



**Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Curso de Engenharia Eletrônica**

**Implementação de um sistema de recepção MIMO  
parametrizável e reconfigurável utilizando múltiplos  
algoritmos FIR adaptativos**

**Autor: Ítalo Alberto do Nascimento Sousa  
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Aguayo**

**Brasília, DF  
2015**



**Ítalo Alberto do Nascimento Sousa**

**Implementação de um sistema de recepção MIMO reconfigurável utilizando múltiplos algoritmos FIR adaptativos parametrizável**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Aguayo

**Brasília, DF  
2015**

## **CIP – Catalogação Internacional da Publicação\***

SOUSA, Ítalo.

Título da Monografia / Ítalo Alberto do Nascimento  
Sousa. Brasília: UnB, 2015. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia de Engenharia Eletrônica – Universidade de Brasília  
Faculdade do Gama, Brasília, 2015. Orientação: Leonardo  
Aguayo.

1. Palavra Chave. 2. Palavra chave. 3. Palavra chave3 I.  
AGUAYO, Leonardo II. Título.

CDU Classificação



## **REGULAMENTO E NORMA PARA REDAÇÃO DE RELATÓRIOS DE PROJETOS DE GRADUAÇÃO FACULDADE DO GAMA - FGA**

**Italo Alberto do Nascimento Sousa**

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 25/06/2005 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

---

**Prof. Dr.: Leonardo Aguayo, UnB/ FGA**  
Orientador

---

**Prof. Dr.: Nome do Professor, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

---

**Prof. Dr: Nome do Professor, UnB/ FGA**  
Membro Convidado

Brasília, DF  
2015

Esse trabalho é dedicado às pessoas proativas que buscam lutar pelo que acreditam ao invés de simplesmente aceitarem as circunstâncias como elas são.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente eu gostaria de agradecer a Deus e a minha mãe Maria Adélia, que são as peças mais importantes em minha vida. Depois vem as outras também importantes que me fizeram chegar onde cheguei com as suas contribuições a curto e a longo prazo. Dentre eles o meu avô painho e a minha avó mainha que faleceram mas contribuíram sempre significativamente para este processo, após cinco anos me acompanhando nessa jornada o painho não pôde vê-la concluída, o que é uma pena, mas faz parte da vida. Agradecer à minha avó Cristina que sempre almeja essa conquista e tenta me dar todo suporte necessário. Gostaria de agradecer também à toda minha família pelo suporte e pela motivação necessários. Aos meus amigos antes da faculdade, e aos que fiz depois da faculdade. Em relação aos que fiz na faculdade, são eles dentre outros, ao meu primo Arthur, ao Aulus, ao cheff Zalisson, ao Lucas H., ao Luis B., ao Gilvanson, ao José Alberto, ao PG e aos Rodolfo, ao João Zago, ao Berilli, ao Cleiton, à Érica, aos membros da biomédica neurótica. Ao professor Fragelli que foi o meu primeiro orientador e me deu o começo de um rumo em um momento de confusão, e que me fez escrever o primeiro Artigo científico, tendo sempre preocupação nos detalhes. Gostaria de agradecer aos professores que contribuíram significativamente ao meu crescimento no curso, dentre eles ao meu orientador Aguayo, ao professor mestre doutor Wellington, ao Cristiano, ao Diogo, ao Sandro, ao Batistuta, ao Gilmar, ao Lindomar, ao Luciano, ao Vinícuis. Também, às pessoas que contribuíram à construção deste trabalho indiretamente, dentre eles o Matheus Assis, a Paula, ao CsF pelo ano de estudos no LIT. Aos professores e às pessoas que conheci lá. Também gostaria de agradecer à UnB, em especial à FGA, por essa oportunidade de graduação sem custos diretos e com um bom suporte e ao meu país, Brasil, que apesar de tantas falhas eu o amo tanto. Gostaria de agradecer ao suporte recebido para que muitas pessoas possam ter essa chance de mudar, e que sejam ações de suas próprias mudanças.



Nossa vida é como um vetor. Nós temos o poder de mudarmos a nossa vida através das escolhas que tomamos (direção) e da motivação que depositamos para realizar tal mudança (módulo).



