



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Caracterização do Correlacionador de Sinais do Interferômetro Rádio BDA

Matheus de Carvalho Abelha

Relatório de Iniciação Científica do programa PIBIC,
orientada pelo Dr. José Roberto Cecatto, período Maio-
Agosto de 2022.

INPE
São José dos Campos
2022



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Caracterização do Correlacionador de Sinais do Interferômetro Rádio Brazilian Decimetric Array

Matheus de Carvalho Abelha

Relatório de Iniciação Científica do programa PIBIC,
orientada pelo Dr. José Roberto Cecatto, período Maio-
Agosto de 2022.

INPE
São José dos Campos
2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao INPE pela oportunidade e cooperação. Ao CNPq pelo financiamento com a bolsa de Iniciação Científica.

Agradeço ao professor Dr. José Roberto Cecatto pela orientação, paciência e ensinamentos que me permitiram compreender melhor a importância da Radioastronomia para ciência. Também aos colegas da Divisão de Astrofísica pelo auxílio, acolhimento e experiências trocadas nesse período de trabalho conjunto, em especial ao Dr. Cesar Strauss, ao técnico Khristhiano L. R. Souza e ao engenheiro Telmo C. Machado.

RESUMO

Interferômetros rádio são instrumentos extensos e complexos, compostos por diversos subsistemas integrados, cada um com sua função específica, operando em sincronismo para garantir seu funcionamento adequado. Tratam-se de conjuntos de antenas dispostas em uma configuração selecionada - conhecidos por arranjos - as quais são apontadas para, e registram o sinal de, uma fonte celeste emissora de rádio. O sinal registrado de todas as antenas passa pelo subsistema receptor e, em seguida, é inserido no subsistema correlacionador no qual é transformado nos dados interferométricos da fonte rádio observada. O devido entendimento sobre o funcionamento do correlacionador de sinais deve ser obtido conhecendo-se em detalhes cada parte de seu hardware constituinte, suas respectivas funções e os resultados de testes operacionais. Em complemento, seu software de controle deve ter requisitos devidamente estabelecidos, ser testado e validado. Apresentamos alguns procedimentos referentes à caracterização do hardware do subsistema correlacionador de sinais do interferômetro Brazilian Decimetric Array (BDA), além de suas principais características e resultados de alguns de seus testes operacionais.

Palavras-chave: Radioastronomia. Interferometria. Correlacionador. Radioastronomy. Interferometry. Correlator.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquemático da configuração do arranjo de antenas do BDA	7
Figura 2. Vista aérea de satélite da configuração do arranjo de antenas do BDA (no canto superior direito é possível observar o prédio de controle)	7
Figura 3. Imagem do FPGA utilizado no correlacionador do BDA	8
Figura 4. Imagem do “hardware” do correlacionador do BDA, com a caixa aberta, em teste de bancada.....	8
Figura 5. Imagem da tabela de parâmetros A, M e R para faixa de frequência de 1205 a 1705 MHz com passo de 5 MHz.....	12
Figura 6. Software em MATLAB para cálculo dos parâmetros A, M e R	12

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDA - Brazilian Decimetric Array
CME - *Coronal Mass Ejections*
FITS - *Flexible Image Transport System*
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SAB - Sociedade Astronômica Brasileira
VLBI - *Very Long Baseline Interferometry*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Justificativa e Motivação	2
1.4. Organização do Trabalho	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 Radioastronomia	4
2.2 Princípios Físicos de Radioastronomia	5
2.3 Interferometria Rádio	5
2.4 Brazilian Decimetric Array	6
3 METODOLOGIA	9
3.1 Estudos e Métodos Iniciais	9
3.2 Programação do correlacionador e testes de bancada	10
3.3 Desenvolvimento do Software de Cálculo das Sínteses de Frequência	10
4. RESULTADOS	13
4.1 Resposta do Correlacionador	13
4.2 Síntese de Frequência	13
4.3 Atividades desenvolvidas até o presente e resultados relevantes	13
5. CONCLUSÕES	14
6. REFERÊNCIAS	15

1 INTRODUÇÃO

A Radioastronomia é uma ciência vertente da Astronomia que estuda os objetos celestes pelo registro e análise das ondas eletromagnéticas, na faixa de rádio, que esses corpos emitem. Fazendo uso dela, cientistas podem visualizar detalhes invisíveis desses objetos no espectro do visível, como, por exemplo, sinais de rádio provenientes de nebulosas e quasares, a presença de partículas energizadas ou mesmo buracos negros.

