



**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/MCTI)**

**Andreas Vestena Bilbio**  
(UFSM – Bolsista PIBIC/INPE – CNPq/MCTI)  
**E-mail:** andreosbilbio@gmail.com

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

Julho de 2013



## **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:** 105251/2013-5

**Aluno Bolsista no período de Março/13 a Julho/13**

**Andreas Vestena Bilibio**

Acadêmico do Curso de Física Licenciatura

Centro de Ciências Naturais e Exatas – CCNE/UFSM

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

**Orientador:**

**Dr. Nelson Jorge Schuch**

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

**Co-Orientadores:**

**Dr. Natanael Gomes Rodrigues**

Depto. Eletrônica e Computação - DELC /CT-UFSM

Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria do Centro de Tecnologia -  
LACESM/CT-UFSM.

**Dr. Andrei Piccinini Legg**

Colégio Técnico Industrial de Santa Maria - CTISM/UFSM – CRS/CCR/INPE –  
MCTI

**Colaboradores:**

**Ciro Alberto Perez Júnior**

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

**Cláudio Machado Paulo**

Acadêmico do Curso de Física – Licenciatura Plena da UFSM

**Dimas Irion Alves**

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

**Leonardo Zavareza da Costa**

Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSM

**Pedro Ferreira**

Acadêmico do Curso de Física da UFSM



**Tiago Bremm**

Acadêmico do Curso de Física da UFSM

**Locais de Trabalho/Execução do Projeto:**

- Laboratório de Radiofrequência e Comunicações - LRC/CRS/INPE – MCTI
- Observatório Espacial do Sul - OES/CRS/INPE – MCTI

Trabalho desenvolvido no âmbito da Parceria e Convênio: INPE/MCT – UFSM, pelo Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.



## **AGRADECIMENTOS**

O bolsista agradece de forma especial o Orientador do Projeto, Dr. Nelson Jorge Schuch, Pesquisador Titular Sênior III do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI, pela atenção e orientação tanto acadêmica como pessoal e pelo auxílio nos momentos de dúvida. Agradece aos colegas de laboratório Ciro Perez Júnior, Cláudio Machado Paulo, Dimas Irion Alves, Leonardo Zavareza da Costa, Pedro Ferreira, Tiago Bremm e todos os colegas de outros laboratórios, não citados aqui, pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento do projeto.

O bolsista agradece a todos os funcionários e servidores do CRS/INPE – MCTI e do OES/CRS/INPE - MCTI pela atenção, apoio e infra-estrutura disponibilizada. Também agradece ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC/INPE-CNPq/MCTI e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, bem como ao Coordenador do Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI pela oportunidade de dar início na vida profissional pela Iniciação Científica e Tecnológica, influenciando diretamente no desenvolvimento acadêmico do aluno.

O bolsista agradece a seus amigos e família, principalmente a seus pais Suzana T. Vestena Bilibio e Luiz Carlos Bilibio, pelo incentivo nos estudos e projetos, e pelo apoio e distração nos momentos difíceis.



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



**Estudante**  
**Andreas Vestena Bilibio**



[Link para Currículo Lattes](#)

### [Dados gerais](#)

### [Indicadores de produção C, T & A](#)

#### Dados gerais

##### Identificação do estudante

**Nome:** Andreas Vestena Bilibio

**Nível de treinamento:** Graduação

**Currículo Lattes:** 20/06/2013 22:00

**E-mail:**

**Homepage:** <http://www.inpe.br>

##### Grupos de pesquisa que atua

[Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites](#) - INPE (estudante)

##### Linhas de pesquisa que atua

[MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO](#)

[DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR](#)

##### Orientadores participantes de grupos de pesquisa na instituição

[Nelson Jorge Schuch](#)

#### Indicadores de produção C, T & A dos anos de 2009 a 2012

Tipo de produção	2009	2010	2011	2012
Produção bibliográfica	0	0	0	0
Produção técnica	0	0	0	0
Orientação concluída	0	0	0	0
Produção artística/cultural e demais trabalhos	0	0	0	0



## Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil



**Grupo de Pesquisa**  
**Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites**



<a href="#">Identificação</a>	<a href="#">Recursos Humanos</a>	<a href="#">Linhas de Pesquisa</a>	<a href="#">Indicadores do Grupo</a>
-------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

