; Schuch, N. J. ; Michels, A. ; Gomes, N. R. ; Silva, C. P. ; Prochnow, S. L. ; Silva, R. G. ; Costa, L. L. ; Costa, R. L.

Evento: XXII Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, VII Feira de Protótipos.

Local: Universidade de Passo Fundo – UPF – Passo Fundo/RS.

Data: 29 a 31 de out. 2007.

Título: ESTUDO DE SUBSISTEMAS DE CONTROLE TÉRMICO DE NANOSATÉLITES PARA POSTERIOR APLICAÇÃO NO PROJETO NANOSATC-BR

Autores: Costa, L. L. ; Souza, P. N. ; Schuch, N. J. ; Durao, O. S. C. ; Michels, A. ; Gomes, N. R. ; Prochnow, S. L. ; **Daroit, J. C. ;** Costa, R. L. ; Silva, R. G.

Evento: XXII Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, VII Feira de Protótipos.

Local: Universidade de Passo Fundo – UPF – Passo Fundo/RS.

Data: 29 a 31 de out. 2007.

Título: ESTUDO DO SUBSISTEMA DE SUPRIMENTO DE ENERGIA.

Autores: Costa, R. L. ; Souza, P. N. ; Schuch, N. J. ; Durao, O. S. C. ; Michels, A. ; Prochnow, S. L. ; **Daroit, J. C. ;** Costa, L. L. ; Silva, R. G.

Evento: XXII Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, VII Feira de Protótipos.

Local: Universidade de Passo Fundo – UPF – Passo Fundo/RS.

Data: 29 a 31 de out. 2007.

Título: ANÁLISE DE SUBSISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE PARA APLICAÇÃO AO NANOSACT-BR: NANOSATÉLITE CIENTÍFICO ACADÊMICO BRASILEIRO.

Autores: Prochnow, S. L. ; Schuch, N. J. ; Durao, O. S. C. ; Souza, P. N. ; Michels, A. ; Daroit, J. C. ; Costa, L. L. ; Costa, R. L. ; Silva, R. G.

Evento: XXII Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, VII Feira de Protótipos.

Local: Universidade de Passo Fundo – UPF – Passo Fundo/RS.

Data: 29 a 31 de out. 2007.

Título: DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DAS ANTENAS DIPOLO DO RADIOTELESCÓPIO DE BAIXAS FREQUÊNCIAS LOFAR.

Autores: Daroit, J. C. ; Schuch, N. J. ; Gomes, N. R.

Evento: Seminário de Iniciação Científica do INPE – SICINPE.

Local: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – São José dos Campos/SP.

Data: 11 e 12 de jul. 2007.

Título: MODELAGEM ELETROMECAÂNICA DE ANTENAS DIPOLO SIMILAR A DO SISTEMA LOFAR.

Autores: Daroit, J. C. ; Schuch, N. J. ; Gomes, N. R. ; Michels, A. ; Silva, C. P. ; Prochnow, S. L. ; Silva, R. G. ; Costa, L. L. ; Costa, R. L.

Evento: International Heliophysical Year – IHY.

Local: Universidade Presbiteriana Mackenzie – São Paulo/SP.

Data: 14 e 20 de fev. 2008.

APÊNDICE A

Certificados de trabalhos publicados em Congressos e Simpósios de Iniciação Científica de autoria e co-autora do bolsista, correspondente as atividades complementares realizadas no período vigente do Projeto de DESENVOLVIMENTO ELETROMECÂNICO DE ANTENAS DIPOLO APLICADAS A RADIOASTRONOMIA DE BAIXAS FREQUÊNCIAS.



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS

FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho “MODELAMENTO DIGITAL PARA ESTUDO ELETROMECÂNICO DE ANTENAS DIPOLO DESENVOLVIDAS PARA O SISTEMA LOFAR.” de autoria de *Jean C. Daroit; Dr. Nelson J. Schuch; Dr. Ademair Michels; Dr. Natanael R. Gomes; Cleomar P. da Silva; Silvano L. Prochnow; Rodrigo G. Silva; Lucas L. Costa; Rafael L. Costa*, registro nº 216, foi apresentado no **XXII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E VII FEIRA DE PROTÓTIPOS**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, no dia 30 de outubro de 2007.

A programação foi aprovada pela Câmara de Extensão em 05 de junho de 2007, ata nº 204.

Passo Fundo, 30 de outubro de 2007.