## RESUMO

O relatório anual do *Software Engineering Institute* (SEI) mostrou que mais de três mil avaliações de CMMI® foram realizadas desde 2002. Muitas delas foram realizadas em fornecedores de software, ou seja, empresas que desenvolvem software para outras empresas. Embora os custos de execução e avaliação sejam altos para os fornecedores de software, não há nenhum estudo formal investigando se os clientes dessas empresas certificadas estão satisfeitos com a qualidade do serviço prestado. O presente trabalho trás os resultados de uma avaliação formal da percepção dos clientes sobre a qualidade dos serviços oferecidos pelos fornecedores de software avaliados pelo CMM/CMMI®. Para a coleta de dados foi desenvolvido um instrumento com base em um modelo de avaliação da qualidade de serviço amplamente utilizado (SERVQUAL). O instrumento foi aplicado em clientes de fornecedores de software avaliadas no CMM/CMMI®. Os resultados mostraram que clientes e possíveis clientes possuem altas expectativas em relação à prestação de serviço com provedores certificados CMM/CMMI® e que no geral a percepção do serviço entregue é inferior à expectativa. Conclui-se, portanto, que a certificação não garante necessariamente a melhoria na percepção do cliente sobre a qualidade dos serviços prestados.

**Palavras-chave:** Qualidade de Serviços. Fornecedores de Software. CMM/CMMI®.

## ABSTRACT

The state year report of the Software Engineering Institute (SEI) showed that more than three thousand CMM/CMMI© appraisals have been conducted since 2002. Many of these were performed at software providers, i.e. companies that develop software for other companies. Although the costs of the implementation and appraisal are high for the software providers, there is no formal study investigating whether this investment pays off or, in other words, whether their customers are satisfied with the quality of the service provided. This study presents the results of a formal evaluation of customer perception of the service quality offered by the software providers appraised in CMM/CMMI©. For data collection was developed an instrument based on a widely used service quality evaluation model (SERVQUAL) and applied this instrument to several customers of software providers appraised in CMM/CMMI©. The results show that clients and potential clients have high expectations for service delivery with providers certified CMM/CMMI© and overall perception of the service delivered is lower than expected. Is possible to conclude, therefore, that certification does not necessarily guarantee improvement in customer perception about the quality of services.

**Keywords:** Quality of Service. Software provider companies. CMM/CMMI©.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES (elemento opcional) \*

\* Em caso de menos de cinco (05) elementos ilustrativos, elabora-se uma única lista, denominada LISTA DE ILUSTRAÇÕES contendo quadros, figuras, desenhos, mapas, esquemas, fotografias, gráficos e/ou outros elementos ilustrativos, apresentados no trabalho.

**Porém**, em caso de mais de cinco (05) itens, deverão ser elaboradas listas específicas para cada tipo de ilustração em **páginas separadas**.

Por exemplo:

### LISTA DE QUADROS (elemento opcional)

Relação dos títulos dos quadros de acordo com a ordem de apresentação no trabalho.

(Formado por linhas horizontais e verticais, sendo, portanto “fechado”. Normalmente é usado para apresentar dados secundários, e geralmente vem no “referencial teórico”. Nada impede, porém, que um quadro apresente resultados da pesquisa. Um quadro normalmente apresenta resultados qualitativos, em forma de texto)

### LISTA DE QUADROS (elemento opcional)

Relação dos títulos dos quadros de acordo com a ordem de apresentação no trabalho.

(É formada apenas por linhas verticais, sendo, portanto “aberta”. Normalmente é usada para apresentar dados primários, e geralmente vem na seção de “resultados” e na discussão do trabalho. Nada impede, porém, que uma tabela seja usada no referencial teórico de um trabalho. Uma tabela normalmente apresenta resultados quantitativos, números).

### LISTA DE ABREVIATURAS (elemento opcional)

Relação alfabética das abreviaturas utilizadas no trabalho, seguidas das palavras ou significados por extenso.

### LISTA DE SIGLAS (elemento opcional)

Relação alfabética das siglas utilizadas no texto, seguidas das palavras ou significados por extenso.

### LISTA DE SÍMBOLOS (elemento opcional)

Relação dos símbolos, apresentados na ordem em que aparecem no trabalho, com o devido significado.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 ASPECTOS GERAIS .....	Error! Bookmark not defined.
1.2 COMPOSIÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO .....	11
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	Error! Bookmark not defined.
2.1 ANTENAS .....	Error! Bookmark not defined.
2.2 ARRANJO DE ANTENAS .....	Error! Bookmark not defined.
2.3 ORTOGONALIZAÇÃO DE CANAIS.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS ADAPTATIVO .....	Error! Bookmark not defined.
2.5 BEARMFORMING ADAPTATIVO.....	Error! Bookmark not defined.
2.6 FPGA DSP .....	Error! Bookmark not defined.
2.7 SISO, SIMO, MISO .....	Error! Bookmark not defined.
2.8 TECNOLOGIA MIMO .....	Error! Bookmark not defined.
<b>3 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO</b> .....	Error! Bookmark not defined.
3.1 DIAGRAMA GERAL DO SISTEMA.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 METODOLOGIA DO AMBIENTE DE IMPLEMENTAÇÃO .....	Error! Bookmark not defined.
3.4 PROCEDIMENTO DA MODELAGEM DO SISTEMA .....	Error! Bookmark not defined.
<b>4 RESULTADOS E CONCLUSÕES</b> .....	Error! Bookmark not defined.
4.1 CONCLUSÕES GERAIS .....	Error! Bookmark not defined.
4.2 PROSPECÇÕES E ANÁLISES.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 PROJEÇÕES E CONCLUSÕES DO TRABALHO.....	Error! Bookmark not defined.
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ANEXOS</b> .....	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Aspectos gerais