### Identificação

#### Dados básicos

**Nome do grupo:** Clima Espacial, Interações Sol -Terra, Magnetosferas, Geoespaço, Geomagnetismo: Nanosatélites

**Status do grupo:** **certificado pela instituição**

**Ano de formação:** 1996

**Data da última atualização:** 20/06/2013 22:00

**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:**

**Unidade:** Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS

### Endereço

**Logradouro:** Caixa Postal 5021

**Bairro:** Camobi

**Cidade:** Santa Maria

**Telefone:** 33012026

**CEP:** 97110970

**UF:** RS

**Fax:** 33012030

**Home page:** http://

### Repercussões dos trabalhos do grupo

O Grupo - CLIMA ESPACIAL, MAGNETOSFERAS, GEOMAGNETISMO:INTERAÇÃO TERRA-SOL, NANOSATÉLITES 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 e DPD/UNIVAP 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 (DLR e Max Planck Institute for Solar System Research), Austrália (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, NANOSATÉLITES. Áreas de interesse: Heliosfera, Física Solar, Meio Interplanetário, Clima Espacial, Magnetosferas, Geomagnetismo, Aeronomia, Ionosferas, Aeroluminescência, Raios Cósmicos, Muons, Desenvolvimento de Nanosatelites Científicos, em especial CubeSats: o NANOSATC-BR1 e NANOSATC-BR2. 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	
<b>Pesquisadores</b>	<b>Total: 51</b>
<a href="#">Adriano Petry</a>	<a href="#">Jose Humberto Andrade Sobral</a>
<a href="#">Alexandre Alvares Pimenta</a>	<a href="#">Juliano Moro</a>
<a href="#">Alicia Luisa Clúa de Gonzalez</a>	<a href="#">Lilian Piecha Moor</a>
<a href="#">Alisson Dal Lago</a>	<a href="#">Lucas Lopes Costa</a>
<a href="#">Andrei Piccinini Legg</a>	<a href="#">Lucas Ramos Vieira</a>
<a href="#">Antonio Claret Palerosi</a>	<a href="#">Mangalathayil Ali Abdu</a>
<a href="#">Barclay Robert Clemesha</a>	<a href="#">Marco Ivan Rodrigues Sampaio</a>
<a href="#">Carlos Roberto Braga</a>	<a href="#">Marlos Rockenbach da Silva</a>
<a href="#">Cassio Espindola Antunes</a>	<a href="#">Nalin BabulalTrivedi</a>
<a href="#">Clezio Marcos De Nardin</a>	<a href="#">Natanael Rodrigues Gomes</a>
<a href="#">Cristiano Sarzi Machado</a>	<a href="#">Nelson Jorge Schuch</a>
<a href="#">Delano Gobbi</a>	<a href="#">Nivaor Rodolfo Rigozo</a>
<a href="#">Eduardo Escobar Bürger</a>	<a href="#">Odim Mendes Junior</a>
<a href="#">Eurico Rodrigues de Paula</a>	<a href="#">Otavio Santos Cupertino Durão</a>
<a href="#">Ezequiel Echer</a>	<a href="#">Pawel Rozenfeld</a>
<a href="#">Fabiano Luis de Sousa</a>	<a href="#">Petrônio Noronha de Souza</a>
<a href="#">Fernanda de São Sabbas Tavares</a>	<a href="#">Polinaya Muralikrishna</a>
<a href="#">Fernanda Gusmão de Lima Kastensmidt</a>	<a href="#">Rajaram Purushottam Kane</a>
<a href="#">Geilson Loureiro</a>	<a href="#">Renato Machado</a>
<a href="#">Gelson Lauro Dal' Forno</a>	<a href="#">Ricardo Augusto da Luz Reis</a>
<a href="#">Guilherme Simon da Rosa</a>	<a href="#">Rubens Zolar Gehlen Bohrer</a>
<a href="#">Gustavo Fernando Dessbesell</a>	<a href="#">Severino Luiz Guimaraes Dutra</a>
<a href="#">Hisao Takahashi</a>	<a href="#">Tardelli Ronan Coelho Stekel</a>
<a href="#">Igor Freitas Fagundes</a>	<a href="#">Walter Demetrio Gonzalez Alarcon</a>
<a href="#">Jean Pierre Raulin</a>	<a href="#">William do Nascimento Guareschi</a>
<a href="#">João Baptista dos Santos Martins</a>	
<b>Estudantes</b>	<b>Total: 24</b>
<a href="#">Adilson José Rambo Pilla</a>	<a href="#">Leonardo Zavareze da Costa</a>
<a href="#">Ândrei Camponogara</a>	<a href="#">Lucas Camponogara Viera</a>
<a href="#">Bruno Knevitx Hammerschmitt</a>	<a href="#">Lucas Lourencena Caldas Franke</a>
<a href="#">Cássio Rodinei dos Santos</a>	<a href="#">Magdiel Schmitz</a>
<a href="#">Claudio Machado Paulo</a>	<a href="#">Maurício Ricardo Balestrin</a>
<a href="#">Dimas Irion Alves</a>	<a href="#">Mauricio Rosa de Souza</a>
<a href="#">Edson Rodrigo Thomas</a>	<a href="#">Michel Baptistella Stefanello</a>
<a href="#">Felipe Cipriani Luzzi</a>	<a href="#">Pietro Fernando Moro</a>
<a href="#">Fernando Landerdahl Alves</a>	<a href="#">Tális Piovesan</a>
<a href="#">Guilherme Paul Jaenisch</a>	<a href="#">Tiago Bremm</a>
<a href="#">Iago Camargo Silveira</a>	<a href="#">Vinícius Deggeroni</a>
<a href="#">José Paulo Marchezi</a>	<a href="#">William Ismael Schmitz</a>
<b>Técnicos</b>	<b>Total: 0</b>
<b>Linhas de pesquisa</b>	<b>Total: 4</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• <a href="#">MAGNETOSFERAS x GEOMAGNETISMO</a></li><li>• <a href="#">DESENVOLVIMENTO DE NANOSATÉLITES - CubeSats: NANOSATC-BR</a></li><li>• <a href="#">AERONOMIA - IONOSFERAS x AEROLUMINESCÊNCIA</a></li></ul>	



- [MEIO INTERPLANETÁRIO - CLIMA ESPACIAL](#)

Relações com o setor produtivo	Total: 2
--------------------------------	----------

- [ALPHA SOUTH AMERICA - REPRESENTACOES E CONSULTORIA AEROESPACIAL LTDA - ASARCA PPROV](#)
- [Lunus Comércio e Representação Ltda - LUNUS](#)

Indicadores de recursos humanos do grupo	
Integrantes do grupo	Total

Pesquisador(es)	52
Estudante(s)	22
Técnico(s)	0





## **RESUMO**

Neste relatório são apresentadas as atividades e estudos referentes ao Projeto “SISTEMA LOFAR – NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO MARTINHO DA SERRA NA FAIXA DE 10 – 240 MHZ” (Processo nº105251/2013-5), desenvolvido por Andreos Vestena Bilibio, aluno do curso de Física – Licenciatura Plena, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM e bolsista no Programa PIBIC/INPE – CNPq/MCTI. Com vigência a partir de Março de 2013, o Projeto visa dar continuidade às atividades do Programa de Monitoramento do Nível de Ruído presente no Espectro Eletromagnético, na região do Observatório Espacial do Sul OES/CRS/INPE – MCTI (OES: 29,4° S, 58,3 W), em São Martinho da Serra, RS.

Durante a última metade do século, nosso conhecimento tem sido revolucionado pela abertura de janelas de observação fora da região do espectro visível. Ondas de rádio, radiação infravermelha, ultravioleta, raios X e gama têm proporcionado novas informações sobre a natureza e a história do Universo. Uma das poucas janelas espectrais que ainda permanece inexplorada é a das baixas frequências. O LOFAR, Low Frequency Array, é um radiotelescópio de grandes proporções que irá abrir este novo território para uma larga escala de estudos astrofísicos. A missão do LOFAR é estudar o Universo, pesquisando-o em frequências que vão de aproximadamente 10 a 240 MHz e rádio emissões com os comprimentos de onda que vão de 1,2 a 30 m.