Conseguir estudar esses fenômenos permite à ciência ter um melhor entendimento não somente do funcionamento do Universo, sua formação e desenvolvimento, mas também da origem do próprio Sistema Solar e a vida na Terra. Além do estudo de objetos celestes de céu profundo, a radioastronomia também se faz útil em análises de fenômenos terrestres (SCHUH et al, 2012), como a rotação terrestre, abalos sísmicos e outros; e observações de atividade solar (SAWANT et al, 2000), como ejeções de massa coronal, que afetam os satélites e astronautas em órbita terrestre (OLIVEIRA & ZESTA, 2019).

Para que esse estudo seja possível, as antenas, chamadas de radiotelescópios, são os instrumentos ou detectores responsáveis pela captação desses sinais de rádio. De forma geral, para uma dada frequência de operação, a resolução angular, ou seja o detalhamento da imagem gerada por esses equipamentos, está diretamente ligada ao comprimento de onda e inversamente ao diâmetro do paraboloide (VIOLIN et al, 2010). Dessa forma, seriam necessárias antenas com dimensões impraticáveis para se conseguir resoluções próximas de um telescópio óptico ou quando se tem fontes fracas. Com isso, tem-se o uso da técnica de interferometria aplicada à radioastronomia, de forma que duas ou mais antenas em conjunto, ligadas em pares, são capazes de realizar observações e seus sinais são amplificados e combinados através de um correlacionador, tornando possível obter-se imagens com resolução e sensibilidade muito melhores dos objetos celestes.

No Brasil, esse tipo técnica é utilizada no projeto Brazilian Decimetric Array (BDA), que é um radiotelescópio composto por um conjunto de 26 antenas, que foi projetado e construído pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e está localizado em Cachoeira Paulista no estado de São Paulo, com objetivo principal de se realizar observações de atividades solares (SAWANT et al, 2000). Assim, o objeto de estudo deste trabalho é o BDA,

mas a descrição, interpretação dos resultados e análises feitas, não se restringem a compreender o sistema do rádio interferômetro, mas de sintetizar a análise das aplicações e potencialidades de seus subsistemas, mais especificamente dentro desse escopo, objetiva-se caracterizar o correlacionador do BDA.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo principal a caracterização, o desenvolvimento e a operação do correlacionador para o radiotelescópio Brazilian Decimetric Array

1.2 Objetivos Específicos

- I. Desenvolver o software de funcionamento e interface do correlacionador;
- II. Testar o correlacionador com sinal artificial através de gerador de sinais;
- III. Integrar o correlacionador com os sinais recebidos das antenas;
- IV. Correlacionar os sinais recebidos e gerar arquivos de imagens no formato FITS;

1.3 Justificativa e Motivação

Esse tema de pesquisa se mostra relevante principalmente para o desenvolvimento da tecnologia brasileira de um correlacionador para interferometria, que poderá ser utilizado em outros radiotelescópios brasileiros no futuro. Com esse conhecimento, será possível colocar em operação o BDA e, assim, contribuir para o funcionamento de um sistema de observação, estudo e alerta de atividades solares como “*Coronal Mass Ejections (CME)*” e “*Solar Flares*”, que são prejudiciais ao funcionamento de dispositivos espaciais e aos astronautas, também causando tempestades geomagnéticas na Terra e apagões de rádio e energia.

Além das aplicações práticas citadas, o correlacionador permite o uso da técnica de interferometria para o estudo mais detalhado de corpos e fenômenos celestes, que conduz a um entendimento melhor e mais claro do Universo, da própria formação da Terra e do surgimento da vida.

Mais adiante e fora do escopo deste estudo, pode ser citado que a interferometria, no caso específico chamado de “*Very Long Baseline Interferometry*” (VLBI), pode ser utilizada para estudos de fenômenos terrestres como rotação planetária, duração dos dias, deformações de

massa, abalos sísmicos, derretimento das camadas polares, medição do nível dos oceanos e até mesmo planejamento urbano, consequente de estudos de sismos.