Problematização

Estado da arte

### 1.2 Motivação

A ideia por trás do MIMO é aumentar o rendimento *wireless* do sistema sem aumentar o consumo de energia. Isso é baseado na ideia de que usando múltiplas antenas, o sinal transmitido progride através de diferentes canais *wireless*, dos transmissores para os receptores, criando o ganho de capacidade e explorando a diversidade do canal.

O MIMO propõe melhorar a qualidade na transmissão e recepção de dados. Ou seja, ele é uma solução para a necessidade atual, que é melhorar a eficiência do canal, desenvolvendo um melhor sistema de comunicação de dados.

### 1.3 Composição e estrutura do trabalho

Este trabalho de conclusão de curso considera três elementos principais em sua elaboração: (1) fundamentação teórica à respeito das tecnologias a serem implementadas, (2) metodologia geral de simulação e (3) resultados pretendidos ao final da implementação relacionando-os com resultados já alcançados em outras pesquisas na área. Cada um destes, pode se subdividir em outros elementos formando a estrutura global do trabalho, conforme os itens abaixo:

#### Fundamentação teórica

- Antenas
- Arranjo de antenas
- Ortogonalização de canais
- Processamento digital adaptativo de sinais
- Beamforming adaptativo
- Ferramenta FPGA aplicada nesse contexto
- Tecnologia SISO, MISO e SIMO
- Tecnologia MIMO

#### Metodologia de simulação

- Diagrama geral do sistema

- Metodologia do ambiente de implementação
- Procedimento da modelagem do sistema

### **Resultados e conclusões**

- Conclusões gerais
- Prospecções e análises
- Projeções e conclusões do trabalho

Este trabalho de conclusão de curso tem como foco a fundamentação teórica da implementação do sistema de recepção MIMO. Isso pode ser feito através da análise e construção por trás da metodologia do sistema de comunicação parametrizável MIMO voltado à recepção, que pode utilizar múltiplos algoritmos abordando diferentes métodos de processamento digital adaptativo de sinais do tipo FIR. Esse sistema de comunicação será desenvolvido em uma ferramenta reconfigurável para a realização do beamforming com o intuito de maximizar a capacidade de detecção de sinais em um ambiente de simulação.

## Parte I

### Fundamentação teórica

## 2.1 MIMO Antenas

### Princípios básicos

Nos sistemas de comunicação wireless, as antenas desempenham um papel fundamental no processo da transição de ondas eletromagnéticas para indução de corrente alternada na linha de transmissão, ou o processo recíproco, da transição de corrente alternada para ondas eletromagnéticas na recepção.

Mesmo com essa reciprocidade, há diferença de execução entre esses dois fatores. Pois no processo de irradiação, as antenas de transmissão irradiam os sinais em diferentes direções, enquanto que as antenas de recepção apenas recebem os sinais de direções específicas. Isso corresponde na quantidade de energia transmitida que é recebida, e também, no decaimento de energia durante esse processo. A qualidade da antena pode ser verificada através da medição do Ganho da antena nas direções abordadas.

É necessário também considerar o quanto seguro é a transferência da linha de transmissão para a antena, ou como a energia de saída da antena é transferida para a linha de transmissão. Isso é otimizado através do casamento de impedância. A maior dificuldade no projeto de uma antena é otimizar o casamento de impedância enquanto otimiza-se o ganho da antena.

Para analisar o desempenho de uma antena, é necessário definir vários parâmetros, sendo que alguns deles se relacionam e nem todos os parâmetros necessitam ser definidos para essa análise. Antes de definir tais parâmetros, o funcionamento básico da transição de uma antena tem que ser definido. A partir disso, para ser realizada a transição de corrente alternada em uma linha de transmissão para campos eletromagnéticos no ar, devido às equações de Maxwell, a irradiação de ondas eletromagnéticas da antena irradia campos elétricos em uma



direção, e também, sempre irradia campos magnéticos que são ortogonais aos campos elétricos. Devido à essa ortogonalidade, a densidade de potência resultante dos campos magnéticos e elétricos são mais altas em algumas direções e mais baixas em outras, dependendo do quão forte é o campo elétrico nessa direção.