Baseado nos conceitos do LOFAR e pretendo atingir os objetivo do Projeto, foi desenvolvido um pequeno protótipo de radiointerferômetro de baixo custo, que trabalha na faixa de 20-80 MHz e é composto por duas antenas ativas, um receptor analógico de rádio frequência e um correlacionador digital. O conjunto já foi testado e, atualmente, passa por manutenções nos laboratórios do CRS.

Este trabalho apresenta o estudo sobre temas referentes ao LOFAR, radioastronomia, receptor, correlacionador e também as novas propostas para o interferômetro do OES. Todo o estudo, manutenção e construção de componentes do Projeto são realizados nos laboratórios do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/CCR/INPE – MCTI, em Santa Maria, RS.



## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>10</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>11</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>12</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>14</b>
RADIOASTRONOMIA E RADIOTELESCÓPIO .....	14
1.1 - <i>Introdução</i> .....	14
1.2 - <i>Radioastronomia</i> .....	14
1.3 - <i>Radiotelescópio</i> .....	15
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>17</b>
HISTÓRIA DO LOFAR.....	17
2.1 - <i>Introdução</i> .....	17
2.2 - <i>NETHERLANDS INSTITUTE FOR RADIO ASTRONOMY (ASTON)</i> .....	17
2.3 - <i>O Novo Telescópio LOFAR</i> .....	17
2.4 - <i>Objetivo</i> .....	18
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
O PROJETO LOFAR.....	19
3.1 - <i>Estrutura</i> .....	19
3.2 - <i>Diagrama de Irradiação de Antenas</i> .....	20
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>22</b>
PROTÓTIPO DE RADIO INTERFERÔMETRO DESENVOLVIDO .....	22
4.1 - <i>Motivação</i> .....	22
MONITORAMENTO .....	23
4.2 - <i>Monitoramento</i> .....	23
4.3 - <i>Protótipo de Rádio Interferômetro</i> .....	24
4.3.1 - <i>Antena Ativa</i> .....	24
4.3.2 - <i>Receptor</i> .....	25
4.3.3 - <i>Correlacionador</i> .....	26
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>28</b>
ESTADO ATUAL DO PROJETO.....	28
5.1 - <i>Reinstalando o Rádio Interferômetro</i> .....	28
5.2 - <i>Justificativa</i> .....	28
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>29</b>
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA VIGÊNCIA DA BOLSA.....	29
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>30</b>



CONCLUSÃO.....	30
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>31</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1 – RADIOTELESCÓPIO DE ANTENA PARABÓLICA PROPOSTO POR REBER.....</b>	<b>16</b>
<b>FIGURA 3.1 – DIAGRAMA DE REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES DO LOFAR EUROPEU .....</b>	<b>19</b>
<b>FIGURA 3.2 – REPRESENTAÇÃO DE UM DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO EM FORMA POLAR.....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 4.1 – CARACTERÍSTICA DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO NA REGIÃO DO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL, EM SÃO MARTINHO DA SERRA, RS, NA FAIXA DE 10-240 MHZ, EM 2003 E EM 2009 .....</b>	<b>22</b>
<b>FIGURA 4.2 – EQUIPAMENTOS INSTALADOS NO CRS, EM MAIO DE 2012 .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 4.3 – DIAGRAMA DA ESTRUTURA BÁSICA DO INTERFERÔMETRO .....</b>	<b>24</b>
<b>FIGURA 4.4 – DIAGRAMA DE REPRESENTAÇÃO DA ANTENA ATIVA.....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 4.5 – DIAGRAMA DE REPRESENTAÇÃO DA ANTENA PROPOSTA POR CAPPELLEN (2007) E DESENVOLVIDA POR ROSA (2009) .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 4.6 – DIAGRAMA DA TOPOLOGIA BÁSICA DO RECEPTOR PROPOSTO .....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 4.3 – IMAGEM DA TELA DO SOFTWARE DE CORRELAÇÃO.....</b>	<b>27</b>



## INTRODUÇÃO

O Relatório descreve as atividades realizadas no Projeto **SISTEMA LOFAR – NÍVEL DE RADIOINTERFERENCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SULEM SÃO MARTINHO DA SERRA NA FAIXA DE 10-240 MHZ**, com vigência de Março de 2013 a Julho de 2013. As atividades foram realizadas pelo aluno **Andreas Vestena Bilibio**, autor do relatório e aluno dos Cursos de Física Licenciatura Plena (UFSM) e de Técnico em Eletrotécnica (CTISM/UFSM), bolsista PIBIC no período de Março de 2013 a Julho de 2013.

O Projeto de Pesquisa tem como objetivo dar continuidade às atividades do Programa de Monitoramento do Nível de Rádio Interferência, na região do Observatório Espacial do Sul OES/CRS/INPE – MCTI (OES: 29,4° S, 58,3° W), em São Martinho da Serra. Estudos anteriores comprovaram que a região do OES está livre de interferência de Rádio Frequência intensa. Baseados nestes estudos bolsistas anteriores desenvolveram um arranjo interferométrico que foi testado e passa, atualmente, por manutenções nos laboratórios do CRS. O arranjo foi desenvolvido, inicialmente, envolvendo os seguintes componentes: antena ativa, receptor analógico e correlacionador digital. As pesquisas referentes ao Projeto estão sendo desenvolvidas no Laboratório de Física Solar, Meio Interplanetário e Magnetosferas(LFSMIM), do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRS /INPE– MCTI, em Santa Maria, RS.

O relatório foi dividido em sete capítulos, descritos a seguir:

Os Capítulos 1, 2 e 3 apresentam uma revisão bibliográfica referente (a) à Radioastronomia, (b) aos radiotelescópios, (c) à História do LOFAR e (d) ao LOFAR e sua estrutura.

O Capítulo 4 apresenta a motivação para o desenvolvimento do interferômetro, empregando a metodologia do LOFAR, o monitoramento do Espectro Eletromagnético, o arranjo interferométrico desenvolvido, testes realizados e resultados.

O Capítulo 5 refere-se às novas propostas para aperfeiçoar o arranjo interferômetro e a justificativa para estas propostas.

O Capítulo 6 apresenta as atividades desenvolvidas pelo bolsista durante o período de vigência da bolsa e o Capítulo 7 apresenta as conclusões sobre o projeto e as referências bibliográficas utilizadas nas pesquisas.



