

# NullSteering com Arrays Lineares e Circulares: Uma Abordagem Comparativa Envolvendo os Algoritmos Adaptativos LMS e RLS

Bruno S. L. Castro<sup>1</sup>, Igor R. Gomes<sup>1</sup>, Márcio R. Pinheiro, Gervásio P. dos Santos Cavalcante<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) – Universidade Federal do Pará (UFPA)

**Resumo** — A utilização de antenas adaptativas vem crescendo junto com a expansão das redes *wireless*, logo os estudos para seu aprimoramento também vem ganhando relevância. Este artigo analisa estruturas de Arrays de antenas adaptativas e faz um estudo comparativo entre elas, onde se destacam a carga de processamento, a complexidade computacional e a eficiência da resposta encontrada, além de esclarecer que estrutura e, qual algoritmo enquadra-se melhor para um determinado ambiente.

**Palavras-chaves** — Antenas adaptativas, Nullsteering, sistema wireless, Algoritmos adaptativos.

**Abstract** — The use of adaptive antennas is growing with the expansion of wireless networks, so the studies for his improvement has also gained importance. This paper analyzes structures of adaptive antenna Arrays, and makes a comparative study between them, where it is the burden of processing, computational complexity and efficiency of response found, and also Clarifies what structure and algorithm is better for a given environment.

**Key-words** — Adaptive Antennas, Nullsteering, Wireless Systems, Adaptative algorithms.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com o intuito de atender cada vez melhor as necessidades dos usuários de sistemas de comunicações móveis, pode-se perceber a crescente evolução dos sistemas de telecomunicações, principalmente nos sistemas *wireless*. Isso se deve principalmente pelo fato desta área possuir problemas que limitam sua capacidade e seu desempenho, como é o caso da interferência por multipercurso e a interferência co-canal. A fim de resolver ou minimizar esses efeitos, pesquisadores do meio acadêmico adotam a técnica de Antena Adaptativa. Neste trabalho será focada a utilização de diferentes estruturas de antenas, linear e circular, assim como algoritmos de adaptação, como o LMS e o RLS, com o intuito de se verificar qual desses mecanismos retornam um melhor resultado para o ambiente estudado.

## II. ANTENAS ADAPTATIVAS

Algumas antenas usadas em comunicações móveis funcionam irradiando o sinal em várias as direções, com isso este sistema pode estar desperdiçando potencia, pois o sinal é transmitido mesmo em direções onde não existem usuários. O sinal assim transmitido pode também ocasionar interferências

em outros terminais móveis. Em sistemas que utilizam antenas adaptativas, pode-se visualizar a solução ou a minimização desses efeitos, devido à mesma ser capaz de selecionar feixes direcionais com maior seletividade angular na direção do usuário desejado, adaptando-se as condições de irradiação do momento, gerando com isso, o cancelamento de sinais indesejados e a redução dos efeitos de multipercurso [7]. Sua nomenclatura é dada por se adaptarem as condições impostas pelo ambiente em que estão. Elas utilizam o conceito de filtragem espacial, ou seja, direcionam o máximo ganho do seu feixe na fonte do sinal desejado e reduzem interferências em outras direções que venham a comprometer a Relação Sinal Interferência (RSI) do sistema, para maiores esclarecimentos vide [1] e [2].

## III. ARRAY LINEAR

Para se obter apenas um feixe na direção do sinal desejado, a antena inteligente faz uso do Fator de Array, o qual irá indicar para onde a antena deve direcionar a sua cobertura. Em um Array Linear [4], espaçado uniformemente e com K elementos isotrópicos idênticos, tem-se que o Fator de Array é dado por:

$$F(\theta) = \sum_{n=0}^{K-1} A_n e^{j(knd \sin\theta + n\alpha)} \quad (1)$$

Onde:

$A_n$  = é a excitação do elemento;

$k$  = é o numero de ondas dado por  $2\pi / \lambda$

$d$  = é a distancia entre os elementos

$\alpha$  = é dado por  $-kd \sin \theta_0$

## IV. ARRAY CIRCULAR

A forma multidimensional que será adotada neste trabalho é a de um Array circular, onde a configuração dos elementos da antena está espaçada em forma de um anel [5]. Para encontrar-se o ganho do Array circular, tem-se que:

---

Bruno S.L. Castro, bru\_telecom@yahoo.com.br, Igor R. Gomes, ruiz.igor@gmail.com, Tel +55-91-3248-5493; Márcio R Pinheiro, marciopinheiro@click21.com.br, Tel. +55-91-3222-1886

$$F(\phi) = \sum_{k=1}^K \alpha_k e^{(jkR(\cos(\phi - (k-1)\Delta\phi) - \cos(\phi_0 - (k-1)\Delta\phi)))} \quad (2)$$

Onde  $\alpha_k$  é a amplitude do peso e dado por,

$$\alpha_k = \frac{(1 + \cos(\phi - (k-1)\Delta\phi))}{2 e^{(1 - \cos(\phi - (k-1)\Delta\phi))}} \quad (3)$$

## V. ALGORITMO LMS

O algoritmo LMS (Least Mean Squares), é um algoritmo adaptativo [9] que utiliza o método da descida (*Steepest Descent*) baseado no uso do gradiente, e, busca a minimização do erro quadrático médio através de suas rotinas que incorporam um procedimento iterativo fazendo as correções nos pesos fixados a cada elemento do *Array*. O LMS, resumidamente, é obtido a partir da equação abaixo:

$$W(k+1) = w(k) + \mu e(k)u(k) \quad (4)$$

Onde:

$W(k)$  = Coeficiente de pesos atuais

$W(k+1)$  = Coeficiente de pesos futuros

$\mu$  = Constante de Adaptação

$e(k)$  = Vetor erro

$u(k)$  = Vetor de dados

## VI. ALGORITMO RMS

O algoritmo RLS (Recursive Least Square) [3] é semelhante ao LMS, por ser um algoritmo que obtém seus coeficientes ótimos de um filtro transversal que minimizam o erro médio quadrático entre o valor do sinal desejado e seu valor na saída do filtro. Porém, no RLS, o estimador médio é atualizado com base em um conjunto de valores previamente simulados em vez de ser atualizado com um único valor como na técnica utilizada no LMS [8], além disso, outra característica importante é a instabilidade numérica que o mesmo possui. Pode-se obter os coeficientes de peso através de:

$$w(k) = w(k-1) + K(k)\xi(k) \quad (5)$$

Onde:

$W(k)$  = Coeficiente de pesos atuais;

$W(k-1)$  = Coeficiente de peso passado;

Os termos de otimização do algoritmo e do erro, são encontrados a partir das equações abaixo:

$$K(k) = \frac{\lambda^{-1} P(k-1)u(k)}{1 + \lambda^{-1} u^H(k)P(k-1)u(k)} \quad (6)$$

$$\xi(k) = d(k) - w^H(k-1)u(k) \quad (7)$$

## VII. CRITÉRIOS PARA A ANÁLISE COMPARATIVA

Para se avaliar o desempenho das estruturas lineares e circulares em *Array* de antenas adaptativas, os cenários criados são análogos aos de um sistema móvel celular. A figura a seguir ilustra uma situação típica envolvendo estes cenários:

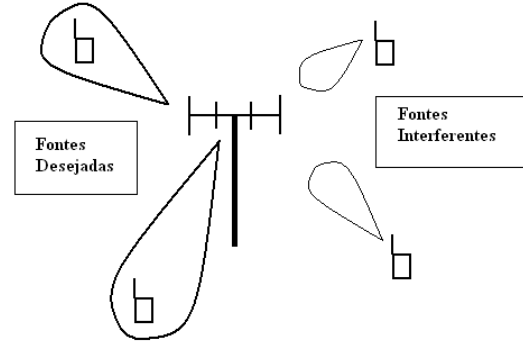


Fig. 1. Cenário comum em sistemas móveis celulares.

Pela figura acima, fica claro que em um sistema celular (por exemplo) há a presença de fontes desejadas, para onde os feixes do *Array* são direcionados, e outras fontes gerando interferências que precisam ser evitadas ou pelo menos reduzidas.

Baseando-se neste contexto, a análise feita entre o desempenho dos *Arrays* Lineares e Circulares se baseará na capacidade de ambos em gerar nulos [6] no diagrama de irradiação com o uso de algoritmos adaptativos, nas direções das fontes interferentes verificando-se qual obtém a maior razão entre o fator de *Array* no feixe principal e o feixe na direção da fonte interferente. Neste artigo esta relação será tratada como razão Desejado/Interferente (D/I), uma espécie de analogia com a relação Sinal/Interferência (RSI).