### Padrões de radiação

O padrão de radiação de uma antena é definido como a representação gráfica das propriedades de radiação da antena como uma função das coordenadas espaciais. Ele pode ser determinado na região de campo distante e é representado como uma função de coordenadas direcionais

Padrão de potência é definido como um índice de energia recebida em um raio constante. Além disso, o padrão de campo é definido como a variação espacial do campo elétrico ou magnético ao longo de um raio constante.

### Radição isotrópica

Uma antena é considerada isotrópica quando a irradiação é dada em apenas uma única direção. Se esta antena hipotética está irradiando isotropicamente, então a energia é irradiada uniformemente em todas as direções. Para analisar o comportamento dessa antena, tem-se uma esfera de raio  $r$  e uma área da superfície  $4\pi r^2$ , a densidade de potência  $S_{iso}$ , em energia por área, irradiada em qualquer ponto da superfície dessa esfera pode ser expressa em termos da energia da fonte  $E_f$  como  $S_{iso} = E_f / 4\pi r^2$ . Com isso,  $r$  deveria ser um valor mínimo, impossibilitando então a construção de uma antena isotrópica de acordo com suas definições.

Mesmo não sendo possível construir essa antena, ela serve como referência para analisar algumas propriedades de antenas reais, como as propriedades de diretividade de antenas práticas.

### Densidade de radiação

A densidade de potência associada com campos eletromagnéticos de uma antena na região de campo distante é referida como a densidade de radiação  $W_{rad}$ .

### Intensidade de radiação

Em uma dada direção, a potência radiada a partir uma antena por unidade de ângulo pode definir a intensidade de radiação. Ela é um parâmetro de campo distante e pode ser obtida pela multiplicação da densidade de radiação pelo quadrado da distância.  $U = r^2 W_{rad}$ ,  $U$  = intensidade de radiação,  $W_{rad}$  = densidade de radiação

### Diretividade

Como as antenas reais nunca são perfeitamente isotrópicas, a diretividade da antena é expressa como o raio da densidade de radiação de energia em uma dado ponto, com o ângulo e a distância dessa antena comparados com o que seria radiado nesse ponto se fosse uma antena isotrópica, sendo a última tomada como antena de referência.

O ganho de diretividade em uma dada direção é definido como a relação da intensidade de radiação nessa direção com a intensidade de radiação na antena de referência. A partir disso, pode-se assumir que a diretividade é expressa como o ganho de diretividade na direção do seu valor máximo. Ela é expressa por  $D_d = 4\pi U/P_{rad}$ .

Com isso, a diretividade pode ser usada para medir como a estrutura da antena radia densidade de potência em determinadas direções. A diretividade  $D$ , no ângulo  $\theta$  pode ser definida matematicamente a partir da densidade de potência  $S_{dir}(\theta)$  como  $D(\theta) = S_{dir}(\theta)/S_{iso}$ . Isso indica que a diretividade é independente de  $r$ , pois a taxa de densidade de potência irradiada não varia. Isso é estabelecido partindo do pressuposto que não há perdas durante o processo, então na prática é considerado que esse valor de densidade irradiada é sempre menor que o próprio  $S_{dir}(\theta)$  do sistema ideal.

### Eficiência da antena

Durante o processo da transição de tensão alternada para campos eletromagnéticos, uma parte da potência da antena é transformada em calor ou é perdida, fazendo com que essa potência se afaste da ideal. Ou seja, a antena tem uma eficiência pré-definida, que é a taxa de potência total irradiada (TRP) pela qual a potência  $P_s$  é a entrada da antena. E pode ser expressa por  $\text{Eficiência} = \text{TRP}/P_s$

### Ganho da antena

Ondas eletromagnéticas são usadas para transportar informações de um ponto para outro através de meios sem fio ou de estruturas guiadas. Então, pode-se assumir que campos eletromagnéticos são associados com potência e energia. O desempenho de uma antena pode ser medido em termos de ganho da antena e dos padrões de potência relativa.

Para definir o ganho da antena, defini-se previamente o ganho de potência de uma antena. Ele é dado a partir da intensidade de radiação num dada direção vezes quatro  $P_i$  em relação com a potência líquida reconhecida pela antena a partir de um transmissor conectado. Quando a direção não é estabelecida, o ganho de potência é usualmente tomado na direção de radiação máxima.

Também é necessário abordar o conceito de ganho relativo. Ele é definido como a relação entre o ganho de potência em uma dada direção com o ganho de potência em uma antena de referência nessa mesma direção.

O ganho de uma antena aborda a eficiência da antena bem como suas capacidades direcionais. Ou seja, ele está parcialmente relacionado a diretividade, pois a diretividade é uma medida que descreve apenas propriedades direcionais da antena, sendo assim controlada apenas pelos padrões.