A motivação para esse estudo se dá em diversos aspectos, mas principalmente a caráter pessoal. A intenção inicial foi adquirir um tema de pesquisa capaz de conciliar Astronomia, que sempre foi uma área de interesse pessoal, com a Engenharia Aeroespacial, que será minha formação acadêmica, mas que ao mesmo tempo não fosse limitado a somente uma iniciação científica e pudesse ser dada uma continuidade em uma dissertação de mestrado.

Tendo essas condições em mente, o tema foi definido também pensando em como poderia ser relevante para o desenvolvimento de pesquisa e tecnologia da área no Brasil, sendo uma linha de pesquisa promissora não somente no país, mas no mundo todo. E com isso, surge concomitantemente a possibilidade de aproximar a Universidade Federal de Minas Gerais dos institutos de pesquisa ligados ao estudo do espaço.

1.4. Organização do Trabalho

Este relatório está organizado em cinco tópicos principais, Introdução, Fundamentação Teórica, Metodologia, Resultados e Conclusão.

A Introdução apresenta brevemente o que é Radioastronomia, as motivações e justificativas para se estudar essa ciência atualmente, com algum resumo da revisão bibliográfica.

Na Fundamentação Teórica, será feita uma breve revisão de alguns tópicos relevantes ao projeto e apresentados diversos conceitos utilizados ao longo do trabalho, dentre eles: uma breve história de como surgiu a Radioastronomia; o princípio e fundamento básico de utilização de ondas de rádio para observação; o princípio de funcionamento de um radiotelescópio; princípio de funcionamento de um rádio interferômetro; fundamentos de operação de um correlacionador; apresentação do projeto Brazilian Decimetric Array;

Na Metodologia, serão apresentados procedimentos, testes e atividades realizadas ao longo do desenvolvimento da pesquisa teste, como revisão de diversas referências bibliográficas e

manuais de referência e funcionamento dos dispositivos eletrônicos presentes no projeto, e também da linguagem de programação em FPGA, assim como os testes de comunicação e desenvolvimento de software e hardware.

Nos resultados, pretende-se apresentar alguns dos desenvolvimentos alcançados com o projeto durante o tempo de participação, bem como caracterizar alguns dos processos feitos para se atingir os resultados.

Já na conclusão pretende-se apresentar até que ponto foi possível chegar com a caracterização, que será limitada pelo tempo de desenvolvimento desse relatório e atrelada ao cronograma apresentado nesse documento, assim como a funcionalidade e operabilidade do BDA e seu potencial de produção de conhecimento científico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Radioastronomia

A Radioastronomia teve sua origem por volta de 1931 com Karl G. Jansky, quando foi designado para estudar frequências de interferência em rádio provenientes de tempestades. Isso para auxiliar Alexander Graham Bell a desenvolver uma antena que fosse capaz de minimizar a estática, termo utilizado por engenheiros para se referir à ruídos gerados por radiofrequências não moduladas, no momento quando radiava sinais de radiotelefonia pelo oceano (VALLEY, 1998). Com o experimento, ele foi capaz de identificar a estática decorrente das tempestades, mas foi incapaz de identificar a procedência das outras fontes de ruído. Inicialmente, ele imaginou que a origem desse ruído seria o Sol, mas essa estática era observada quatro minutos mais cedo a cada dia que se passava, o que poderia ser explicado pela diferença entre “dias solares” e “dias siderais”, que ocasionam uma diferença de aproximadamente quatro minutos na duração do dia, e são compensados no calendário com a implementação dos anos bissextos.

Em 1937, Grote Reber deu continuidade às descobertas de Jansky, construindo um protótipo do rádio telescópio moderno no seu quintal. Após pouco sucesso na tentativa de observar radiação em comprimentos de onda menores, pois acreditava que seriam mais fortes e fáceis

de detectar, Reber modificou a antena para observar radiações no comprimento de 1,87 metros, e então captou fortes emissões ao longo do plano da Via Láctea. Em 1944 ele publicou os primeiros mapas estelares em rádio frequências e, até o final da Segunda Guerra Mundial, foi o único rádio astrônomo no mundo (VALLEY, 1998).