## **CAPÍTULO 1**

### **RADIOASTRONOMIA E RADIOTELESCÓPIO**

#### **1.1 - Introdução**

Radioastronomia é a parte da Astronomia que estuda o Universo por ondas eletromagnéticas. A grande maioria dos objetos celestes emite ondas eletromagnéticas em quase todas as faixas do espectro. Isso começa nas ondas muito curtas dos raios gama, passa pelos raio-X, ultravioleta, luz visível, infravermelho e ondas de rádio (onde se inclui as microondas, de FM, AM, TV, etc.). Para observar a parte do espectro, são utilizados telescópios comuns, com ótica de lentes e/ou espelhos. Para estudos na faixa de rádio, utilizam-se antenas parabólicas, chamadas de radiotelescópios.

#### **1.2 – Radioastronomia**

A Radioastronomia estuda os corpos celestes utilizando radiação com comprimentos de onda maiores do que a luz visível, a saber, as ondas de rádio. A faixa de frequências se estende desde as ondas em VLF ( Very Low Frequencies ) com quilômetros de comprimento de onda, até as microondas na faixa de comprimentos de onda da ordem de frações do milímetro.

Nem todas as radiações do espaço atingem a superfície terrestre. A atmosfera, em função de sua espessura e elementos químicos constituintes, impõe "janelas" por onde passam estas radiações. A "janela ótica" com radiações de comprimento de onda de luz visível variando de 390 nm a 760 nm.

"A janela rádio", que permite passar radiações entre 1mm a 30 m, dependendo das condições atmosféricas, o limite superior pode atingir até 150 m. Assim notamos que a janela rádio é muito mais larga do que a janela ótica, o que nos dá mais informações da radiação vinda do espaço.

As ondas de rádio não são absorvidas pela poeira cósmica, como acontece com a luz visível, oferecendo assim uma ferramenta de estudo muito mais potente (BRUSCATO, G. C).

Estudos prevêem que sempre ocorrerá emissão de radiação eletromagnética em corpos que apresentam temperatura superior, ao zero Kelvin (-273,6 a 273,6 °C). Essa radiação poderá ser captada com equipamentos próprios, específicos para cada frequência emitida pela radiação do corpo.

A intensidade da emissão de radiação eletromagnética de um corpo é diretamente proporcional à temperatura a que este corpo está exposto, devido à agitação térmica de suas moléculas. Corpos mais quentes emitem menores comprimentos de ondas, como a luz azul ou a violeta, violeta do espectro visível. Os corpos frios emitem radiação nos maiores comprimentos de onda, como a luz vermelha.

A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas é diretamente proporcional à sua frequência e seu comprimento de onda. Há também a radiação chamada síncrotron, que é produzida por cargas elétricas que se movem em velocidade próxima a da luz e podem revelar a presença de jatos de plasma em alta velocidade e intensos campos magnéticos, normalmente presentes em manchas solares ou magnetosferas planetárias.

O interesse em estudar radioastronomia reside no fato de ser ela responsável por grande parte do conhecimento atual sobre o universo, superando, em muito, aquele gerado pela astronomia óptica.

### **1.3 – Radiotelescópio**

Um radiotelescópio é um dispositivo composto de um "prato" parabólico de metal. No ponto onde os sinais recebidos pelo "prato" convergem, há um receptor dedicado a determinadas faixas de frequências.

Grote Reber foi o engenheiro que projetou o primeiro radiotelescópio de antena parabólica. Seus estudos fizeram-no perceber que a intensidade dos sinais recebidos na época, por antenas simples, era muito fraca e que, seguindo os princípios da ótica geométrica, poderia criar uma antena que recebesse sinais de uma grande área do espaço, concentrando-os em um foco (o receptor) (ANDREOLLA, 2010). O processo para aquisição de dados proposto por Reber é uma importante base para o estudo dos radiotelescópios. A Figura 1.1 mostra o primeiro radiotelescópio proposto por Reber.



Figura 1.1 – Radiotelescópio de antena parabólica proposto por Reber.

Fonte: <http://www.n1maa.com/Reber.html> (Junho de 2012)



## **CAPÍTULO 2**

### **HISTÓRIA DO LOFAR**

#### **2.1 – Introdução**

O capítulo aborda uma revisão teórica sobre o instituto holandês *Netherlands Institute for Radio Astronomy* (ASTRON), responsável pelo desenvolvimento do LOFAR (*LOw Frequency Array*). O LOFAR é um radiotelescópio digital de grande porte que envolve tecnologia sofisticada de aquisição e correlação de dados e, trabalha nas faixas de frequência de 10 – 240 MHz. O sistema envolve é composto por um radiotelescópio digital simulado por um computador central, que está conectado a um conjunto de várias antenas, organizadas em estações. Os objetivos e a estrutura do Projeto LOFAR também são abordados neste capítulo.

#### **2.2 – Netherlands Institute for Radio Astronomy (ASTRON)**

ASTRON é o Instituto Holandês para a Rádio Astronomia e sua missão é promover estudos na grande área da astronomia por meio do desenvolvimento de tecnologias que possibilitem avanços científicos relacionados à área.

#### **2.3 – O Novo Telescópio LOFAR**

Em junho de 2010, o novo telescópio LOFAR de ASTRON foi oficialmente inaugurado por Sua Majestade a Rainha Beatrix. LOFAR é a abreviação de Low Frequency Array e é o maior radiotelescópio do mundo que realiza observações em frequências mais baixas. Pretende-se, pesquisar a origem das primeiras galáxias, buracos negros e nuvens de gás no "nascimento" do Universo com esta ferramenta.

O Projeto LOFAR contém milhares de pequenas antenas, instaladas entre Exloo e Buinen em Drenthe, e em cerca de dezoito campos menores, distribuídos ao longo do Norte da Holanda: Friesland, Groningen, Drenthe e Overijssel. A maior distância entre as antenas é de cerca de 1.500 km.



As estações são ligadas por uma rede de fibra de vidro, que conduz o sinal ao supercomputador do Centro de Donald Smits de Tecnologia da Informação. O computador é responsável por combinar os sinais recebidos e, a partir de um software, criar um prato visual com um diâmetro de cerca de 100 km. O modelo é expandido com estações de antenas na Alemanha, Reino Unido, França e Suécia, o que permite aos astrônomos observar até mesmo detalhes mais nítidos.