A partir disso, o ganho da antena pode ser expresso por

$$\text{Ganho} = \text{Eficiência} \times \text{Diretividade}$$

### Eficiência do Beam (Eficiência do feixe)

Um dos parâmetros para analisar a qualidade da transmissão e recepção das antenas é a eficiência do feixe (BE). Ela pode ser expressa por

$BE = (\text{potência de transmissão/recepção em um ângulo teta}) / (\text{potência de transmissão/recepção da antena})$

### Largura de banda

A largura de banda de uma antena é definida como a gama de frequências com que o desempenho da antena está em conformidade com as normas estabelecidas. Ela pode ser considerada como sendo a variedade de frequências, com a qual as características da antena estão de acordo com valores aceitáveis para aqueles na frequência central.

### Polarização

A polarização de uma antena numa dada direção é definida como, a polarização de uma onda irradiada quando a antena é excitada. Quando a direção não é estabelecida, a polarização é tomada como a polarização na direção do ganho máximo. Na prática, a polarização varia com a direção do centro da antena, logo diferentes partes do padrão tem diferentes polarizações.

### Casamento de impedância

Primeiramente, é tomada a definição de impedância de entrada. Ela pode ser expressa como, a impedância da antena nos seus terminais ou a relação entre a tensão com a corrente nos pares de terminais. Ela geralmente é uma função da frequência.

Ao mesmo tempo que é bom uma antena ter ganho em algumas direções, suas entradas também tem que ter impedâncias adequadas com as quais são casadas com a fonte, e também, qualquer antena tem impedância de entrada  $Z_{in}$ . Com um casamento de impedância, a quantidade máxima de potência pode ser transferida para uma antena. Se não há um casamento, então uma parte ou toda potência acaba sendo refletida de volta para a fonte de emissão, em caso do modo de transmissão, ou não ser mandado da antena para o receptor em caso de recepção. A fórmula padrão para calcular o coeficiente de reflexão  $T_{al}$  é definida como:  $T_{al} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0}$ . Onde  $Z_0$  é a impedância da fonte.

### Reciprocidade

Para uma antena de transmissão (Tx) ou de recepção (Rx), tanto o ganho, como a impedância e os padrões de campo, aplicam-se todos da mesma maneira. Ou seja, se duas antenas estão se comunicando em uma dada distância, o canal resultante é o mesmo, não importando de onde essa frequência esteja sendo transmitida.

## 2.2 Arranjo de antenas

No MIMO, é necessário a construção de arranjos de elementos de antena, isso significa que para cada elemento de antena, o casamento de impedância e o ganho da antena são afetados na presença dos elementos de antena da sua vizinhança.

Baseada em seus fundamentos, cada elemento de antena necessita ter um bom casamento de impedância, fazendo com que a potência irradiada vá para dentro da antena, não refletindo, portanto, não voltando para a fonte. A antena também necessita ser eficiente, porém, essa é uma questão a ser detalhadamente

analisada, pois a eficiência da antena é mutualmente exclusiva com o casamento de impedância.

A correlação entre os elementos de antena em um arranjo é a responsável para o rendimento das antenas MIMO. Para isso, o arranjo tem que ser projetado em determinada maneira, com o qual seus elementos possam receber sinais correlacionados, fazendo-se o somatório de todos os campos elétricos recebidos, bem como de suas irradiações. Isso é possível a partir da separação espacial das antenas, bem como da mudança dos padrões angulares ou polarizações.

Beamforming

Separação espacial

Correlação angular e polarizada

### 2.3 Ortogonalização de canais

Considere o caso particular de um canal ortogonal MIMO onde os canais de diferentes correntes são ortogonais

#### Capacidade de canais MIMO

Capacidade é a medida de desempenho de sistemas de comunicação digital. É a máxima taxa de transmissão confiável para uma comunicação ser atingida. Se uma transmissão se tornar maior do que a capacidade, o sistema se corrompe e o receptor faz a decodificação de erro com uma probabilidade não negligenciável. Capacidade é a primeira ferramenta para caracterizar a performance de um sistema MIMO.

Comunicação wireless tem um diferente nível de desempenho de acordo com o ambiente de propagação.

Colocar a formula de shannon

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

C is the channel capacity in bits per second;

B is the bandwidth of the channel in hertz (passband bandwidth in case of a modulated signal);

S is the average received signal power over the bandwidth (in case of a modulated signal, often denoted C, i.e. modulated carrier), measured in watts (or volts squared);

N is the average noise or interference power over the bandwidth, measured in watts (or volts squared); and

S/N is the signal-to-noise ratio (SNR) or the carrier-to-noise ratio (CNR) of the communication signal to the Gaussian noise interference expressed as a linear power ratio (not as logarithmic decibels).