2.2 Princípios Físicos de Radioastronomia

De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, ou Radiação de Corpo Negro, todo corpo no universo que está a uma temperatura acima do zero absoluto emite radiação (KRAUS et al, 1966). Então, utilizar rádio telescópios para observações astronômicas apresenta a vantagem da possibilidade de observar objetos em céu profundo e/ou que possuem baixa potência de emissão de radiação. Radiotelescópios são compostos, em sua maioria, de um prato refletor em formato parabólico que refletem as ondas captadas para um foco central, onde se localiza um receptor que recebe e amplifica uma banda de frequência desse sinal para que ele seja forte o suficiente para ser medido e analisado. Como a energia das emissões em rádio que chegam não Terra é baixa, os radiotelescópios necessitam de pratos, ou “áreas coletoras” maiores para que possam ser capazes de detectar essas emissões. Com isso, tem-se a limitação física da construção de radiotelescópios capazes de observar fontes de emissão muito fracas, já que seriam necessárias dimensões do prato estruturalmente inviáveis.

Como uma maneira de contornar esse problema dimensional, utiliza-se a técnica de interferometria, na qual são utilizados conjuntos de vários detectores relativamente pequenos, operando simultaneamente, para permitir a construção de imagens de alta resolução espacial de um objeto celeste de interesse científico, podendo ser uma estrela, um planeta, uma galáxia ou outro objeto qualquer no espaço. Os interferômetros podem operar nas bandas do óptico, infravermelho e rádio, esse último sendo o estudado nesta pesquisa, trata-se de um instrumento extenso e complexo, composto por diversos elementos e subsistemas integrados funcionando em sincronismo.

2.3 Interferometria Rádio

A interferometria se caracteriza pelo desenvolvimento de uma metodologia que supere a problemática da resolução espacial, na interferometria rádio, o arranjo do radiotelescópio se constitui no conjunto das antenas, dispostas em uma determinada configuração geométrica,

para a captação da radiação eletromagnética da fonte de rádio nas frequências espaciais de interesse e sua conversão em sinal de voltagem. Obtida pelo ajuste do atraso das fases da onda de rádio incidindo sobre as antenas, em relação à uma antena de referência, a coerência de fase dos sinais de todas as antenas é o que garante o funcionamento do instrumento como um interferômetro. Isso deve ser obtido tanto pelo ajuste dos atrasos geométricos, gerados pelas diferenças de propagação do sinal entre a fonte emissora e cada uma das antenas, quanto pela fase dos sinais de cada antena, passando por toda a cadeia de componentes eletrônicos e cabeamento do respectivo receptor, chamado de atraso instrumental, até a entrada do subsistema correlacionador de sinais (PERLEY et al, 1989).

Na técnica de interferometria, são utilizados correlacionadores, normalmente um por rádio interferômetro. Esses dispositivos podem ser vistos, de maneira simplificada, como um multiplicador e integrador de sinais provenientes de cada par de antenas. Na prática, a componente real de cada antena é inserida no correlacionador, o qual gera a respectiva componente imaginária. Desta forma, obtém-se o sinal complexo de cada antena, o qual é multiplicado pelo sinal complexo de todas as outras antenas e, em seguida, integrados para a geração dos sinais de todos os pares formados com aquela antena. O mesmo procedimento é efetuado para todas as outras antenas do arranjo, excluindo-se os pares que se repetem. O sinal complexo é necessário para permitir a obtenção das informações tanto de amplitude quanto de fase de cada par de antenas, ou cada linha de base, do interferômetro. Todos os sinais, assim gerados na saída do correlacionador, correspondem aos dados interferométricos de todas as frequências espaciais registradas da fonte rádio observada (PERLEY et al, 1998).

2.4 Brazilian Decimetric Array

O rádio interferômetro estudado nesse trabalho é denominado Brazilian Decimetric Array (BDA), está localizado na cidade de Cachoeira Paulista, no estado de São Paulo, e é composto por um conjunto de 26 antenas parabólicas de 4 m de diâmetro, em malha, com uma área efetiva de 7,5 m². O arranjo de antenas tem uma configuração em forma de “T”, como pode ser visto no esquemático da Figura 1 e na vista aérea da Figura 2, com linhas de base de 256 metros na direção Leste-Oeste e 162 metros na direção Sul. O BDA será capaz de realizar observações em frequências entre 1200 MHz e 1700 MHz (SAWANT et al, 2000).