Para fins de simulação, o número de elementos no *Array* linear é dado pela metade de elementos do *Array* Circular mais um, pois, o ângulo de varredura será de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$ . A figura abaixo mostra essa relação.

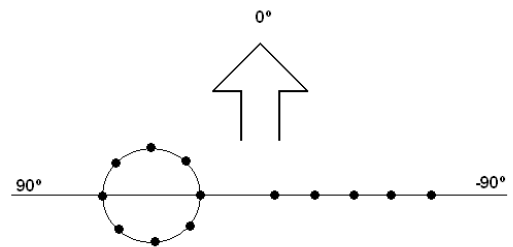


Fig. 2. Elementos utilizados no *Array* Linear e Circular.

## VIII. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

As simulações foram feitas usando os algoritmos adaptativos LMS e RLS respectivamente, onde foram

impostos cenários com a presença de uma fonte desejada e uma única fonte interferente com o intuito de observar qual *Array* maximiza a razão D/I.

### A. Simulação com o algoritmo LMS

O cenário utilizado para simulação do comportamento dos *Arrays* lineares e circulares com algoritmo LMS é composto de uma fonte desejada, localizada em  $0^\circ$ , e uma fonte interferente, situada em  $70^\circ$ . Depois de realizada a simulação, os seguintes resultados foram obtidos:

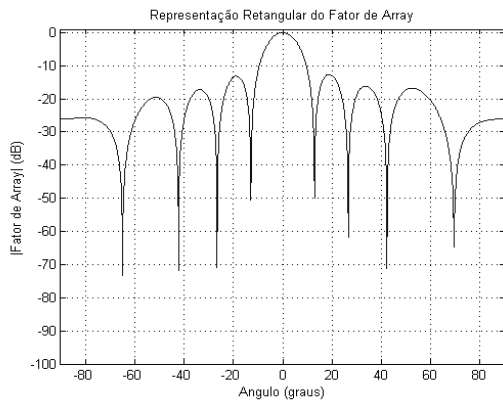


Fig. 3. Fator de *Array* para a estrutura linear (LMS)

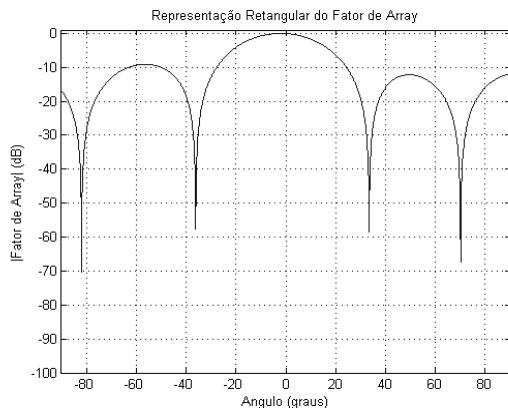


Fig. 4. Fator de *Array* para a estrutura circular (LMS)

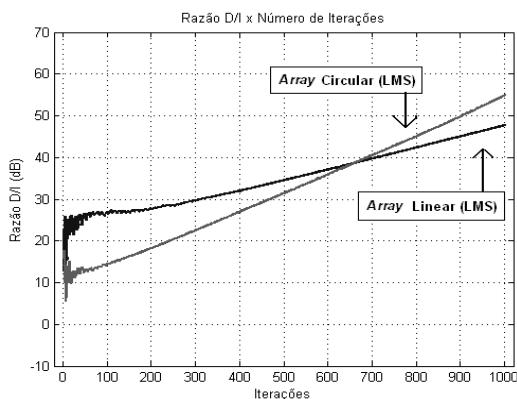


Fig. 5. Razão D/I x Iterações para o *Array* Linear e Circular (LMS)

De acordo com as Figs. 3, 4, e 5 é observado que ambos (*Array* linear e circular) mantêm os feixes principais na fonte desejada, em  $0^\circ$  e, geram o nulo em  $70^\circ$ , porém, quem atinge a melhor razão D/I é o *Array* circular.