Fórmula de extensão do MIMO

Modelo de canais

Ortogonalização

Ganho de diversidade

Canais gerais MIMO



## 2.4. Processamento Digital Adaptativo de Sinais

Um sinal é definido através da variação de uma quantidade física em função de variáveis independentes, e essas variações contêm informações significativas para análise. O objetivo de trabalhar com filtragem, que é uma operação de processamento de sinais, é processar o sinal recebido para manipular a informação contida nele, com o intuito de melhorar a qualidade dessa informação, facilitando a extração das informações desejadas em condições bem definidas, ou seja, selecionar desse sinal as frequências desejadas e descartar o resto. [1][2][5]

Filtros são ditos lineares, quando após a realização da filtragem, sua saída for uma função linear de observações aplicadas à entrada do filtro. Um filtro adaptativo é dito não linear, suas características são dependentes dos sinais de entrada e a homogeneidade não é satisfeita. [1][4]

Um filtro adaptativo é requerido quando as especificações estabelecidas são desconhecidas, ou quando essas especificações não podem ser satisfeitas por filtros lineares. Os filtros adaptativos são variantes no tempo e seus parâmetros mudam continuamente de ordem para atingir o desempenho desejado. Esse filtro executa um direcionamento de dados num passo de aproximação. [1]

Num filtro adaptativo, é necessário a escolha de estruturas e algoritmos com os quais seus parâmetros e coeficientes também são adaptativos, pois a atualização dos coeficientes é executada usando as informações disponíveis nesse determinado tempo de atualização. Quando as especificações não estão disponíveis, o algoritmo adaptativo que determina a atualização dos coeficientes requer uma informação adicional, a qual assume a forma de um sinal, tal sinal é chamado de sinal de referência, ou sinal desejado. [1]

Filtros adaptativos são filtros auto-projetáveis. No ambiente de adaptatividade, pode-se representar alguns elementos convencionais para o algoritmo, dentre eles,

$k$  é número de iteração,  $x(k)$  é o sinal de entrada,  $y(k)$  é o sinal de saída da filtragem adaptativa,  $d(k)$  é o sinal desejado,  $e(k)$  é o sinal de erro, podendo ser calculado a partir de  $d(k) - y(k)$ . Esse sinal de erro  $e(k)$  é também utilizado como forma de análise de desempenho da função requerida para o algoritmo de adaptação, com o qual determina a atualização apropriada dos coeficientes do filtro. [1][4]

#### -----Esquemático da Configuração da filtragem adaptativa

Um filtro adaptativo pode ser implementado em diferentes estruturas, e a escolha dessa estrutura implica na complexidade computacional do processo, ou seja, na quantidade de operações aritméticas por iteração em determinado processo, e também implica no número necessário de iterações para atingir o desempenho almejado. A partir disso, Há dois tipos significativos de filtros adaptativos, o FIR (Filtro digital de resposta finita) e o IIR (Filtro digital de resposta infinita), os quais são diferenciáveis através da forma de resposta ao impulso. No âmbito do trabalho, serão utilizados filtros do tipo FIR para a implementação do sistema de detecção. [1]

#### FIR (Finitary Impulse Response)

Filtros do tipo FIR são filtros digitais com uma resposta de impulso finita. Eles também são conhecidos como filtros digitais não recursivos. Seu projeto pode envolver diferentes métodos, mas a maioria deles são baseados em aproximações de filtros ideais. A função de transferência de filtros FIR aproximam-se do filtro ideal de acordo com o incremento da ordem, porém dessa maneira, aumenta-se a complexidade e a quantidade de tempo necessária para o processamento de amostras de sinais de entrada sendo filtrados. Eles possuem característica de fase linear, e o processo de projeto do filtro começa com as especificações e os requisitos do filtro FIR desejado. Cada um dos métodos de projeto de filtros FIR tem suas vantagens e desvantagens, então é importante sua escolha para qual objetivo deve ser alcançado. [3]

## 2.5. Beamforming Adaptativo

Filtragem espacial, conhecido como beamforming, é utilizado nos sistemas para distinguir entre as propriedades espaciais do sinal e ruído. O dispositivo utilizado para realizar o beamforming é chamado beamformer, ele recebe o sinal irradiado de uma direção específica e atenua os sinais irradiados não desejados das outras direções.[4]

No processo de filtragem espacial, uma quantidade de elementos de antenas são dispostos em diferentes pontos do espaço para receber os sinais transmitidos, formando um arranjo de antenas espaçadas entre si. Com isso, essas antenas providenciam um meio de amostragem para o sinal recebido no espaço. O sinal de um conjunto de antenas coletado em um determinado instante de tempo constitui um snapshot (captura instântanea). Um snapshot de dados em uma filtragem espacial desempenha um papel análogo ao conjunto de pulsos de entrada consecutivos que há em filtros transversais em um determinado instante de tempo.[4]

