



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



SISTEMA LOFAR - NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO MARTINHO DA SERRA NA FAIXA DE 10 - 240 MHZ

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

**Juliano Rafael Andrade - Bolsista PIBIC/INPE - CNPq/MCT
Laboratório de Radiofrequência e Comunicações
LRC/CRS/CCR/INPE - MCT
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
E-mail: Juliano.andrade@lacesm.ufsm.br**

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

Santa Maria, Julho de 2011



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

PROJETO

**SISTEMA LOFAR - NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO
OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO MARTINHO DA
SERRA NA FAIXA DE 10 - 240 MHZ**

PROCESSO: 106257/2011-0

**Elaborado por JULIANO RAFAEL ANDRADE - Bolsista
PIBIC/INPE - CNPq/MCT**

E-mail: Juliano.andrade@lacesm.ufsm.br

**Dr. Nelson Jorge Schuch - Orientador
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais -
CRS/CCR/INPE-MCT**

E-mail: njschuch@lacesm.ufsm.br

**Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes - Co-orientador
Depto. De Eletrônica e Computação – DELC/CT – UFSM,
em colaboração com o**

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

E-mail: natanael@lacesm.ufsm.br



DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Título:

SISTEMA LOFAR - NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO MARTINHO DA SERRA NA FAIXA DE 10 - 240 MHZ

Processo CNPq Nº: 106257/2011-0

Bolsista no período de Março/11 a julho/11

Juliano Rafael Andrade

Curso de Engenharia Elétrica

Centro de Tecnologia - CT/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Orientador:

Dr. Nelson Jorge Schuch

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

Co-orientador:

Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes

Depto. Eletrônica e Computação do Centro de Tecnologia da UFSM e Pesquisador do Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria - LACESM/CT - UFSM.

Colaboradores:

Eng. Guilherme Simon da Rosa, Mestrando do Centro de estudos em Telecomunicações CETUC-PUC-Rio.

Andrei Camponogara, Dimas Irion Alves, Leonardo Zavareze da Costa, Bruno Knevitz Hammerschmitt e Roger Hatwig de Lima, alunos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) que desenvolvem programas de Iniciação Científica no CRS/CCR/INPE - MCT.



Local de Trabalho/Execução do projeto:

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

Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/CCR/INPE – MCT.

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria e Convênio: INPE/MCT -
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**



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

Identificação

Dados básicos

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

Status do grupo: certificado pela instituição

Ano de formação: 1996

Data da última atualização: 21/06/2011 09:59

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 -

Unidade: Centro Regional Sul de Pesquisas

CIE

Espaciais - CRS

Endereço

Logradouro: Caixa Postal 5021

Bairro: Camobi

CEP: 97110970

Cidade: Santa Maria

UF: RS

Telefone: 33012026

Fax: 33012030

Home Page: <http://>

Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO: INTERAÇÃO TERRA-SOL do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE-MCT, em Santa Maria, e Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE - MCT, Lat. 29°26'24"S, Long. 53°48'38"W, Alt. 488m, em São Martinho da Serra, RS, criado



por Nelson Jorge Schuch em 1996, colabora com pesquisadores da: UFSM (CT-LACESM), INPE, CRAAM-Universidade P. Mackenzie, IAG/USP, OV/ON, DPD/UNIVAP e SEFET/GO, no Brasil e internacionais do: Japão (Universidades: Shinshu, Nagoya, Kyushu, Takushoku e National Institute of Polar Research), EUA ((Bartol Research Institute/University of Delaware e NASA (Jet Propulsion Laboratory e Goddard Space Flight Center)), Alemanha (University of Greifswald e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (Australian Government Antarctic Division e University of Tasmania), Armênia (Alikhanyan Physics Institute) e Kuwait (Kuwait University). Linhas de Pesquisas: MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO, AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA, NANOSATC-BR. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Pequenos Satélites Científicos. Objetivos: Pesquisar o acoplamento energético na Heliosfera, mecanismos de geração de energia no Sol, Vento Solar, sua propagação no Meio Interplanetário, acoplamento com as magnetosferas planetárias, no Geoespaço com a Ionosfera e a Atmosfera Superior, previsão de ocorrência de tempestades magnéticas e das intensas correntes induzidas na superfície da Terra, Eletricidade Atmosférica e seus Eventos Luminosos Transientes (TLEs). As Pesquisas base de dados de sondas no Espaço Interplanetário e dentro de magnetosferas planetárias, e de modelos computacionais físicos e estatísticos. Vice-Líderes: Alisson Dal Lago, Nalin Babulau Trivedi, Otávio Santos Cupertino Durão, Natanael Rodrigues Gomes.

Recursos humanos

Pesquisadores

Total: 48

Ademar Michels

Jean Carlo Santos

Adriano Petry

Jean Pierre Raulin

Alan Prestes

João 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

Cristiano Max Wrasse

Nelson Jorge Schuch

Cristiano Sarzi Machado

Nivaor Rodolfo Rigozo

Delano Gobbi

Odin Mendes Junior

Eurico Rodrigues de Paula

Osmar Pinto Junior

Ezequiel Echer

Otávio Santos Cupertino Durão

Fabiano Luis de Sousa

Pawel Rozenfeld



Fábio Augusto Vargas dos Santos

Fernanda de São Sabbas Tavares

Fernando Luís Guarnieri

Gelson Lauro Dal' Forno

Hiiso Takahashi

Ijar Milagre da Fonseca

Estudantes

Total: 26

Bruno Kneviz Hammerschmitt

Cássio Rodinei dos Santos

Claudio Machado Paulo

Dimas Irion Alves

Edson Rodrigo Thomas

Eduardo Escobar Bürger

Eduardo Weide Luiz

Felipe Cipriani Luzzi

Guilherme Grams

Guilherme Simon da Rosa

Igor Freitas Fagundes

José Paulo Marchezi

Juliano Rafael Andrade

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

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



Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total
Pesquisador(es)	48
Estudante(s)	26
Técnico(s)	



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; Nano satélites; Nanotecnologia; Pesquisa do Geoespaço;

Pesquisadores:

Ademar Michels

Adriano Petry

Alexandre Alvares Pimenta

Alicia Luisa Clúa de Gonzalez

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

Otávio Santos Cupertino Durão

Pawel Rozenfeld

Petrônio Noronha de Souza



Rafael Lopes Costa
Saverino Luiz Guimaraes Dutra
Walter Demetrio Gonzalez Alarcon

Estudantes:

Dimas Irion Alves
Eduardo Escobar Bürger
Guilherme Grams
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 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-Lider: Otávio Santos Cupertino Durão



SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
<i>Introdução</i>	1
CAPÍTULO 2	3
<i>Motivação para implementação do circuito protótipo LOFAR</i>	3
CAPÍTULO 3	7
<i>O Funcionamento de um Interferômetro</i>	7
CAPÍTULO 4	10
<i>Uma breve descrição do circuito</i>	10
4.1 Antena ativa	10
4.2 O balun ativo	11
4.3 bias tee.....	13
4.4 Linha de transmissão	15
4.5 Receptor.....	15
4.6 Correlacionador Digital.	16
CAPÍTULO 5	17
<i>Conclusão</i>	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
APÊNDICE A.....	22