Prof. Dermeval Rosa dos Santos
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

Prof. Antonio Thomé
Coordenador do Congresso

Prof. Eduardo Appel
Coordenador da Divisão de Extensão

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho “ESTUDO DE SUBSISTEMAS DE CONTROLE TÉRMICO DE NANOSATÉLITES PARA POSTERIOR APLICAÇÃO NO PROJETO NANOSATC-BR” de autoria de *Silvano L. Prochnow, Nelson J. Schuch, Otávio S. C. Durão, Petrônio N. de Souza, Ademair Michels, Jean C. Daroit, Lucas L. Costa, Rafael L. Costa, Rodrigo G. Silva, Natanael R. Gomes*, registro nº 372, foi apresentado no **XXII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E VII FEIRA DE PROTÓTIPOS**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, no dia 31 de outubro de 2007.

A programação foi aprovada pela Câmara de Extensão em 05 de junho de 2007, ata nº 204.

Passo Fundo, 30 de outubro de 2007.

Prof. Dermeval Rosa dos Santos
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

Prof. Antônio Thomé
Coordenador do Congresso

Prof. Eduardo Appel
Coordenador da Divisão de Extensão

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho "ESTUDO DO SUBSISTEMA DE SUPRIMENTO DE ENERGIA DE UM CUBESAT PARA POSTERIOR APLICAÇÃO NO PROJETO NANOSATC-BR - UFSM" de autoria de *Rafael L. Costa1, Dr. Petrónio N. de Souza, Dr Nelson J. Schuch, Dr. Otavio S.C. Durão, Dr. Ademair Michels, Silvano L. Prochnow, Jean C. Daroit1, Lucas L. Costa1, Rodrigo G. Silva1*, registro nº 034, foi destaque na sessão S 35 – Eng. Aeroespacial no **XXII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E VII FEIRA DE PROTÓTIPOS**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, no dia 31 de outubro de 2007.

A programação foi aprovada pela Câmara de Extensão em 05 de junho de 2007, ata nº 204.

Passo Fundo, 31 de outubro de 2007.


Prof. Dermeval Rosa dos Santos
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura


Prof. Antônio Thomé
Coordenador do Congresso


Prof. Eduardo Appel
Coordenador da Divisão de Extensão

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
VICE-REITORIA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS
FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA

CERTIFICADO

Certificamos que o trabalho “ANÁLISE DE SUBSISTEMAS DE CONTROLE DE ATITUDE PARA APLICAÇÃO AO NANOSACT-BR: NANOSATÉLITE CIENTÍFICO ACADÊMICO BRASILEIRO.” de autoria de *Silvano L. Prochnow, Nelson J. Schuch, Otávio S. C. Durão, Petrônio N. de Souza, Ademar Michels, Jean C. Daroit, Lucas L. Costa, Rafael L. Costa, Rodrigo G. Silva*, registro nº 371, foi apresentado no **XXII CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA E VII FEIRA DE PROTÓTIPOS**, promovido pela Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, no dia 31 de outubro de 2007.

A programação foi aprovada pela Câmara de Extensão em 05 de junho de 2007, ata nº 204.
Passo Fundo, 30 de outubro de 2007.


Prof. Dermeval Rosa dos Santos
Diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura

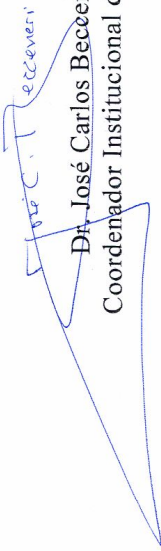

Prof. Apônio Thomé
Coordenador do Congresso


Prof. Eduardo Appel
Coordenador da Divisão de Extensão

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - PIBIC/INPE/CNPq

Conferimos o presente Certificado a **JEAN CARLOS DAROIT** por sua participação com o trabalho intitulado: “**DESENVOLVIMENTO MECÂNICO DAS ANTENAS DIPOLO DO RADIOTELESCÓPIO DE BAIXAS FREQUÊNCIAS LOFAR**”, sob a orientação do(a) Prof(a). Nelson Jorge Schuch, no Seminário de Iniciação Científica do INPE- SICINPE, realizado em São José dos Campos-SP, nos dias 11 e 12 de julho de 2007.

São José dos Campos, 12 de julho de 2007.


Dr. José Carlos Becceneri
Coordenador Institucional do PIBIC