Figura 1. Esquemático da configuração do arranjo de antenas do BDA

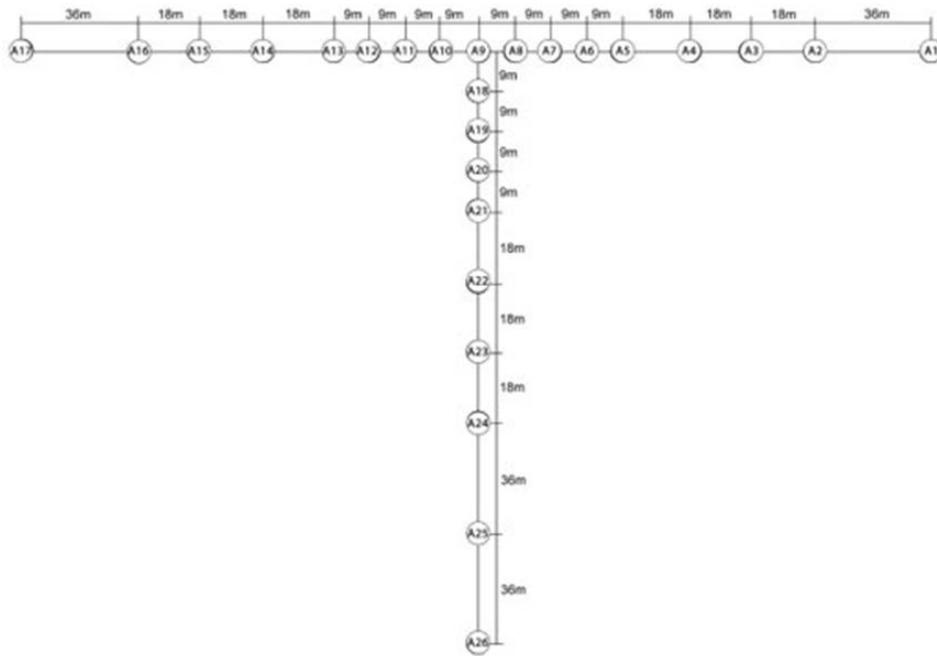
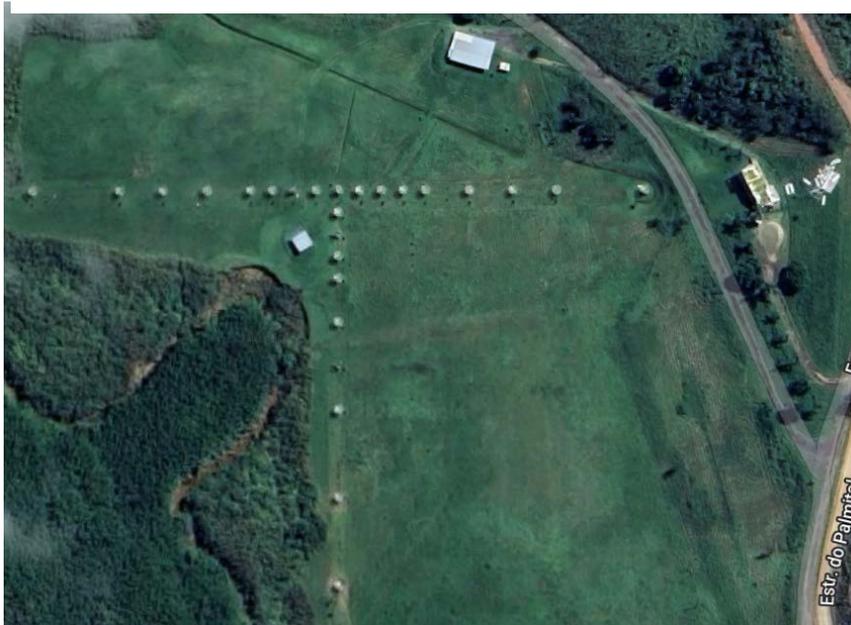