## **2.4 – Objetivo**

O objetivo do Projeto LOFAR é utilizar a grande rede de sensores para realizar estudos, sobre o Universo, na faixa de frequências de 10 a 240 MHz. Os sinais presentes nesta faixa ainda não foram examinados, portanto, é possível que seja recebida uma grande quantidade de informações ainda não descobertas.

Outros fenômenos mais próximos da Terra como, tempestades magnéticas no sol, ventos solares e a forma como o clima influencia a Terra poderão, também, ser estudados. As áreas da geofísica e agricultura também podem ser beneficiadas com o desenvolvimento deste Projeto.

## CAPÍTULO 3

### O PROJETO LOFAR

#### 3.1 – Estrutura

O sistema é composto por um radiotelescópio digital, simulado por um computador central que está conectado a estações de antenas. Com este sistema, objetiva-se aumentar a sensibilidade nas pesquisas em observações astronômicas, pois, quando realizamos a associação de antenas, formamos os chamados rádio interferômetros, em que, é possível ‘somar’ todos os sinais obtidos, aumentar a qualidade do processamento, em relação a sistemas comuns, e expandir a área de observação.

Os sinais eletromagnéticos captados pelas antenas, depois de serem digitalizados, são transferidos ao computador central que irá processá-los e simular a grande antena convencional. A transmissão dos dados das antenas para o computador central é feita via cabos de fibra óptica. A Figura 1.3 demonstra uma representação das estações do LOFAR.

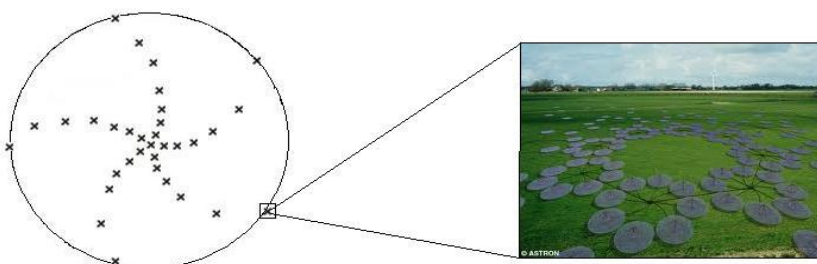


Figura 3.1 – Diagrama de representação das estações do LOFAR europeu.

Fonte: <http://elementy.ru/news/25620>; <http://www.greenstone-institute.eu> (2012)

Astrônomos estão exultantes com a possibilidade de poder compreender o mecanismo que gera os intensos feixes de luz de pulsares graças a um arranjo de telescópios gigantes com o telescópio LOFAR. Observando a luz emitida por seis pulsares em comprimentos de ondas de rádio variando entre 3,5 a 7 metros – um fator de diferença de 200 – os astrônomos obtiveram, nesta semana, uma visão sem precedentes de como os pulsares brilham. Por, (Ciência Diária; Sexta feira 23 de abril de 2010).

### **3.2– Diagrama de Irradiação de Antenas**

A antena é um sistema que irradia energia eletromagnética, podemos conhecê-la a partir do processamento da irradiação, da eficiência e da distribuição da energia irradiada através do campo, dentro do espectro conhecido, ou arbitrado. Existem diversos tipos de antenas, contudo, todas irradiam de forma semelhante. Desta forma, o diagrama de irradiação nada mais é do que o mapeamento espacial da distribuição de energia irradiada, levando em conta o campo tridimensional. Então, nada mais é, do que, uma representação gráfica da forma como a energia eletromagnética se distribui no espaço.

Existem diversas maneiras de levantar esse mapeamento, algumas mais simples e outras mais trabalhosas. No entanto, se existem vários sistemas de análises que chegam ao mesmo resultado, então utiliza-se o mais simples, ou seja, o menos trabalhoso.

Ao fazer análise do diagrama de irradiação do campo da antena, é importante verificar se tratamos de campo ou de potência. Se a polarização é vertical, ou horizontal e o levantamento deve ser executado em 360 graus. Este diagrama deve ser feito a uma distância tão pequena que as próprias dimensões da antena possam ser desprezíveis em face à distância de medição.

No caso de uma antena dipolo, na polarização horizontal, é perfeitamente possível a diagramação da irradiação em dois sentidos, isto é, existem duas frentes de onda, há um lóbulo principal de irradiação e lóbulos secundários de menor amplitude.

Na Figura 1.4 temos uma representação de um diagrama de irradiação polar.

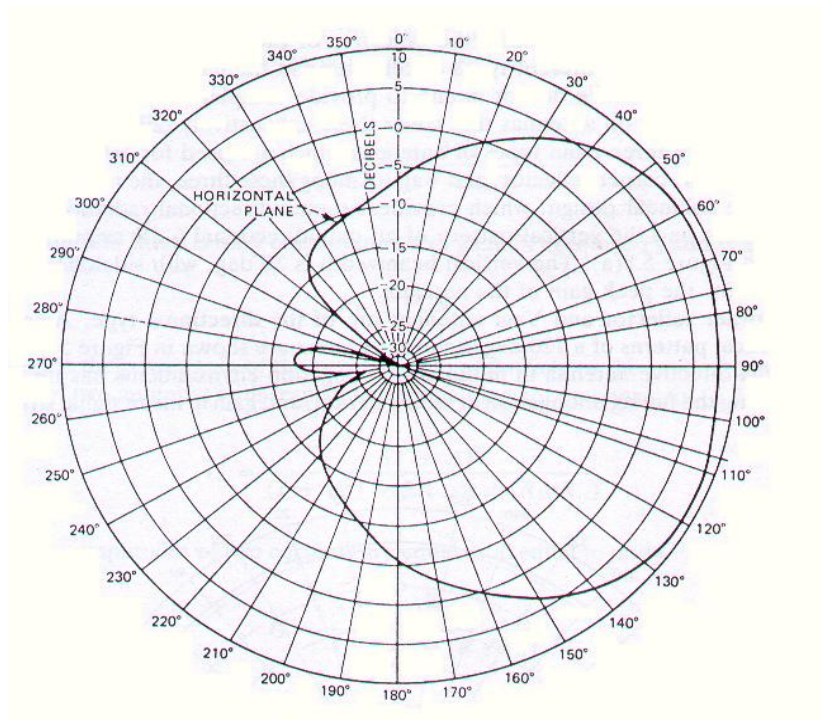


Figura 3.2 – Representação de um diagrama de irradiação em forma polar.  
Fonte: <http://dc274.4shared.com/doc/Lau02y1g/preview.html> (Julho de 2013)

## CAPÍTULO 4

### PROTÓTIPO DE RADIO INTERFEROMETRO DESENVOLVIDO

#### 4.1– Motivação

A principal motivação para a construção de um interferômetro empregando a metodologia do LOFAR foram os resultados dos níveis de rádio interferência observados na região do Observatório Espacial do Sul – OES/CRS/INPE-MCTI, (29.4°S, 53.8°W, 480 m.a.s.), em São Martinho da Serra, RS. A partir de trabalhos desenvolvidos por (ROSA, 2009) obteve-se, os resultados expostos na Figura 4.1, que permitiram qualificar a região do sitio do OES como apta para receber conjuntos de radiointerferômetros, similares aos empregados nas Estações Europeias do LOFAR.