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1* – Característica do Espectro Eletromagnético em observações no OES/CRS/CCR/INPE-MCT, em 2009 (10 – 240 MHz), em comparação com os dados Espectrais medidos em uma estação do LOFAR (10 – 150 MHz), publicado por BOONSTRA et al. (2000). A magnitude dos sinais não está na escala. O intervalo de operação do LOFAR está em verde. Fonte: ROSA (2009).....3
- Figura 2.2* – Composição entre a observação do Espectro Eletromagnético para um dia de aquisição de dados, 27 de Março de 2009, no OES/CRS/CCR/INPE-MCT. A resolução de largura de banda (RBW) utilizada foi 1 MHz, com antena apresentando padrão de radiação omnidirecional. Fonte: ROSA (2009).....4
- Figura 2.3* – LOFAR arquitetura do sistema.6
- Figura 3.1* – Resolução de um telescópio de prato único em comparação com um interferômetro de dois elementos. (a) Resposta de um único elemento de antena. A medida que o diâmetro do disco D aumenta, a radiação coletada nas bordas do prato se torna mais fora de fase para um determinado deslocamento angular φ . O valor do máximo do ângulo de meia potência é dado por $1.22\lambda/D$. (b) Resposta de um interferômetro de dois elementos. O ângulo de meia potência do "feixe equivalente" é dado pela expressão similar a $1.22\lambda/B$, onde B é a distância entre as antenas projetadas em um plano perpendicular à direção de observação.8
- Figura 3.2* – Componentes de um interferômetro elementar.9
- Figura 4.1* – Conceito básico de uma antena ativa. 10
- Figura 4.3* – Circuito transformador de impedâncias e de desbalanceamento..... 12
- Figura 4.4* – Impedâncias equivalentes vistas do transformador..... 12
- Figura 4.5* – Circuito básico de um *bias tee*. 13
- Figura 4.6* – Circuito de *bias tee* empregado na entrada do receptor..... 14
- Figura 4.7* – Circuito de *bias tee* empregado no *balun* ativo. 14



Figura 4.8 – Circuito completo do balun ativo. 15

Figura 4.10 – Circuito completo do receptor. Erro! Indicador não definido.

Figura 4.11 – Software de correlação..... 16



AGRADECIMENTOS

Primeiro, sou eternamente grato a minha família, aos meus pais Luis Manzano de Andrade e Antônia Miranda de Andrade, aos meus irmãos César Augusto de Andrade e Paulo Roberto de Andrade, pelo suporte financeiro e psicológico, sem os quais não seria possível a realização do Projeto de Pesquisa.

Sou grato, à Direção e Servidores do CRS/CCR/INPE – MCT e do LACESM/CT – UFSM pelo apoio e pela infra-estrutura disponibilizada. Ao Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT pela manutenção do Projeto de Pesquisa, que me permite dar os primeiros passos na Iniciação Científica e Tecnológica, propiciando grande crescimento pessoal e profissional. Ao Dr. Ezzat Selim Chalhoub, Coordenador Institucional do PIBIC/INPE e a Sra. Egidia Inácio da Rosa, Secretária do Programa PIBIC/INPE - CNPq/MCT, pelo constante apoio, alertas e sua incansável preocupação com toda a burocracia e datas limites do Programa para com os bolsistas de I. C. & T do CRS/CCR/INPE - MCT.

Agradecido ao Orientador do Projeto, Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CCR/INPE - MCT, pelo empenho e dedicação prestada com suas sugestões na metodologia do Projeto, bem como sua importante presença na formação profissional e orientação pessoal. Igualmente agradecido ao Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes, Professor e Pesquisador do LACESM/CT-UFSM e colaborador do CRS/CCR/INPE - MCT e Co-Orientador do Projeto cujo auxílio técnico foi indispensável.

Aos colegas de Laboratório Andrei Camponogara, Dimas Irion Alves e Leonardo Zavareze da Costa, grato pelo apoio e sugestões oportunas e construtivas, as quais foram muito úteis na construção do Relatório. Para finalizar, aos colegas de graduação Bruno Knevitz Hammerschmitt e Roger Hatwig de Lima pelas contribuições, pela amizade e momentos de descontração vivenciados na construção desse relatório.



RESUMO

O Projeto tem como objetivo dar continuidade ao Programa de Pesquisa e Monitoramento do nível de ruído presente no Espectro Eletromagnético, na faixa de 10 a 240 MHz, no Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE-MCT, (OES, 29,4° Sul, 59,4° Oeste), em São Martinho da Serra - RS. No Projeto é analisado o potencial do OES para viabilizar a instalação de equipamentos e radiotelescópios digitais tais como o *Low Frequency Array* (LOFAR). O radiotelescópio LOFAR utiliza um conjunto de antenas omnidirecionais ativas com ampla largura de feixe e largura de banda tão grande quanto possível, que proporciona maior sensibilidade em observações astronômicas para radiofrequências abaixo de 250 MHz. Como resultado da análise do monitoramento espectral (ROSA, G. S2009), realizado na região do OES, o sítio foi qualificado como apto para receber radiointerferômetros baseados no conceito de *Phased Array* (<http://www.lofar.org>) similares aos encontrados nas Estações Europeias do LOFAR. Partindo desse fato, com o propósito de construir uma função visibilidade, foi projetado e implementado um arranjo interferométrico similar ao do LOFAR *Prototype Station* (LOPES). Esse arranjo interferométrico desenvolvido no Projeto foi inicialmente instalado no topo do prédio sede do Centro Regional Sul de Pesquisa Espaciais (CRS), em Santa Maria, RS, atualmente encontra-se em teste no OES. O sistema e arranjo de antenas podem ser basicamente divididos em três módulos construtivos: Antena Ativa, Receptor e Correlacionador Digital. O interferômetro possibilita obter uma representação digitalizada de energia, no domínio do tempo, dentro de uma banda de frequências de interesse. O Projeto tem como finalidade monitorar, analisar, comparar e apresentar os resultados do nível de rádio interferência na faixa de 10-240 MHz, a partir da análise de sinais eletromagnéticos recebidos no interferômetro na região do OES.



CAPÍTULO 1

Introdução

No Relatório constam as atividades desenvolvidas pelo bolsista Juliano Rafael Andrade no Laboratório de Radiofrequência e Comunicações do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/CCR/INPE – MCT, em Santa Maria, RS, no Projeto de Pesquisa “**SISTEMA LOFAR - NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO MARTINHO DA SERRA NA FAIXA DE 10 - 240 MHZ**”. O monitoramento do Espectro Eletromagnético no OES visa confirmar que aquela região está livre de rádio interferência, aumentando a confiabilidade das medições científicas realizadas na faixa de 10 - 240 MHz. Estudo da análise espectral realizados em trabalhos anteriores a cerca do nível de rádio interferência, demonstram o potencial do sítio do OES para receber estações de monitoramento baseadas no conceito de *phased array*, similares a do LOFAR Europeu.

No Relatório é descrito o porquê de ser implementado o circuito protótipo LOFAR (LOPES) de baixo custo, o funcionamento de um radiointerferômetro nos moldes das Estações Europeias do LOFAR. Consta uma breve descrição do circuito desenvolvido, os principais problemas encontrados, possíveis soluções, e ainda uma análise da banda de frequência do protótipo em comparação com o LOFAR Europeu.

O Projeto de Pesquisa visa dar continuidade ao Programa de monitoramento do nível da rádio interferência presente no Espectro Eletromagnético na região do Observatório Espacial do Sul na faixa de 10 - 240 MHz. O principal objetivo do Projeto de Pesquisa é obter a função visibilidade (e em consequência a distribuição de brilho da fonte monitorada) a partir de um arranjo interferométrico nos moldes do *LOFAR Prototype Station* (LOPES). O estudo da atividade solar na faixa de frequências de 20 – 80 MHz visa colher dados da densidade espectral de energia em função do tempo.



O Relatório está organizado da seguinte forma: Capítulo 1 Introdução, logo em seguida o Capítulo 2 onde comentaremos sobre o porquê de implementar um circuito protótipo LOFAR, no Capítulo 3 faremos uma rápida descrição do circuito em nível de elementos, a seguir no Capítulo 4 uma pequena descrição do circuito, e no Capítulo 5 análise conclusiva e correções a serem realizadas no protótipo.

CAPÍTULO 2

Motivação para implementação do circuito protótipo LOFAR

O circuito interferométrico projetado utilizando o conceito de *Phased Array* similar aos encontrados nas estações Europeias do sistema LOFAR, foi motivado pelos resultados da análise espectral da região do sítio Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/CCR/INPE-MCT, (29.4°S, 53.8°W, 480m. a.s.), em São Martinho da Serra, RS.