Considerando-se um beamformer adaptativo que usa um arranjo linear de  $n$  transmissores idênticos em sua baseband, que é a banda base de transmissão, tem o sinal de saída de cada transmissor ajustado por um peso ajustável  $w(n)$ , e posteriormente esses sinais são somados, como pode ser visto na figura 1. O beamformer tem que satisfazer duas condições para um bom desempenho, primeiro, que a capacidade de direção por meio do sinal alvo seja sempre protegida, e também que os efeitos das fontes de interferência sejam minimizados. Uma estratégia para obter tais condições é minimizar a variância de saída do beamformer, sujeita à restrição de que, durante o processo de adaptação, os pesos  $w(n)$  satisfaçam a condição:  $W$ (fórmula), onde  $w(n)$  é e  $s()$  é o vetor de direção. [4]

Através da técnica de processamento de sinais do beamforming, o direcionamento do arranjo de antenas pode ser controlado eletronicamente, pois é possível direcionar a maioria da energia do sinal na direção desejada. O padrão da seleção de direção do feixe é alcançado usando receptores adaptativos, os quais são gerados a partir de um algoritmo de filtragem espacial adaptativa.[6]

A vantagem do uso do beamforming vem a partir do direcionamento do arranjo, pois na transmissão, ele controla a fase e a amplitude relativa do sinal de

cada transmissor, contudo na recepção, as informações dos diferentes receptores são combinadas em um determinado caminho pelo qual os padrões esperados de radiação são perfeitamente observados.[6]

No processamento digital da recepção, é necessário que cada sinal proveniente do elemento de antena seja digitalizado usando um conversor A/D (Analógico-Digital). Nesse processo de beamforming digital, os receptores utilizam repetidores de sinal RF para diminuir o sinal frequência antes do conversor A/D. Assim que o sinal da antena for digitalizado, ele passa pelo conversor digital que desloca a frequência do canal para 0Hz e passa apenas a largura de banda requerida pelo canal.[6]

A maior diferença entre o beamformer adaptativo e o beamforming convencional é a capacidade do beamformer adaptativo de ajustar seu desempenho para adequar-se ao ambiente. A proposta do beamforming adaptativo é de formar múltiplos feixes, direcionando-os aos alvos desejados, enquanto as interferências são anuladas, através do ajuste dos vetores peso  $w(n)$  do beamformer. Tais pesos  $w(n)$  são ajustados com o intuito de otimizar o desempenho de acordo com os critérios estabelecidos. Nos algoritmos adaptativos do beamforming, os vetores peso  $w(n)$  são estimados e então atualizados de acordo com o tempo de execução. Com esse ajuste iterativo, o desempenho do beamformer aponta para a direção desejada.[6]

## **2.6. FPGA DSP**

A tecnologia FPGA (Field Programmable Gate Array) é um microprocessador reconfigurável de lógica reprogramável de IC (Integrated Circuit) que pode implementar um algoritmo de processamento digital de sinais e rapidamente verificar o resultado em hardware. A linguagem VHDL (Very High speed integrated circuit hardware description language) é usado para projetar o hardware. A tecnologia VLSI (Very Large-Scale Integration) tem permitido projetistas a implementarem significativos projetos complexos. [fpga implemented low complexity][digital system design with fpga]

No projeto de sistemas eletrônicos, a maior vantagem do uso de microprocessadores está no fato de que a complexidade no desenvolvimento do

sistema é reduzida. O hardware sendo fixo, faz com que a dificuldade de projeto seja concentrada no desenvolvimento de códigos de software eficientes, removendo então a necessidade do projetista se preocupar com aspectos mais baixo nível do sistema. Em aplicações DSP, tipicamente, são exigidos altos níveis de paralelismos e as operações são altamente independente de dados, permitindo a otimizações serem aplicadas. Essa exigência traz ao desenvolvimento a ferramenta FPGA, a qual permite um patamar a mais de programação, sendo considerado uma arquitetura de processar para programação adjacente. Com o uso de uma arquitetura que melhor se adequa aos requerimentos do algoritmo, altos níveis de performance em termos de velocidade e energia pode ser alcançado. A escolha do algoritmo e dos requerimentos aritméticos tem várias implicações na qualidade da implementação final. [fpga based implementation]

Tradicionalmente, os algoritmos de DSP são projetados e analisados com ferramentas matemáticas com alto nível de abstração, e depois de projetado e verificado, o projetista converte esses algoritmos para construções sintetizadas em FPGAs. [adv. Fpga design]