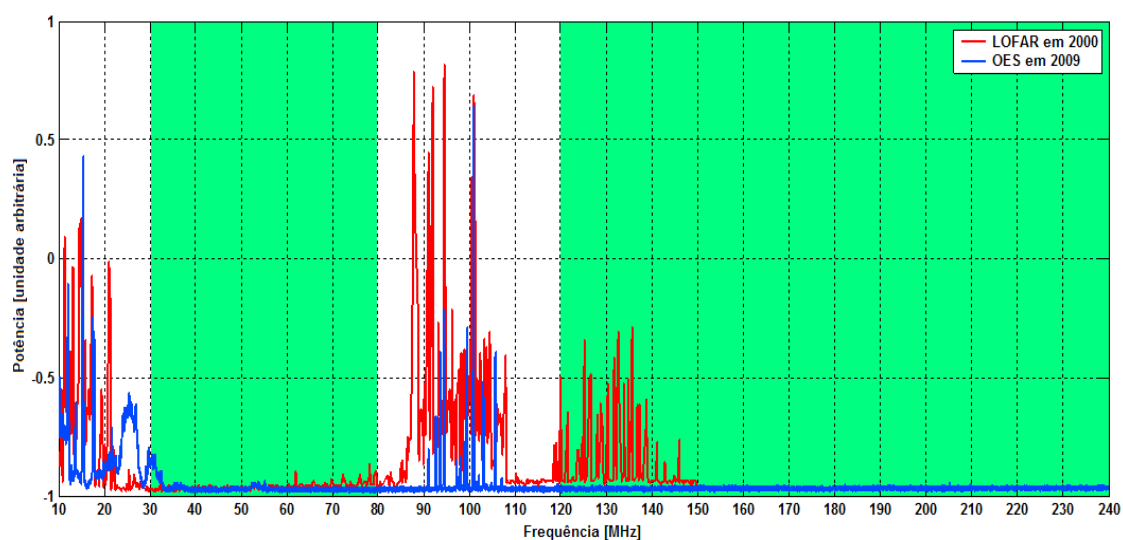


Figura 4.1 – Característica do Espectro Eletromagnético em observações no OES/CRS/INPE-MCTI, em 2009 (10 – 240 MHz), em comparação com os dados Espectrais medidos em uma estação do LOFAR (10 – 150 MHz), publicado por BOONSTRA et al. (2000). A magnitude dos sinais não está na escala. O intervalo de operação do LOFAR está em verde.

Fonte: ROSA (2009).

#### 4.2– Monitoramento

O monitoramento do Espectro eletromagnético foi feito utilizando-se um analisador de espectro Tektronix 2754p, um microcomputador e uma antena omnidirecional D130. O analisador é conectado à antena via cabo coaxial, e envia, via barramento GPIB, os resultados da análise ao computador. A figura 4.2 mostra os equipamentos de monitoramento instalados no CRS, em Maio de 2012.

O analisador de espectro Tektronix 2754P trabalha numa faixa de frequências que vai de 10 kHz até 21 GHz, com uma precisão de 5%. Sua resolução é de banda de 1 kHz até 3 MHz. O barramento GPIB utilizado é do padrão IEEE 488.2



Figura 4.2 – Equipamentos instalados no CRS, em Maio de 2012.

A interface lógica de aquisição de dados e monitoramento foi instalada em um computador, com processador Pentium II(1997), tendo em vista as conexões GPIB necessárias. O software utilizado para realizar o monitoramento é o Quimera, desenvolvido por ROSA (2009).

A antena omnidirecional foi instalada em São Martinho da Serra, próximo ao prédio seis. Inicialmente, operou-se o sistema remotamente, dispensando a necessidade

de visitas semanais ao OES. Entretanto, para manter a integridade do sistema e realizar alguns testes quando necessário, os bolsistas anteriores realizaram visitas periódicas ao laboratório em que foi instalado o conjunto de monitoramento.

#### 4.3– Protótipo de Rádio Interferômetro

O radio interferômetro tem como finalidade obter uma representação digitalizada da energia no domínio do tempo, isso dentro de uma frequência de banda desejada. Esta seção descreve o protótipo de rádio interferômetro desenvolvido por ROSA (2009) e é composto por: Uma antena ativa; Um receptor analógico e um correlacionador digital.

A estrutura básica de um rádio interferômetro é composta na Figura 4.3.

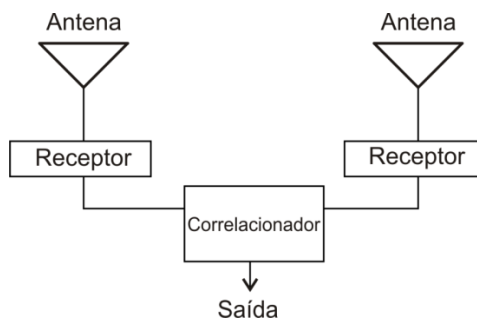


Figura 4.3 – Diagrama da estrutura básica do interferométrico.

##### 4.3.1– Antena Ativa

A antena ativa é composta por uma estrutura de PVC, dois fios de cobre formando uma estrutura disposta em forma de um V invertido, presa ao chão, e um mastro de PVC. Localiza-se no ponto mais alto do dipolo uma estrutura, que aloja o circuito ativo da antena. A estrutura da antena é representada no diagrama da Figura 4.5, um dipolo-V invertido filamentar para frequências inferiores a 100 MHz.