Segundo trabalhos realizados por (ROSA, G. S2009), a região do observatório espacial do sul foi qualificada como sendo apropriada a receber sofisticados e sensíveis radiointerferômetros baseado no conceito de *Phased Array*, similares aos do sistema LOFAR. As Figuras 2.1 e 2.2 demonstram que a região do sítio OES está apta a receber esses equipamentos.

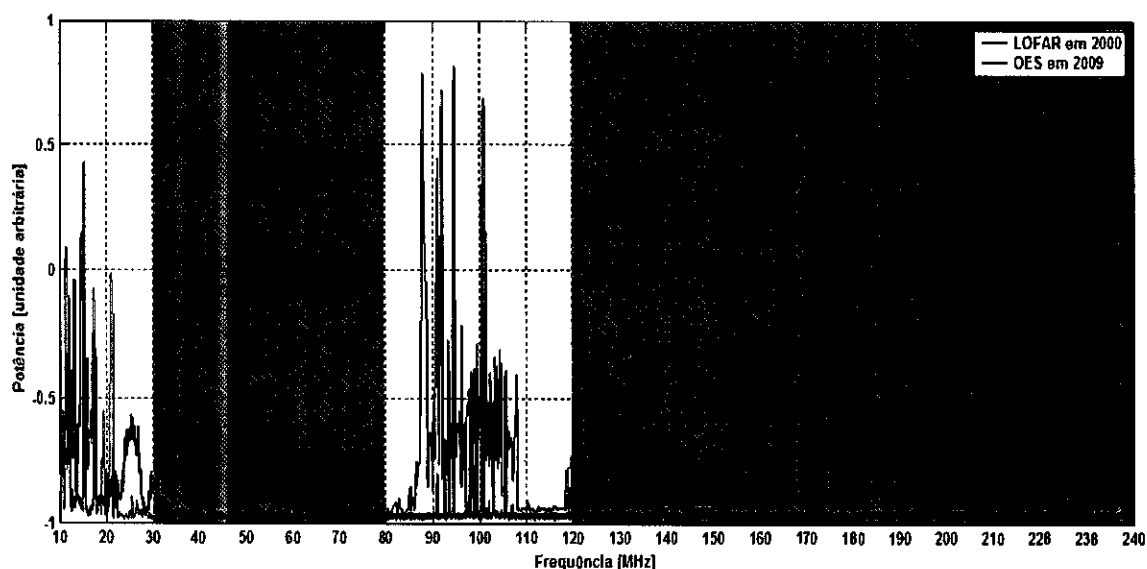


Figura 2.1 – Característica do Espectro Eletromagnético em observações no OES/CRS/CCR/INPE-MCT, em 2009 (10 – 240 MHz), em comparação com os dados Espectrais medidos em uma estação do LOFAR (10 – 150 MHz), publicado por BOONSTRA et al. (2000). A magnitude dos sinais não está na escala. O intervalo de operação do LOFAR está em verde. Fonte: ROSA (2009).

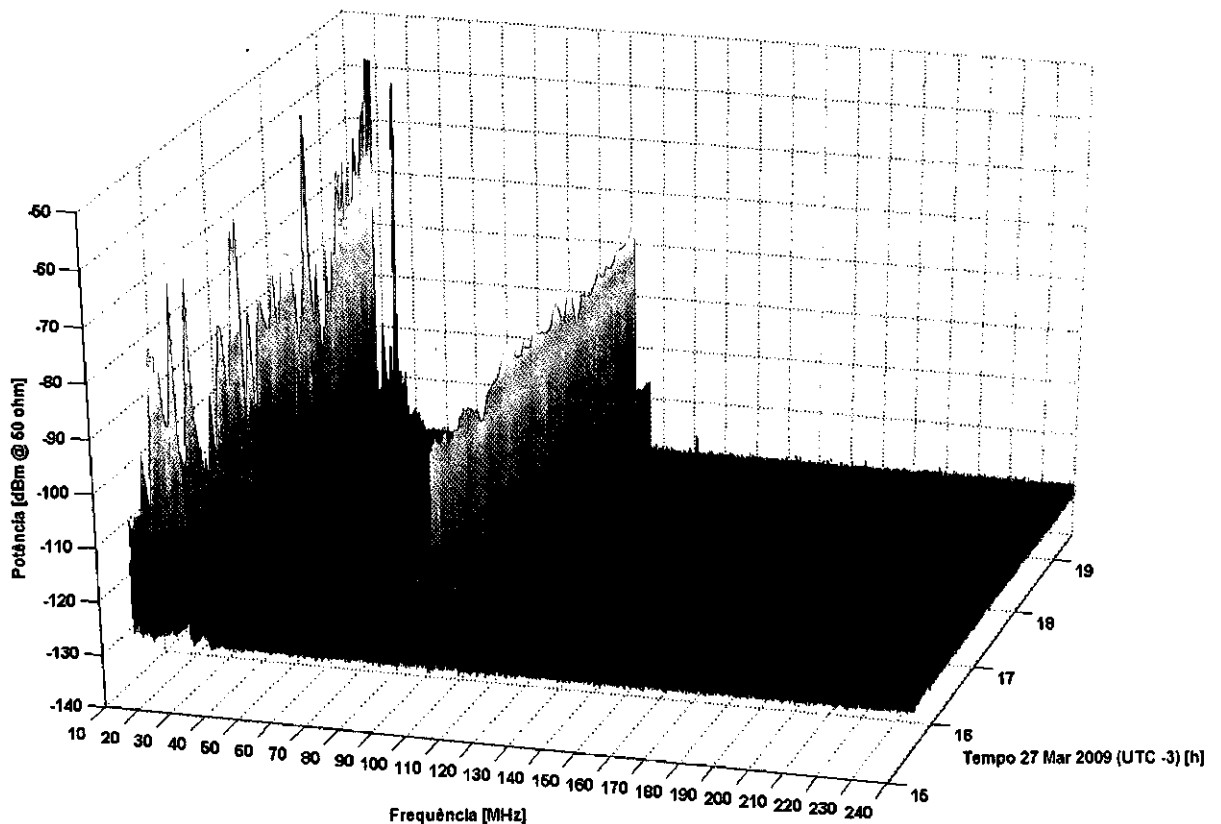


Figura 2.2 – Composição entre a observação do Espectro Eletromagnético para um dia de aquisição de dados, 27 de Março de 2009, no OES/CRS/CCR/INPE-MCT. A resolução de largura de banda (RBW) utilizada foi 1 MHz, com antena apresentando padrão de radiação omnidirecional. Fonte: ROSA (2009).

Com base nesse trabalho de observação, o objetivo principal do Projeto passa a ser adquirir a função visibilidade, a partir de um circuito interferométrico de baixo custo construído com base no *LOFAR Prototype Station* (LOPES). O estudo da atividade solar na faixa de frequências de 20 – 80 MHz visa colher dados da densidade espectral de energia no domínio do tempo.

O sistema de radiotelescópio LOFAR é inovador, e surgiu com o objetivo de alavancar o avanço na sensibilidade em observações astronômicas em radiofrequências abaixo de 250 MHz. É formado de uma matriz de baixa frequência com sensores multi-propósito (<http://www.lofar.org>).



Montado em forma de uma rede com vários radiointerferômetros, que simulam um radiotelescópio digital com dimensões tão grande quanto possível, a partir dos sinais eletromagnéticos provenientes de antenas do tipo dipolo filamental distribuídas em pequenas estações. Sua principal aplicação é em astronomia de baixa frequência (10-250 MHz), mas tem aplicações Geofísicas e Agrícolas.

Projetado com uma banda de enlace dos dados e avançado sistema digital de processamento de sinal para executar a maioria de suas funcionalidades. É o primeiro radiotelescópio onde uma grande quantidade de pequenos sensores é utilizada em vez de um pequeno número de pratos grandes (<http://www.lofar.org>). As principais razões para isso são citadas abaixo:

- Em virtude das baixas frequências de interesse do LOFAR, um telescópio tradicional seria muito grande e, portanto, caro.
- Os apontamentos podem ser feitos eletronicamente, não requerem a utilização de partes moveis, tornando o custo de manutenção menor.
- Permite o apontamento em várias direções ao mesmo tempo.
- Flexibilidade operacional (por exemplo, a troca rápida entre as observações é possível).