Figura 2. Vista aérea de satélite da configuração do arranjo de antenas do BDA (no canto superior direito é possível observar o prédio de controle)

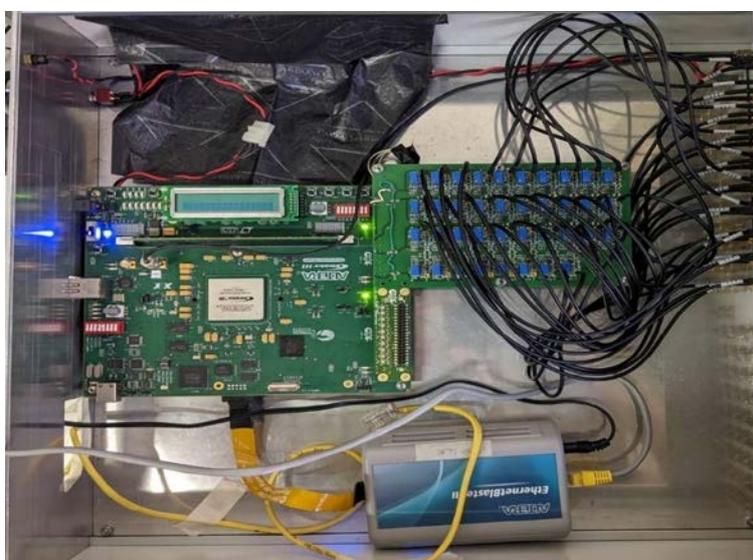


No caso do BDA, o correlacionador utilizado no projeto utiliza um microcontrolador do tipo FPGA, do modelo Altera Stratix III, como é visto na Figura 3, e está sendo programado em linguagem Verilog. Em 2015 a empresa Altera foi adquirida pela Intel, e desde então os softwares programadores das FPGAs dessa família são desenvolvidos e atualizados por esta companhia. Durante a escrita dessa trabalho, o BDA ainda se encontra em fase de desenvolvimento e é possível ver uma imagem do correlacionador em teste de bancada na Figura 4.

Figura 3. Imagem do FPGA utilizado no correlacionador do BDA



Figura 4. Imagem do “hardware” do correlacionador do BDA, com a caixa aberta, em teste de bancada.



3 METODOLOGIA

3.1 Estudos e Métodos Iniciais

Por ser um trabalho focado na caracterização de um equipamento eletrônico já em desenvolvimento, o início do processo se deu focado no estudo e revisão literária de diversas referências bibliográficas.

De início, foi fundamental que diversos conceitos e informações fossem estudadas a respeito de Astronomia, Radioastronomia e interferometria rádio, através da leitura de referências como “*Radio Astronomy*” de Kraus (1982), “*Synthesis Imaging in Radio Astronomy II*” de Taylor et al (1999) “*Basics of Radioastronomy for the Goldstone-Apple Valley Radio Telescope*” de Miller (1998)

Também foi necessária a revisão e aprendizado de conceitos mais aprofundados em eletrônica e em correlacionadores de sinais, assim como dos manuais de funcionamento e operação do microcontrolador Altera Stratix III e demais componentes, sendo a referência mais relevante para esse processo o artigo “*The 1024 channel digital correlator receiver of the Gauribidanur radioheliograph*” de Ramesh et al (2005). Com isso, foram realizados testes iniciais de operação e comunicação com a interface gráfica Quartus II, na qual foi programada, com sucesso e através de diagramas do próprio software, um contador 8 bits utilizando os LEDs do correlacionador. A programação do correlacionador está sendo realizada através da porta de Ethernet, pelo uso do dispositivo Ethernet Blaster II, também da Altera.

Para a sequência do desenvolvimento do correlacionador, foi necessário também o estudo de linguagens de programação em FPGA, que no caso foi Verilog, assim como os manuais de operação do Altera Stratix III a fim de utilizar tutoriais de programação e a pinagem correta para comunicação. O software utilizado para visualização dos sinais gerados pelas simulações de código foi o GTKWave.