Um filtro de tempo-discreto produz uma sequência de saída e em tempo discreto para a sequência de entrada de tempo discreto. Nos sistemas FIR, a sequência de resposta ao impulso tem duração finita. Ele tem um número finito de termos não nulos e os coeficientes de filtro também são constantes. A resposta do filtro FIR depende apenas do valor de entrada presente e da entrada passada, fazendo com que o sistema seja sempre estável. As vantagens desse filtro são, entre outras, a estabilidade, eles podem ser desenvolvidos eficientemente em

hardware e os coeficientes de filtro são constantes para a ordem dada do filtro. [vlsi design]

## **2.7. SISO, SIMO, MISO**

A regra mais rígida com respeito a Introdução é que a mesma, que é

## **2.8. MIMO**

A regra mais rígida com respeito a Introdução é que a mesma, que é

## Parte II

### Metogologia de simulação



## **2.1. Diagrama geral do sistema**

De acordo com os requisitos levantados a partir do referencial teórico, foi elaborado o diagrama geral do sistema baseado na proposta de estudo, como pode ser visto na figura 1. Como o objetivo é a implementação de um sistema de recepção MIMO utilizando filtros adaptativos, foi desenvolvida uma simples abstração dos elementos gerais necessários para o sistema de recepção.

Primeiramente, os sinais são recebidos através das antenas de recepção, passando então

## **2.2. Metodologia do ambiente de implementação**

Para um pleno desenvolvimento do sistema num ambiente de simulação, serão utilizados alguns ambientes comunicando-se entre si, correspondendo cada um, a determinada parte da implementação.

O ambiente de simulação utilizado para o sistema de recepção é o LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), o qual baseia-se em programação gráfica. Esse ambiente de desenvolvimento providencia uma ferramenta de fluxo integrada para gerenciar detalhes em níveis de software e de hardware.

Os sinais recebidos no sistema de recepção são gerados em um arquivo .m, e se comunicam com o LabVIEW através do módulo LabVIEW MathScript RT, permitindo então com que o sistema de recepção implementado seja executado a partir dos sinais obtidos do arquivo .m do MATLAB. A partir desse sistema no ambiente LabVIEW, além da comunicação por esse módulo, é também possível integrar programações adicionais, como o VHDL através do nó de integração do IP.

Com essa integração, é possível desenvolver implementações de alto desempenho, que são altamente verificáveis e customizáveis. Todo hardware e software são gerenciados em único projeto LabVIEW, o que permite com que o desenvolvimento e a análise dos elementos sejam executados em apenas um ambiente de simulação.

### **2.3. Procedimento da modelagem do sistema**

Gráficos de desempenho (meu gerado no MATLAB)

Análise dos gráficos

Como foi executado e o pressuposto para as próximas execuções (partindo do mais simples e indo para o mais complexo)

## Resultados e conclusões

### **3.1. Conclusões gerais**

Conclusões baseadas na introdução

Conclusões baseadas na fundamentação teórica

### **3.2. Prospecções e análises**

Explicar a métrica dos gráficos

Gráficos de outros trabalhos na área

Análise dos gráficos e resultados esperados

### **3.3. Projeções e conclusões do trabalho**

Conclusões acerca do trabalho (o que ele permite alcançar)

Próximos passos

Cronograma do projeto

## **Bibliografia**

**ABNT. 2000.** *NBR 6023: Informação e Documentação - Referências*. Rio de Janeiro : TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS, 2000.

**Alves, M. B. B. 2007.** COMO FAZER REFERÊNCIAS: bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documentos. [Online] 2007. <http://bu.ufsc.br/framerefer.html>.

**Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. 2003.** *Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia*. 3. Rio de Janeiro : INMETRO, 2003. p. 75. ISBN 85-87090-90-9.

## ANEXOS

	ág.
A	
nexo II	0

### ANEXO I: Exemplos de Referencias Bibliográficas

- Bordalo, S.N., Ferziger, J.H. and Kline, S.J.,1989, "The Development of Zonal Models for Turbulence", Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Vol.1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 41-44.
- Coimbra, A.L., 1978, "Lessons of Continuum Mechanics", Ed. Edgard Blücher, S.Paulo, Brazil, 428 p.
- Clark, J.A.,1986, Private Communication, University of Michigan, Ann Harbor.
- Soviero, P.A.O. and Lavagna, L.G.M.,1997, "A Numerical Model for Thin Airfoils in Unsteady Motion", RBCM- J. of the Brazilian Soc. Mechanical Sciences, Vol.19, No. 3, pp. 332-340.

Sparrow, E.M., 1980, "Forced Convection Heat Transfer in a Duct Having Spanwise-Periodic Rectangular Protuberances", *Numerical Heat Transfer*, Vol.3, pp. 149-167.