Para a aplicação em astronomia, o LOFAR é composto por estações do tipo *phased array*. As antenas de cada estação formam uma matriz de fases Multi-radiante a qual é uma grande vantagem nesse conceito. As estações são combinadas em uma matriz síntese de abertura, e estão distribuídas por uma grande área com uma linha de base máxima pré-estabelecida.

Os Subsistemas que constituem o LOFAR são:

- *Sensor Fields - Stations*: São estações que selecionam os sinais de interesse para uma observação em uma região específica.

Este processo resulta em múltiplos feixes voltados para o céu. A estação é capaz de armazenar os dados da antena.

- *Wide Area Networks (WAN):* A Wide Area Networks (WAN): A WAN é responsável pelo transporte transparente de todos os dados do feixe das estações para o processador central, esse processador central é responsável pelo processamento e combinação dos dados de todas as estações.
- *Central Processing Systems (CEP): Administração, programação e especificação (SAS):* A principal responsabilidade da SAS é programar e configurar o sistema no modo certo.
- *Software systems:* Controlar e fornecer interfaces para o usuário.

A topologia básica do LOFAR é apresentada na Figura 2.3.

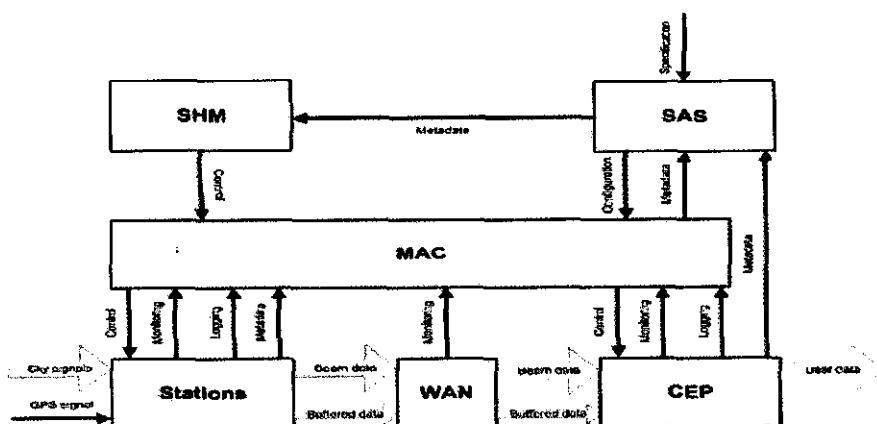


Figura 2.3 – LOFAR arquitetura do sistema.
Fonte: www.lofar.org

CAPÍTULO 3

O Funcionamento de um Interferômetro.

A radiointerferometria utiliza a separação espacial de duas ou mais antenas para obter informações sobre uma rádio frequência. A principal justificativa para a implementação de arranjos interferométricos é o incremento da resolução angular obtido com essa a técnica. A resolução de um telescópio possui a difração limitada no comprimento de onda observado dividido pelo diâmetro da antena. (FOMALONT & WRIGHT, 1974).

Sistemas de telescópios tradicionais, com uma antena de pratos grandes alcançam melhores resoluções angulares aumentando a abertura efetiva do prato. No entanto possuem dois efeitos indesejáveis conforme DELLER, (2009):

1. Apesar de uma melhora na sensibilidade das observações, a velocidade de elevação do instrumento não é satisfatória.
2. Os custos elevadíssimos e as dificuldades técnicas impostas nesse formato tornam esse sistema limitado.

A relação inversa entre o tamanho do feixe principal e o tamanho do prato, é demonstrada na Figura 3.1 a para um interferômetro formado por dois elementos e um telescópio tradicional de prato. A Figura 3.1 b mostra com um par de antenas, pode diferenciar as estruturas que estão dentro do feixe primário.

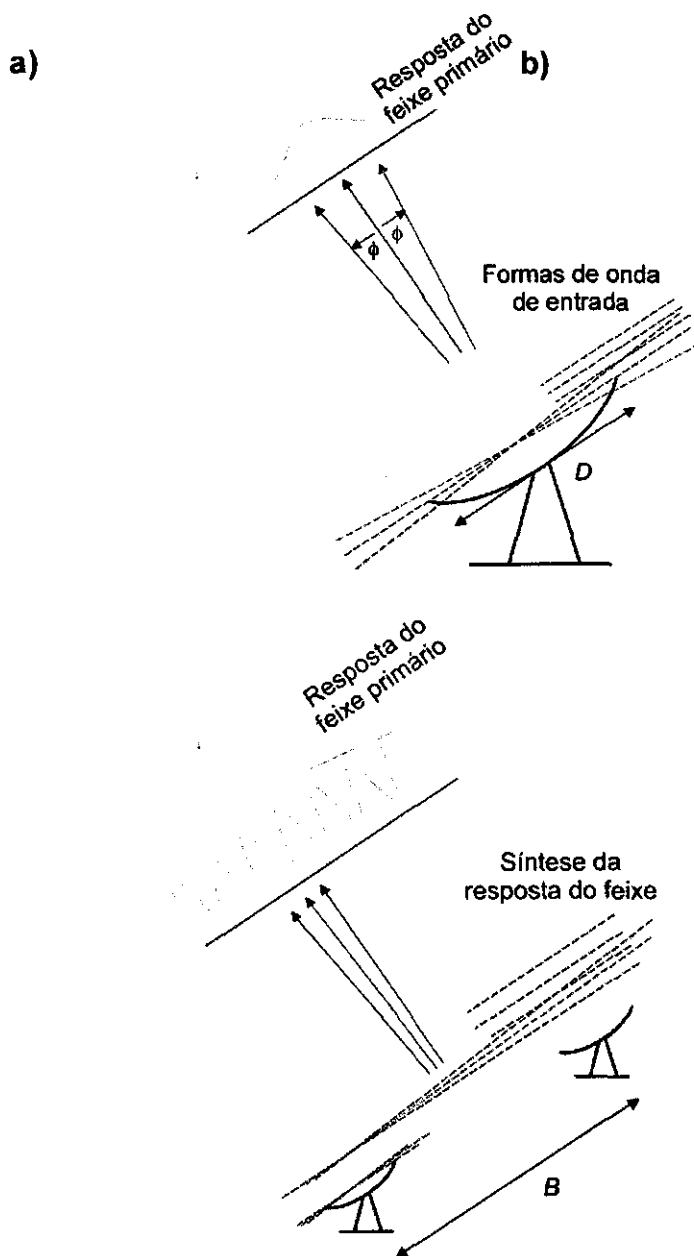


Figura 3.1 – Resolução de um telescópio de prato único em comparação com um interferômetro de dois elementos. (a) Resposta de um único elemento de antena. A medida que o diâmetro do disco D aumenta, a radiação coletada nas bordas do prato se torna mais fora de fase para um determinado deslocamento angular ϕ . O valor do máximo do ângulo de meia potência é dado por $1.22\lambda/D$. (b) Resposta de um interferômetro de dois elementos. O ângulo de meia potência do “feixe equivalente” é dado pela expressão similar a $1.22\lambda/B$, onde B é a distância entre as antenas projetadas em um plano perpendicular à direção de observação. Fonte: Adaptação de DELLER (2009).

O interferômetro possibilita obter uma representação digitalizada da energia no domínio do tempo dentro de uma banda de frequências de interesse (DELLER, 2009). O processamento do sinal digital é utilizado para obter a correlação entre os elementos da matriz linha, que juntamente com o conhecimento da geometria da matriz pode ser utilizada para gerar um modelo da região galáctica observada. No domínio da frequência espacial, e da imagem.