### B. Simulação com o algoritmo RLS

Para a realização das simulações com o algoritmo RLS o cenário utilizado anteriormente foi mantido a fim de se observar as variações causadas pela mudança de algoritmo. Os resultados obtidos na simulação apresentados nas Figs. 6, 7 e 8 a seguir:

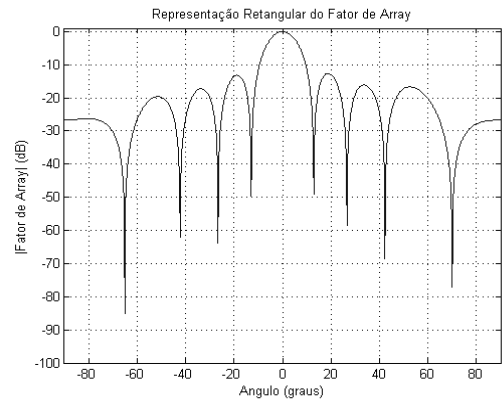


Fig. 6. Fator de *Array* para a estrutura linear (RLS)

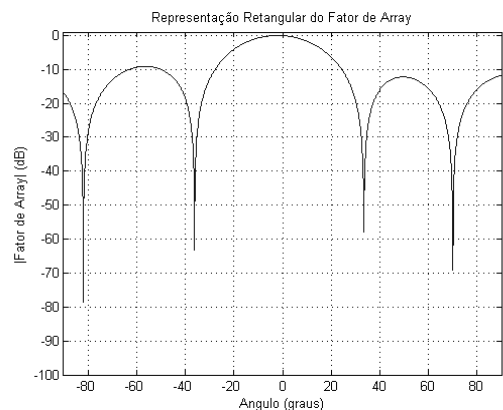


Fig. 7. Fator de *Array* para a estrutura circular (RLS)

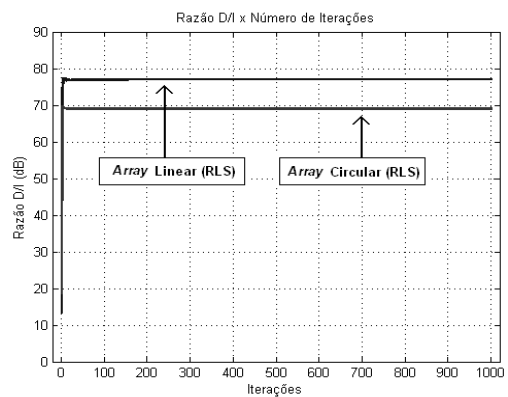


Fig. 8. Razão D/I x Iterações para o *Array* Linear e Circular (RLS)

Apesar de mantido o cenário em relação à simulação anterior, os resultados obtiveram uma melhora significativa no que diz respeito à razão D/I, chegando próximo de 80dB, sendo assim é claramente perceptível que a convergência do resultando é consequência da utilização do algoritmo RLS.

### C. Comparação entre estruturas de Arrays e Algoritmos

Com o intuito de ter uma visão geral a cerca do desempenho entre algoritmos e estruturas de Arrays, um novo cenário foi proposto para se observar o comportamento de todas as modalidades descritas neste artigo.

A situação imposta se baseia em uma fonte desejada localizada a 20° e duas variações nas fontes interferentes, em -60° e 70°. As figuras abaixo mostram o resultado obtido:

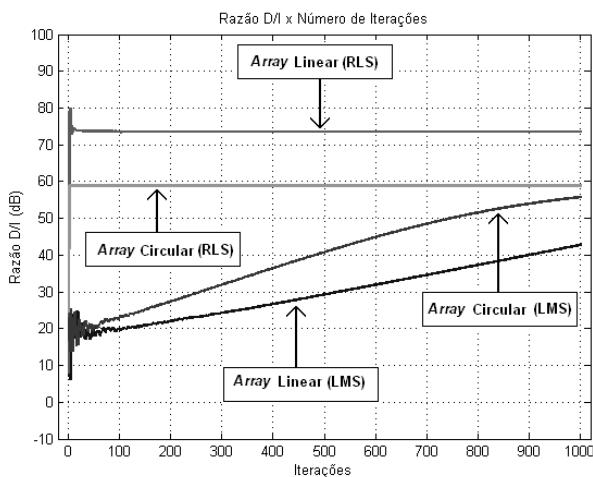


Fig. 9. Razão D/I x Iterações para o Array Linear e Circular (LMS e RLS) com fonte desejada em 20° e interferente em -60°