3.2 Programação do correlacionador e testes de bancada

A primeira programação utilizando Verilog foi também um contador de 4 e 8 bits nos LEDs do correlacionador, obtendo-se os mesmos resultados de quando foi realizada pelos diagramas. Alterando-se parâmetros específicos para estudo da resposta do correlacionador e comportamento dos LEDs, foram realizados diversos testes de programação, aumentando gradativamente a complexidade dos códigos com intuito de alcançar o primeiro módulo de correlação de fato.

As duas programações mais significativas feitas foram a comunicação serial realizada entre o computador e o correlacionador, e o desenvolvimento em Verilog da célula correlacionadora de um par de antenas, que será o mesmo modelo para os demais pares.

Todo esse processo se deu a partir dos trabalhos em laboratório na divisão de Astrofísica, sendo necessárias viagens semanais à São José dos Campos e também à Cachoeira Paulista para as manutenções e desenvolvimento *in situ* do BDA.

Foi também desenvolvido um software para cálculo das sínteses de frequências que serão programadas nas antenas para observação, e os resultados desse desenvolvimento serão apresentados na quadragésima quinta reunião da Sociedade Astronômica Brasileira (XLV SAB).

Também foi necessário, e realizado, a manutenção do sistema de rastreamento de pelo menos duas antenas, sendo apresentado um curto vídeo no SICINPE do seu funcionamento.

3.3 Desenvolvimento do Software de Cálculo das Sínteses de Frequência

Durante a realização das atividades, devido a necessidade e redução de custos, foi desenvolvido um equipamento controlador utilizando Arduino para as sínteses de frequência nas antenas. Para programar uma determinada frequência de observação, é necessário calcular três parâmetros principais A, M e R e enviá-los em forma de bits para esse equipamento.

Foi também desenvolvido um software em MATLAB para o cálculo desses parâmetros, Figura 6, e foi gerada uma planilha com os parâmetros A, M e R para frequências de observação entre 1205 MHz a 1705 MHz com passo de 5 MHz, Figura 5.

Figura 5. Imagem da tabela de parâmetros A, M e R para faixa de frequência de 1205 a 1705 MHz com passo de 5 MHz

Frequência de saída (MHz)	Frequência de Observação (MHz)	Freq.Saída x2 (MHz)	Parâmetros			Observação
			A	M	R = 1	
2040	1205	4080	8	39		Como existem vários conjuntos de parâmetros A, M, R que são solução para cada frequência, nessa tabela são apresentados somente a primeira solução para determinada frequência.
2045	1210	4090	9	39		
2050	1215	4100	0	40		
2055	1220	4110	1	40		
2060	1225	4120	2	40		
2065	1230	4130	3	40		
2070	1235	4140	4	40		
2075	1240	4150	5	40		
2080	1245	4160	6	40		
2085	1250	4170	7	40		
2090	1255	4180	8	40		
2095	1260	4190	9	40		
2100	1265	4200	0	41		
2105	1270	4210	1	41		
2110	1275	4220	2	41		
2115	1280	4230	3	41		
2120	1285	4240	4	41		
2125	1290	4250	5	41		
2130	1295	4260	6	41		
2135	1300	4270	7	41		
2140	1305	4280	8	41		
2145	1310	4290	9	41		
2150	1315	4300	0	42		

Figura 6. Software em MATLAB para cálculo dos parâmetros A, M e R

```

%% CALCULO DE PARÂMETROS M, R, A PARA FREQUÊNCIAS ENTRE 1205MHz e 1705MHz
% Fin = frequência de operação (2040MHz a 2540MHz)
% f = frequência desejada (1205 MHz a 1705 MHz)
% Foi utilizado o datasheet do Peregrine PE3336 como referência

%frequência de 10 MHz
fr = 10;

%índice do conjunto de soluções do problema. Por exemplo, x = 1 apresenta
%o primeiro conjunto A, M, R que são solução da equação
x = 1;

%índices de apoio
i = 1;
n = 1;

%Variando as frequências entre 1205MHz e 1705MHz de 5 em 5 MHz
for f = 1205:5:1705
    Fin = f-70+905; %frequência de entrada na equação (frequência de operação)
    for m = 1:1:511 %intervalo baseado em PE3336
        for a = 0:1:9 %intervalo baseado em PE3336
            for r = 1:1:63 %intervalo baseado em PE3336
                F = (10*(m+1)+a)*(fr/(r+1));
                if F==Fin
                    A(i)=a;
                    M(i)=m;
                    R(i)=r;
                    i=i+1;
                end
            end
        end
    end
end

```

4. RESULTADOS

4.1 Resposta do Correlacionador

Foi possível realizar todas as programações com sucesso, e demais testes de bancada, principalmente a correlação de dois sinais simulados em linguagem de Python e correlacionados com a linguagem de Verilog, e a comunicação serial com o computador.