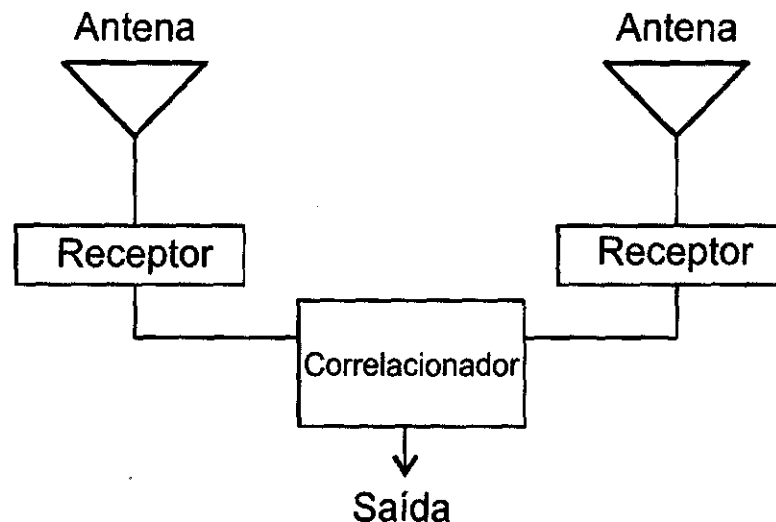


Figura 3.2 – Componentes de um interferômetro elementar.
Fonte Rosa 2011.

O funcionamento de um interferômetro elementar é brevemente descrito a seguir: O campo elétrico emitido por uma fonte qualquer é convertido a uma tensão elétrica na antena. O receptor converte a tensão recebida da antena, que está em frequência de rádio (RF: 30 MHz a 3 GHz) para uma tensão proporcional em uma frequência mais baixa; usualmente frequência de áudio (AF: 20 Hz a 20 kHz). O Correlacionador é responsável por multiplicar no domínio do tempo as tensões de saída dos receptores, e ainda integrar este produto (Rosa 2011).

A saída do correlacionador pode ser escrita como a integração em toda a superfície da esfera celeste como $4\pi sr$ (THOMPSON, 1989). Correlação significa dependência e em termos de sinais é a medida de similaridade entre um sinal com relação a outro.

CAPÍTULO 4

Uma breve descrição do circuito

No Capítulo faremos uma breve descrição do circuito interferométrico projetado em nível dos elementos: Antena Ativa; Receptor e Correlacionador.

4.1 Antena ativa

Essa antena é basicamente formada por dois dipolos dispostos de forma perpendicular e sobrepostos em um plano metálico. Esses dipolos são constituídos por um fio de cobre e cujas antenas são ressonantes em torno de 55 MHz. A extremidade de cada dipolo é conectada a um *balun* ativo pela linha de transmissão (ELLINGSON, 2005).

Uma antena ativa de um radiotelescópio em baixa astronomia pode ser modelada genericamente usando três parâmetros básicos: A antena (o dipolo filamentar propriamente dito), O *balun* (*balance to unbalanced transformer*) ativo (pré-amplificador localizado próximo a antena) e a linha de transmissão conectando o *balun* a entrada do receptor (Rosa 2011).

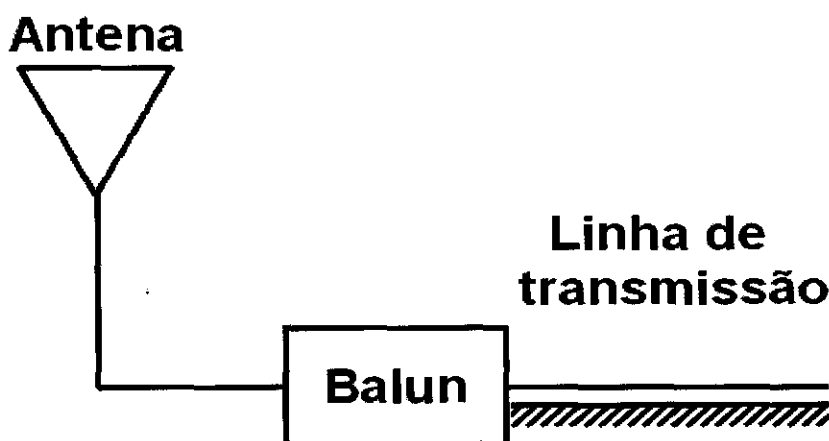


Figura 4.1 – Conceito básico de uma antena ativa.
Rosa 2011.

A atribuição da antena é a transferência de potência incidente nos seus terminais, incluindo o ruído Galáctico e as emissões provenientes de fontes astronômicas de interesse. A potência do ruído Galáctico pode ser descrita em termos da intensidade I_v , integrada sobre a antena.

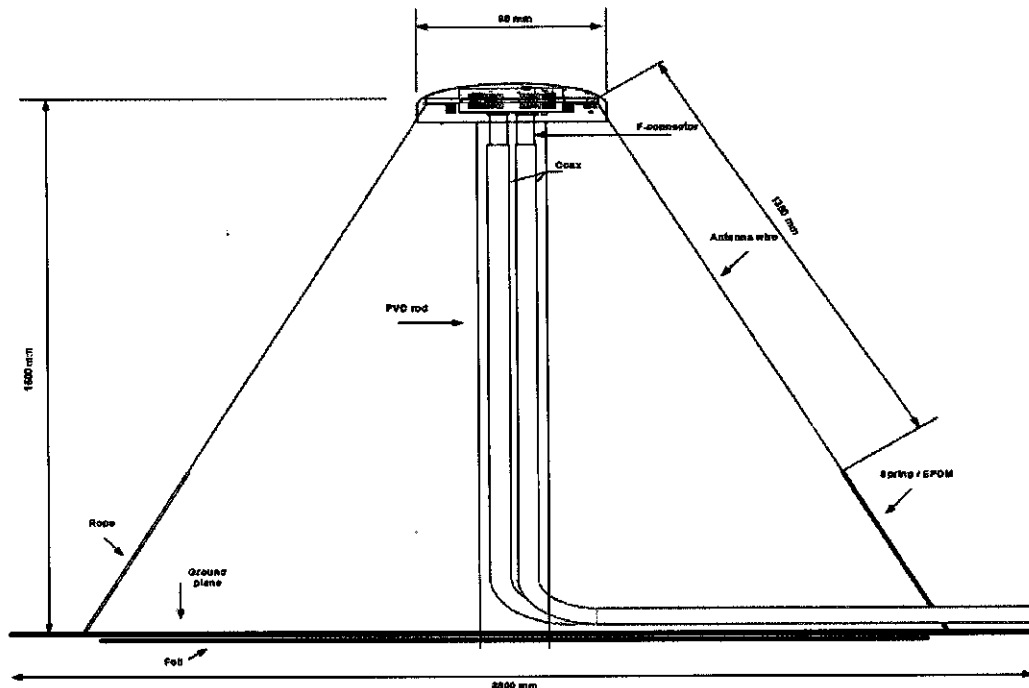


Figura 4.2 – Vista lateral de uma antena LBA do LOFAR.

Fonte: www.lofar.org

4.2 O balun ativo

O *balun* ativo converte os sinais elétricos equilibrados para desequilibrados com relação ao terra, amplifica o sinal e transforma a impedância para 50Ω compatível com o cabo coaxial TAN et al. (2000). O amplificador monolítico com realimentação negativa amplifica o sinal, de tal modo que a impedância de entrada do amplificador é relacionada com a impedância de saída do radiador sobre uma ampla faixa de frequência. Isso permite sensibilidade ao longo de uma ampla faixa de frequência no Espectro Eletromagnético com bom desempenho na linearidade e no nível de ruído.

Podemos construir um *balun* enrolando a linha de transmissão e formando uma bobina, ou anexar um transformador. Pode ser utilizado apenas sobre uma pequena faixa de frequência. No projeto adotamos o transformador como *balun*, é utilizado para converter linhas de diferentes impedâncias.

O circuito transformador de impedâncias e de desbalanceamento, demonstrado na Figura 4.3, com razão de transformação de tensão de $\sqrt{2}:1$, faz o casamento de impedância entre a saída dos pré-amplificadores e a saída do *balun* (STEWART et al., 2004). A impedância equivalente na entrada do transformador é 100Ω ; resultado da saída dos dois amplificadores em série. A impedância equivalente na saída do transformador é 50Ω ; equivalente a impedância do cabo coaxial.