Esse tipo de antena é favorável por apresentar um baixíssimo custo de desenvolvimento e pouca manutenção. A faixa de operação dessa antena se estende de 10 MHz até 80 MHz. Na Figura 4.4, temos um diagrama de representação da antena ativa.



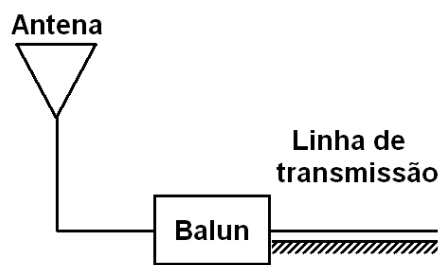


Figura 4.4 – Diagrama de representação da antena ativa.

Fonte: ROSA (2009)

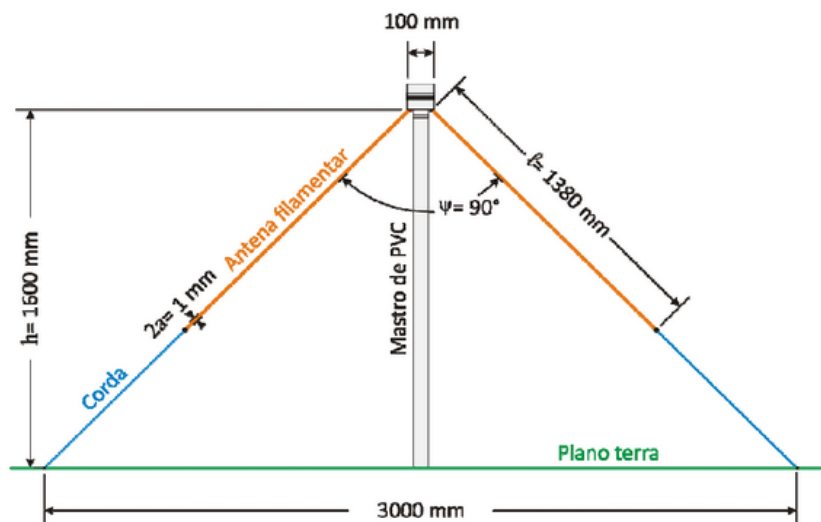


Figura 4.5 – Diagrama de representação da antena proposta por CAPPELLEN (2007) e desenvolvida por ROSA (2009).

Fonte: ROSA (2009).

#### 4.3.2– Receptor

O receptor proposto opera na faixa de 20 – 80 MHz. É um receptor de rádio frequência de baixo custo, baseado na topologia de um receptor super-regenerativo. Mas esse tipo de receptor apresenta alguns problemas como, a operação com estabilidade em banda larga e a grande variação de impedância de entrada do receptor (ROSA, 2009). Para contornar esses problemas o receptor proposto é composto por um Bias Tee, uma rede de casamento de impedância para a faixa de 20-80 MHz, um receptor de rádio frequência super-regenerativo e um amplificador de áudio.

O receptor tem como função captar, filtrar e demodular o sinal de rádio frequência existente no espaço. Para demodular um sinal é preciso detectar informações presentes

neste sinal. E o sinal de rádio captado geralmente é de fraca intensidade, então se precisa amplificá-lo para poder eliminar todos os sinais indesejáveis.

A figura 4.6 demonstra a topologia básica do receptor.

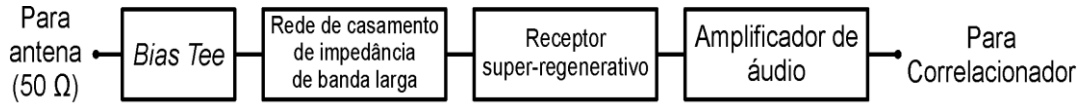


Figura 4.6 – Diagrama da topologia básica do receptor proposto.

Fonte: ROSA (2009)

#### 4.3.3– Correlacionador Digital

O correlacionador permite combinar sinais de várias antes de um interferômetro. O correlacionador digital desenvolvido segue a mesma linha encontrada no LOFAR. Ele possui uma topologia FX, onde X simboliza a correlação e F a transformada de Fourier. Esta topologia também foi escolhida porque quando o numero de entradas aumenta, ela apresenta maiores vantagens, por exemplo, o rádio telescópio ALMA tem cerca de 64 antenas, e é a opção mais viável para rádio telescópios de grande porte.

O software desenvolvido de correlação está na linguagem de programação C#, visa ser multiplataforma e aparentemente através de análises feita pelo bolsista ele opera normalmente. Na Figura 4.7, é apresentada a tela principal de aquisição do Correlacionador desenvolvido.