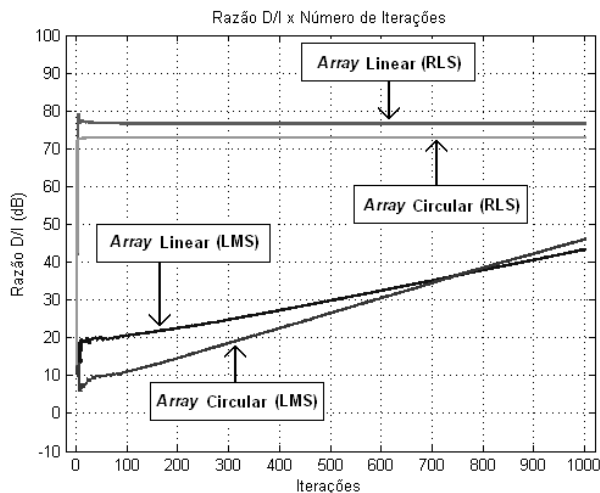


Fig. 10. Razão D/I x Iterações para o Array Linear e Circular (LMS e RLS) com fonte desejada em 20° e interferente em 70°

Além deste, diversos cenários foram simulados e em sua grande maioria foram obtidos estes resultados, portanto, dentre as quatro modalidades apresentadas neste artigo, quem

alcançou melhores resultados foi a combinação entre Arrays Linear e Algoritmo RLS.

## IX. CONCLUSÕES

Este artigo abordou duas estruturas (Linear e Circular) em Arrays de antenas adaptativas e dois algoritmos adaptativos (LMS e RLS) gerando assim quatro modalidades adaptativas que foram submetidas a cenários variados com o propósito de se realizar uma análise comparativa.

Depois de gerados todos os resultados, ficou clara a superioridade do Array Linear combinado com algoritmo RLS, porém, a atenção deve ser voltada para uma utilização em situação real, por exemplo, em ambiente de uma rede celular.

O algoritmo RLS por agregar maior complexidade computacional, poderia ser empregado em situações cuja variação com relação às fontes interferentes seja lenta e, por outro lado, o algoritmo LMS que apresenta menos custo computacional seria encarregado de administrar as interferências em ambientes que apresentem rápida variação do meio, liberando assim recursos computacionais para outros serviços como controle de potência e alocação de canais.

Verificando-se os resultados obtidos, percebeu-se que a melhor solução obtida com o algoritmo LMS foi a combinação do mesmo com um Array Circular. Por outro lado, o Algoritmo RLS obteve melhores resultados com o uso do Array Linear. Com isso, uma proposta de configuração seria utilizar Antenas Adaptativas com estruturas Circulares e algoritmo baseado em LMS, para ambientes com grande variabilidade de interferência e que precise de recursos (processamento) para gerenciar outros serviços.

Por outro lado, para ambientes menos sobrecarregados, a solução ideal seria o uso de estruturas lineares com adaptação baseada em algoritmo RLS agregando assim, maior robustez contra interferências.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Balanis, (1997) "Antennas Theory – Theory and Application", John & Wiley Sons, Inc., 2ª edição, ISBN 0-471-59268-4, p.941.
- [2] Haykin, S. (1996) "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall do Brasil Ltda, 3ª edição, Rio de Janeiro.
- [3] L. C. Godara. (1997) "Applications of Antenna Arrays to Mobile Communications, Part II: Beam-forming and Direction-of-arrival Considerations", Proceedings of the IEEE, vol.85, n0.8, pp. 1195-1245.
- [4] Litva, J. e Lo, T. K. (1996) "Digital Beamforming in Wireless Communications". Artech House Publishers, Londres.
- [5] M. A. Felzky, Uma contribuição às técnicas de localização de fontes sonoras através de um sistema sonar passivo utilizando filtros adaptativos, COPPE UFRJ, Mar. 2007
- [6] M. Mouhamadou, P. Vaudon e M. Rammal (2006) "Smart antennas array patterns synthesis: Null Steering and Multi-user Beamforming by phase control", França.
- [7] M. V. Guerra, Utilização de Antenas Adaptativas em Sistemas CDMA., Tese de mestrado, CETUC PUC, Set. 2001

[8] Osorio, A. F. S., Antenas Adaptativas: Conceitos e Aplicações em Comunicações Móveis, Tese de Mestrado, FEEC Unicamp, Jul. 1998

[9] Perri, E. B e Trintinalia, L. C. (2005) “Efeitor de acoplamento e de Banda de operação em redes de antenas adaptativas reais”, São Paulo.