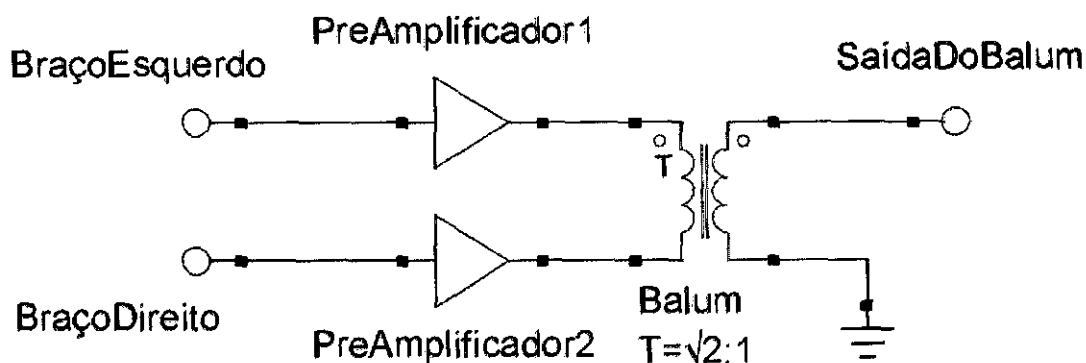


Figura 4.3 – Circuito transformador de impedâncias e de desbalanceamento.
Fonte: Rosa 2011.

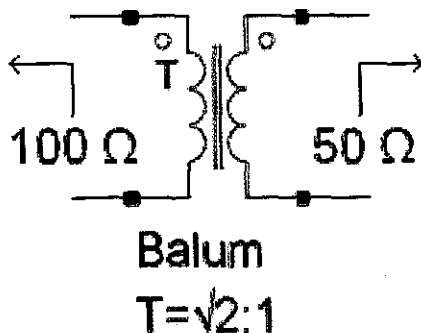


Figura 4.4 – Impedâncias equivalentes vistas do transformador.
Fonte: Rosa 2011.

4.3 bias tee

Multiplexador formado por Três (3) portas dispostas em forma de T, as quais permitem combinar sinais de frequências diferentes. Este circuito é utilizado para inserir energia contínua em um sinal alternado de rádios frequências, para alimentar os pré-amplificadores da antena ativa (Rosa 2011). Consiste de um indutor de alimentação DC e um capacitor de bloqueio, como mostra a Figura 4.5. O sinal de RF é conectado diretamente de um conector para o outro apenas com o capacitor de bloqueio em série. O diodo interno de bloqueio evita danos ao viés de "T" caso haja tensão reversa.

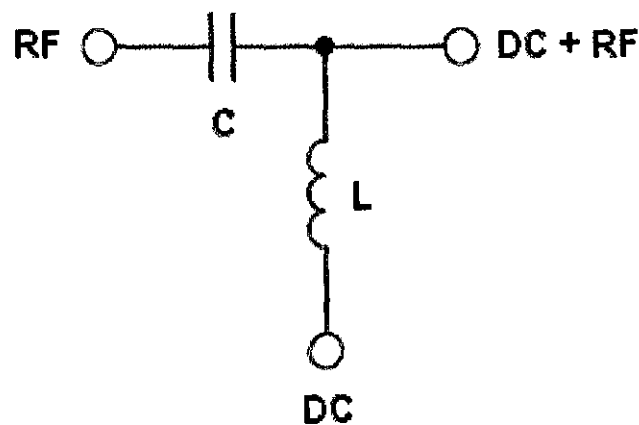


Figura 4.5 – Circuito básico de um *bias tee*.
Fonte: Rosa 2011.

Na transmissão de sinais RF para o receptor e a alimentação corrente contínua da Antena Ativa, são necessários dois (2) *bias tee*: um junto ao receptor, que fornece a potência DC, e outro junto a antena, que alimenta os amplificadores. Na Figura 4.6 mostra o circuito de *bias tee* empregado na entrada do receptor, que apresenta a fonte de alimentação DC para a Antena ativa.

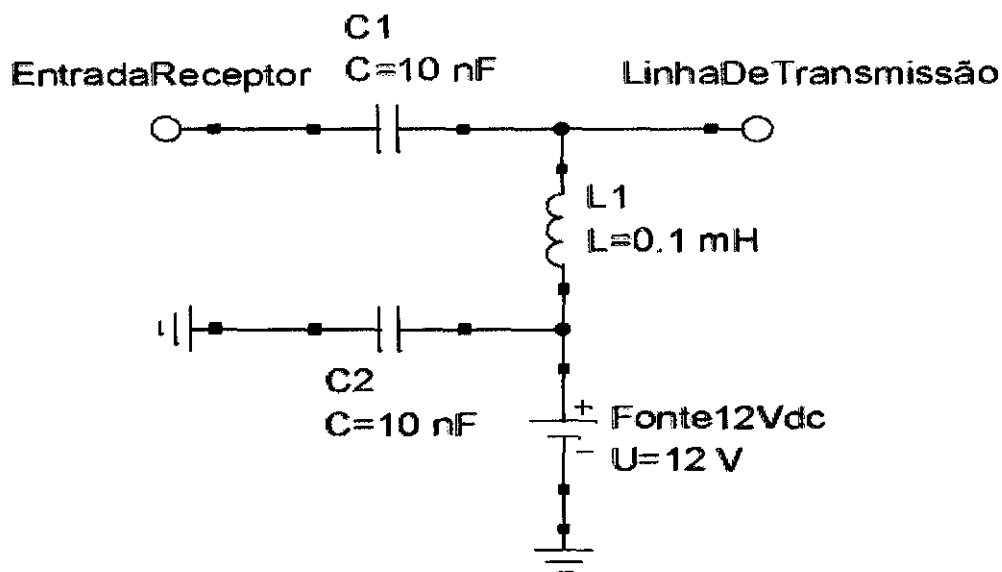


Figura 4.6 – Circuito de *bias tee* empregado na entrada do receptor.
Fonte: Rosa 2011.

O circuito *bias tee* utilizado no *balun* ativo é mostrado na Figura 4.7. A porta 12Vdc segue para a alimentação dos amplificadores.

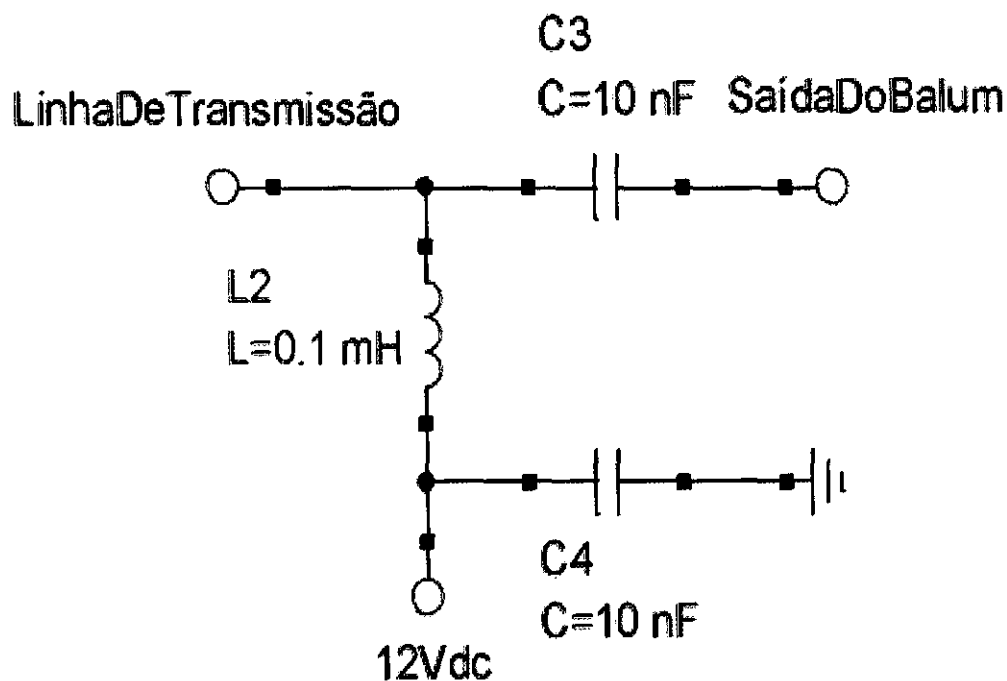


Figura 4.7 – Circuito de *bias tee* empregado no *balun* ativo.
Fonte: Rosa 2011

O Circuito completo do *balun* ativo é demonstrado na Figura 4.8 a seguir.