4.2 Síntese de Frequência

Foi criado o software em MATLAB para o cálculo dos parâmetros A, M e R, e desenvolvido um equipamento de baixo custo com Arduino para programação e controle da frequência de observação nas antenas.

4.3 Atividades desenvolvidas até o presente e resultados relevantes

A Tabela 1 traz uma relação de trabalhos que apresentaram alguns resultados do projeto ou de produtos que adviriam no projeto e serão apresentados na XLV SAB (45ª Reunião da Sociedade Astronômica Brasileira), no final do mês de setembro.

Tabela 1: Lista de trabalhos relacionados ao projeto aprovados para apresentação na Reunião Anual da SAB

“Projeto de Correlacionador para o Interferômetro BDA”	Aprovado
“Desenvolvimento de automatização da síntese de frequência do Brazilian Decimetric Array (BDA)”	Aprovado
“Análise de configurações do arranjo do interferômetro Brazilian Decimetric Array (BDA)”	Aprovado

Fonte: Autor (2022)

5. CONCLUSÕES

Apesar da bolsa de iniciação ter um período relativamente curto, se iniciando no mês de maio de 2022, foram apresentados diversos resultados significativos para o desenvolvimento do restante do projeto BDA. Os próximos passos serão a conexão do correlacionador na sala de comando em Cachoeira Paulista e realização dos testes com os sinais enviados por um gerador de sinais e posteriormente advindos das antenas. Com esses dados correlacionados, gerar um arquivo FITS com os dados interferométricos observados, no padrão internacional FITS-IDI.

Ressalta-se a relevância do projeto, para a autonomia científica e tecnológica do INPE e do Brasil, e ainda, é importante lembrar que o esforço empregado para o aprendizado dos materiais e métodos definitivos para as técnicas necessárias para o projeto, fizeram valer o fruto do aprendizado, que é o princípio fundamental do programa de bolsas de iniciação científica do CNPq. Assim, reitera-se o desejo de que o projeto continue a ser valorizado pelo INPE, no sentido de poder dar suporte, técnico, científico e de divulgação científica, não só ao produto final, que é o BDA operante, mas do esforço e trabalho de todos que se envolveram com as diferentes fases do projeto.

6. REFERÊNCIAS

KRAUS, John D. **Radio astronomy**. New York: McGraw-Hill, 1966.

MILLER, Diane Fisher. Basics of Radio Astronomy for the Goldstone-Apple Valley Radio Telescope. **Jet Propulsion Laboratory, NASA**, 1998.

OLIVEIRA, Denny M.; ZESTA, Eftyhia. Satellite orbital drag during magnetic storms. **Space Weather**, v. **17**, n. **11**, p. 1510-1533, 2019.

PERLEY, Richard A.; SCHWAB, Frederic R.; BRIDLE, Alan H. **Synthesis imaging in radio astronomy: a collection of lectures from the third NRAO synthesis imaging summer school**, 1989.

SAWANT, H. S. et al. Brazilian decimetric array. **Advances in Space Research**, v. 25, n. 9, p. 1809-1812, 2000.

SCHUH, Harald; BEHREND, Dirk. VLBI: A fascinating technique for geodesy and astrometry. **Journal of geodynamics**, v. 61, p. 68-80, 2012.

TAYLOR, G.B et al. Synthesis Imaging in Radio Astronomy II. **ASP Conference Series. Vol. 180**, 1999.

VALLEY, Goldstone-Apple; TELESCOPE, Radio. **Basics of Radio Astronomy**. 1998.

VIOLIN, Renato de O.; SAITO, José Hiroki; SAWANT, Hanumant Shankar. A Quantum Circuit for the Brazilian Decimetric Array (BDA) Signal Correlation. In: 2010 **11th Symposium on Computing Systems. IEEE**, 2010. p. 136-143.