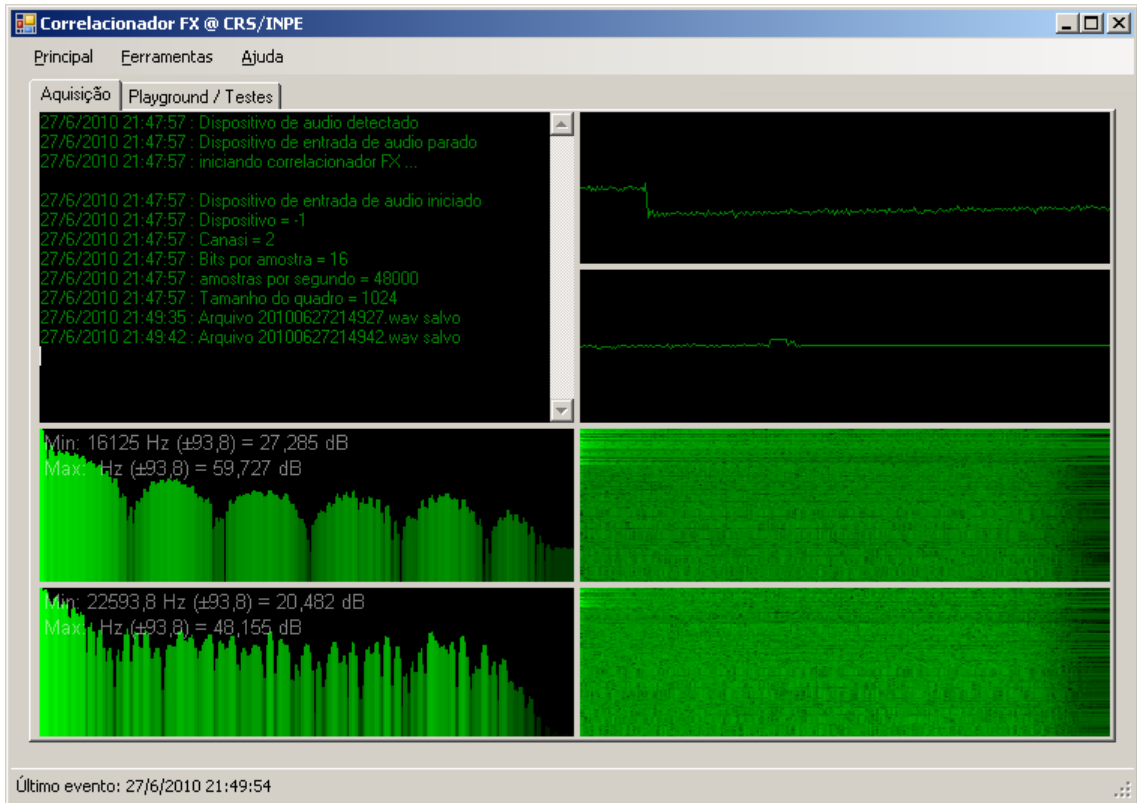


Figura 4.7 – Imagem da tela do *software* de correlação.

Fonte: ROSA (2009)



## **CAPÍTULO 5**

### **ESTADO ATUAL DO PROJETO**

#### **5.1– Reinstalando o rádio interferômetro**

Atualmente, o objetivo principal é a reinstalação o interferômetro no OES, tendo em vista que o conjunto de antenas foi danificado por problemas climáticos na região e teve que ser retirado do local. O circuito de uma das antenas foi completamente danificado e foi necessário a construção de outro similar. O circuito receptor do sistema apresentou oxidação em diversos pontos e falhas de contato entre os componentes. O bolsista anterior, Leonardo Zavareze da Costa, desenvolveu um novo projeto de circuito para o receptor, com algumas alterações em relação ao desenvolvido por (ROSA,2009). A placa para o novo receptor está sendo produzida nos laboratórios do Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica NUPEDEE-CT/UFSM e seus componentes serão fixados nos laboratórios do CRS.

#### **5.2– Justificativa**

O objetivo desta manutenção é otimizar o funcionamento do conjunto para a) retornar às atividades de monitoramento com todos os equipamentos funcionando corretamente e b) conseguir aproveitar o máximo do sistema, realizando a coleta de dados da melhor maneira possível.



## CAPÍTULO 6

### ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA VIGÊNCIA DA BOLSA

O bolsista começou a atuar no projeto LOFAR em Março de 2013. Neste período, ele fez uma revisão bibliográfica em artigos, dissertações e teses sobre radioastronomia, emissões de radiação e temas referentes ao Projeto.

Atualmente, o bolsista está estudando o correlacionador feito por ROSA(2009), para o Projeto. Foram feitas análises visando verificar a existência de problemas no programa de correlação *SoundCatcher* mas, aparentemente, o programa está funcionando normalmente. Alguns colegas e bolsistas anteriores, como Guilherme Simon da Rosa, auxiliaram o bolsista na compreensão e estudo dos programas desenvolvidos.

A plataforma para execução do software do correlacionador é o Microsoft Visual C# 2008 Express Edition, e foi utilizado em um computador com sistema operacional *Windows XP*.

O correlacionador gera dados para uma pasta “Temp” a cada mili segundo. A pasta Temp está, atualmente, no Desktop do computador do Projeto. Este computador é equipado com um processador de 2.8 GHz, 2GB de memória RAM e 250 HD.



## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÃO**

No período de **Março 2013** até **Julho 2013**, as atividades foram realizadas pelo aluno **Andreas Vestena Bilibio** do Curso de Física Licenciatura Plena da UFSM. Estas atividades são apresentadas no Relatório de Atividades do Projeto: **SISTEMA LOFAR – NÍVEL DE RÁDIO INTERFERÊNCIA NO OBSERVATÓRIO ESPACIAL DO SUL EM SÃO MARTINHO DA SERRA NA FAIXA DE 10-240 MHZ.**

Este período foi de grande revisão bibliográfica, que ajudou o aluno a compreender mais do assunto estudado e o interessou pela pesquisa, além de auxiliar nos períodos com aula, visto que alguns assuntos envolvidos neste projeto são envolvidos em aula, no curso de Física Licenciatura Plena da Universidade Federal de Santa Maria.

O Projeto de Pesquisa também permitiu que o aluno tivesse acesso aos meios de informação e a uma estrutura que fornecia contato quase diário com vários outros alunos, professores e doutores em diferentes áreas do conhecimento, que auxiliaram o aluno no trabalho e em escolhas acadêmicas. Foi possível o contato com muitos profissionais de outras áreas e instituições, permitindo uma importante troca de experiências e de ideias, que proporcionou grande crescimento profissional e pessoal.

Auxiliou também para o aluno desenvolver diversas habilidades, principalmente as que são voltadas à pesquisa, desenvolvimento de trabalhos, organização pessoal e em trabalhos em grupo.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANDREOLLA, Tina. RADIOASTRONOMIA: FERRAMENTA DE OBSERVAÇÃO DO UNIVERSO, 2010.

CAPPELLEN, W. A.; RUITER, M.; KANT G. W. (2007) Low Band Antenna: Architectural Design Document, ASTRON, LOFAR Project, Doc.id: LOFAR-ASTRON-ADD-009, ver.2.1.

ELLINGSON, S.W. Aug. 2005. 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,

PARAVASTU, N (ASEE/NRL); HICKS. B; RAY, P (NRL); ERICKSON, W (UMD). A new Candidate Active Antenna Design for the Long Wavelength Array. 2 de Maio, 2007.

ROSA, G. S., Dez. 2010. Relatório de Estágio Supervisionado, Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria, Dept. Eng. Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil, Relatório Técnico de Estágio de Graduação.

ROSA, G. S. Jul. 2010c. Desenvolvimento de Antenas, Receptores, Correlacionadores e Sistema de Aquisição de Dados para o Interferômetro (20 – 80 MHz) de Baixo Custo – Rádio interferência, Dept. Engenharia Elétrica, UFSM. Monografia de Graduação, Jul. 2010.