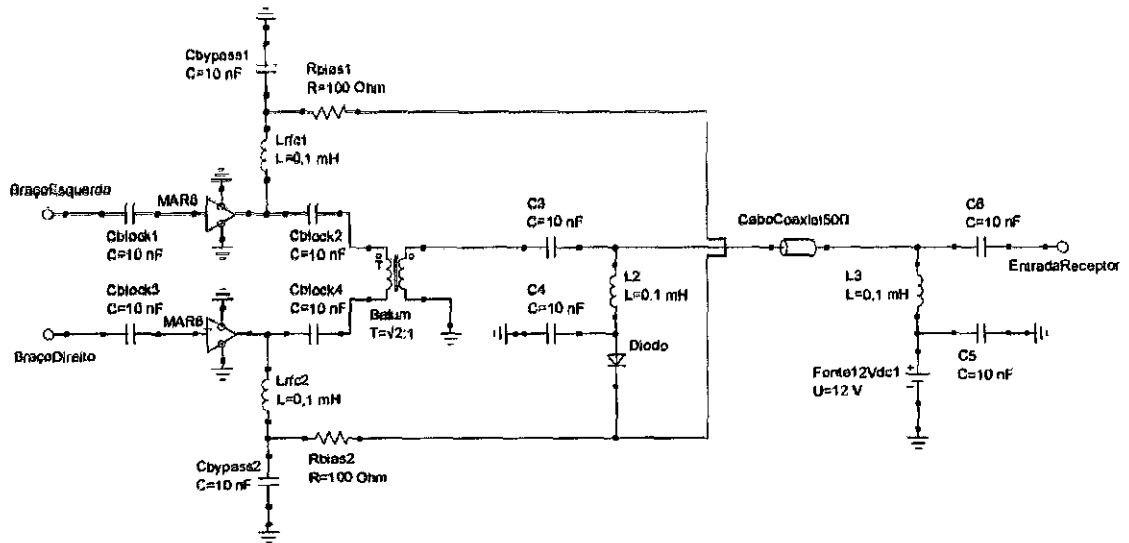


Figura 4.8 – Circuito completo do *balun* ativo.
Fonte: Rosa 2011

4.4 Linha de transmissão

A linha de transmissão conecta a saída do pré-amplificador ao receptor. A linha de transmissão pode ser descrita em termos de G_f , que é o ganho da linha. G_f Apresenta o valor máximo de um (1), que correspondente a uma linha sem perdas. A perda na linha de transmissão é dependente da frequência, e é crescente com o aumento da frequência.

4.5 Receptor

A topologia básica do receptor é demonstrada na Figura 4.9, e está dividida em blocos: O *Bias Tee*, uma rede de casamento de impedância para a faixa de 20 – 80 MHz, um receptor de RF super-regenerativo e um amplificador de áudio.

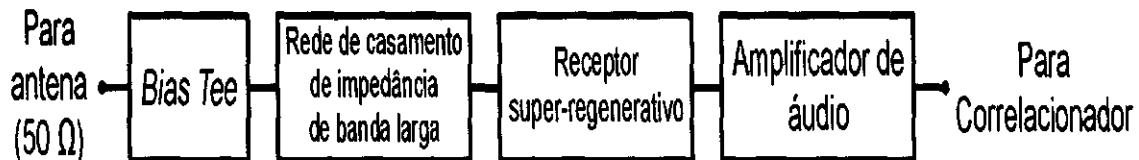


Figura 4.9 – Topologia básica do receptor.

Fonte: Rosa 2011.

O valor do resistor $R_REGENERACAO$ determina a estabilidade do

receptor, sendo que entre 33 k Ω e 100 k Ω para o resistor R_REGENERACAO levam o receptor a operar com estabilidade na faixa de 20 – 80 MHz. O indutor L5 em curto circuito e está ligado em série com o transformador de razão de transformação de impedância de 1:1 L_TRAFO_TANK(Rosa 2011).

4.6 Correlacionador Digital.

As topologias mais utilizadas de correlacionador digital empregadas em Radioastronomia são: XF e FX (THOMPSON, 2001). Sendo que são muito semelhantes, diferença principal fica na topologia XF a correlação (simbolizada por X) é realizada antes da transformada de Fourier (simbolizada por F). Na topologia FX a ordem das operações é invertida: primeiro os sinais são levados ao domínio da frequência, e posteriormente é realizada a correlação (BUNTON, 2000). Nesse protótipo é utilizada a segunda topologia, visto que é a mesma encontrada no LOFAR. O software de correlação desenvolvido em linguagem C# é mostrado na Figura 4.10.

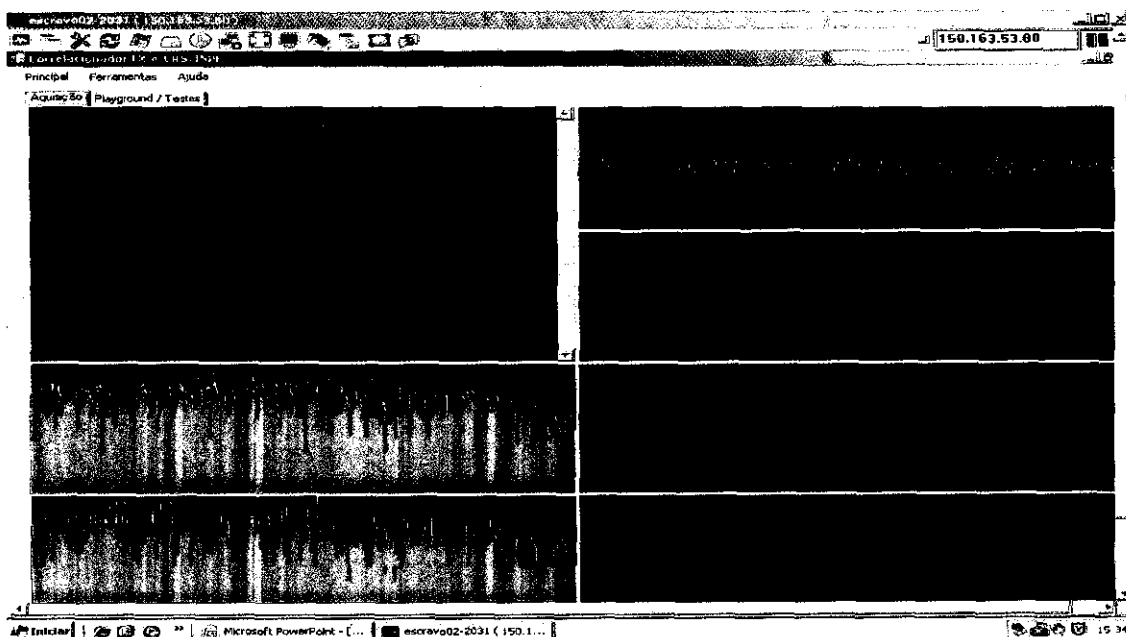


Figura 4.10 – Software de correlação.

A função visibilidade produzida pelo arranjo interferométrico proposto pode ser calculada através da correlação digital dos sinais adquiridos pelos 2 canais da placa de som (Rosa 2011).

CAPÍTULO 5

Conclusão

O inteferrômetro ainda está em fase de teste e integração, no entanto apresenta resultados preliminares satisfatórios. Pelo motivo do sinal recebido na antena ser muito fraco é importante que o amplificador introduza o mínimo de ruído possível no sinal, por esse motivo, se propõem uma melhora no amplificador. Faz-se necessário uma melhor interpretação do conceito de correlacionador utilizado. Visto que a correlação é realizada utilizando *softwares* de análise matemática, como Matlab, permitindo obter uma resposta proporcional à função visibilidade. Uma melhor revisão de literatura relacionada com a interpretação da resposta medida pelo interferômetro é útil e necessário.

Outro fator a ser estudado é a dimensão da linha de base, visto que esta pode atrapalhar a correta análise das medidas com interferômetro. Dessa forma o Projeto de Pesquisa e a elaboração do Relatório permitiu um conhecimento maior em relação às áreas relacionadas a rádio interferômetros de grande porte.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://www.lofar.org>

ROSA, G. S. Termo de conclusão de Curso(2011).

BALANIS, C. A. **Antenna Theory: Analysis and Design**, 2nd ed., New York: John Willey & Sons, Inc., 1997.

BOONSTRA, A. J.; BREGMAN, J. D; MOHAMOUD, A. A. (2000). **LOFAR spectrum monitoring: dynamic range and spectral occupancy issues**. Disponível em: <<http://www.jodrellbank.manchester.ac.uk/research/ska/workshop/Boonstra2.pdf>>. Acesso em: 10 Mar. 2010.

BOWICK, C. **RF circuit design**, Indianápolis: Howard W. Sams & Co., Inc., 1982.

BUNTON, J. **ALMA Memo 342 - An Improved FX Correlator**. CSIRO, Telecommunications and Industrial Physics, Australia. 19 December 2000.

CANE, H. V. Spectra of the nonthermal radio radiation from the galactic polar regions. **Royal Astronomical Society, Monthly Notices**, vol. 189, pp. 465–478, November 1979.

CAPPELLEN, W.A.; RUITER, M.; KANT, G.W. (2007); **Low Band Antenna: Architectural Design Document**. Disponível em: <http://www.astro.rug.nl/~peletier/BDT_15_LBA_ADD.pdf> Acessado em: 05 Mar. 2010.

CHIKADA, Y., et al., **Digital FFT Spectro-Correlator for Radio astronomy.**, in *Indirect Imaging* (ed J.A. Roberts), Cambridge University Press, pp 387-404, 1984

CUTHBERT, T. R. **Broadband Direct-Coupled and Matching RF networks**, pp 31-33, TRCPEP, 1999.

DURIC, N. et al. (2003) **RFI Report for the U.S. South-West**. Disponível em: <<http://web.haystack.mit.edu/lofar/rfi/download.html>>. Acesso em: 8 Mar. 2010.

ELLINGSON, S.W. Antennas for the Next Generation of Low-Frequency Radio Telescopes, *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.53, n.8, pp. 2480-2489, Aug. 2005.



ELLINGSON, S.W. *Design and Evaluation of an Active Antenna for a 29-47 MHz Radio Telescope Array*, **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**, vol.55, n. 3, pp. 826–831, Mar. 2007.

ELLINGSON, S.W. *Receivers for Low-Frequency Radio Astronomy, From Clark Lake to the Long Wavelength Array: Bill Erickson's Radio Science*, ASP Conference Series, vol.345, pp. 321-336, 2005.

Folha de dados do CI BC548. Disponível em:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11552/ONSEMI/BC548.html>.
Acessado em: 13 Jun. 2010.

Folha de dados do CI MK484. Disponível em:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/78545/RECTRON/MK484.html>.
Acessado em: 13 Jun. 2010.

Folha de dados do CI OPA277PA. Disponível em:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/196595/BURR-BROWN/OPA277PA.html>. Acessado em: 13 Jun. 2010.

Folha de dados do CI ZN414. Disponível em:
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/83304/ETC/ZN414.html>.
Acessado em: 13 Jun. 2010.

FOLHA DE ESPECIFICAÇÕES DO MAR-8. Disponível em:
<<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/94483/MINI/MAR-8A.html>>.
Acessado em: 8 Mar. 2010.

GONZALEZ, G. *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design*, 2nd ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1997.

GUNST, A. et al., 2005. **Critical Design Review: Receiver Unit (RCU RCU-II)**. Disponível em:
<<http://www.ira.cnr.it/ska/Documenti/Meetings%20&%20Reports/Bologna%202-23%20sept.%202005/RCU-2.pdf>> Acesso em: 09 Mar. 2010.

HORNEFFER, A. et al. **LOPES – Detecting Radio Emission from Cosmic Ray Air Showers**. In: 28th International Cosmic Ray Conference, pp. 969–972, 2003.

HORNEFFER, Andreas. **Measuring Radio Emission from Cosmic Ray Air Showers with a Digital Radio Telescope**. Bonn: Rheinische Friedrich-



Wilhelms-Universität Bonn, 2006. 106 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências e Matemática, Universidade de Bonn, Bonn, 2006.

JONES, J. E. Analysis of the Symmetric Center-Fed V-Dipole Antenna. **IEEE transactions on antennas and propagation**, pp. 316–322, May 1976.

JOHNSON, R. C. **Antenna Engineering Handbook**, 3rd ed, McGraw-Hill. 1993.

LOPES – LOFAR, 2009. Disponível em:
<<http://www.astro.ru.nl/lopes/science/lofar>>. Acesso em: 20 Jan. 2010.

O'SULLIVAN, J. D. **The Westerbork Broadband Continuum Correlator System.**, in *Indirect Imaging* (ed J.A. Roberts), Cambridge University Press 1984, pp 405-414

PATWARI. N.; SAFAAI-JAZI, A. High-Gain Low-Sidelobe Double-Vee Dipoles, **IEEE transactions on antennas and propagation**, vol. 48, no. 2, pp. 588–590, Feb. 2000.

RF Toolbox 2.7: Designing Broadband Matching Networks (Part 1: Antenna). Disponível em:
http://www.mathworks.com/products/rftoolbox/demos.html?file=/products/demos/shipping/rf/broadband_match_antenna.html. Acessado em: 13 Jun. 2010.

STEWART, K.P. et al. LOFAR antenna development and initial observations of solar bursts. **Planetary and Space Science**. vol. 52, Issue 15, pp 1351–1355, Dec. 2004.

SWENSON, G. W. Jr. 1980. **An amateur radio telescope.** The Astronomy quarterly library. Pachart Pub. House (Tucson, Ariz).

TAN, G. H.; ROHNER, C. Low-frequency array active-antenna system, in **Proc. SPIE**, vol. 4015, pp. 446–457, Jul. 2000.

THIELE, G. A.; EKELMAN, E. P. Design formulas for vee dipoles, **IEEE transactions on antennas and propagation**, vol. AP-28, no. 4, pp. 588–590, Jul. 1980.

TOKAREV, Y. V. Low Frequency Cosmic Background for a Cloudy Interstellar Medium Model. **Astrophysics and Space Science**, vol. 252, pp. 275 – 277, March 1997.



THOMPSON, A. R. et al. **Interference and Radioastronomy**. *Physics Today*, v. 44, n. 11, p.41-49, 1991.

THOMPSON, A. R., Moran, J. M., & Swenson, G. W. 2001, **Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy**, Chap. 8 (John Wiley, & Sons, Inc.)

KRAUS, J. D. **Radio Astronomy**, 2nd edition. Powell, Ohio: Cygnus-Quasar, 1986.



APÊNDICE A

ATIVIDADES COMPLEMENTARES DESENVOLVIDAS PELO BOLSISTA

Participação com apresentação de Trabalho Científico e publicação em anais de Congressos em 2009.

Título: SISTEMA LOFAR - NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO MARTINHO DA SERRA NA FAIXA DE 10 - 240 MHZ. Autores: ANDRADE, J. R.; SCHUCH, N. J.; GOMES, N. R.; ALVES, D. I.; RIBAS, J. J. M.; ROSA, G. S.

Evento: SICCRS

Local: Santa Maria, RS.

Período: 15 a 16 de Junho de 2011.