
ESTUDO E SIMULAÇÃO DE ARRANJO DE ANTENAS

Nathane Mayra dos Santos Araújo

Marcos Stefanelli Vieira

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

Com o aumento significativo de usuários, o desempenho das redes de comunicações foi afetado requerendo a melhoria do meio de comunicação, uma vez que usuários de redes concorrentes compartilham o mesmo meio de comunicação lado a lado fisicamente, gerando interferências e diminuindo o desempenho do sistema. Para ter uma rede livre de interferências, consistente e sem interrupção independentemente do lugar, mantendo a qualidade, aplicam-se os arranjos de antenas, que consistem em ter seu padrão de radiação diretivo e dinâmico, que privilegia o sinal em uma determinada direção em um dado instante, minimizando o risco de interferências e irradiação em pontos nulos.

Palavras-chave: Arranjo de antenas. Interferência. Irradiação.

1 INTRODUÇÃO

O surgimento das redes de comunicações sem fio veio com o avanço tecnológico e a evolução, tanto da internet nos aparelhos móveis quanto da possibilidade de haver conexão em qualquer lugar.

Para haver uma comunicação eficiente tanto na transmissão quanto na recepção dos dados, é necessário que um dispositivo seja capaz de captar ondas eletromagnéticas, sendo vital o uso de antenas. De acordo com Balanis (2009, p. 2) um bom projeto de antena pode beneficiar todo o sistema de comunicação sem fio e agregar a este melhor desempenho.

Com o crescimento da capacidade de transmissão dos sistemas de telecomunicações atuais, antenas mais eficientes devem estar disponíveis para acompanhar essa evolução. Nesse contexto, as tecnologias de acesso móvel LTE e WiMax são importantes fontes de referência, e contam com arranjo de antenas para garantir um bom desempenho no enlace de rádio, uma vez que permitirão que os usuários do sistema móvel sejam privilegiados dinamicamente em relação à área de cobertura, tendo acesso à rede na maior parte do tempo com níveis de potência mais elevados em relação a eventuais interferidores que usem a mesma frequência ou a frequência adjacente.

O uso apropriado de arranjo de antenas pode beneficiar significativamente a qualidade das redes móveis, segundo Joshi (2016). Além disso, o feixe de radiação dessas antenas se torna dinâmico, adequando a qualidade de cobertura à mobilidade dos usuários.

Assim sendo, destaca-se o uso de arranjo de antenas, e no estudo realizado por Wahab et al. (2010) define-se que um arranjo ou *array* de antenas pode ser entendido superficialmente como a utilização de várias antenas, que depois de agrupadas convenientemente irão somar suas contribuições de campos irradiados ou recebidos, ampliando a eficiência de transmissão ou recepção tanto em ganho quanto em banda de operação. Esse conceito de agrupamentos de antenas é comumente conhecido por *beamforming*, dando surgimento às denominadas antenas inteligentes (IEEE 802.11, 2013).

De acordo com Boscolo et al. (2012, p. 11), redes sem fio de alta velocidade, como é o caso das redes de telefonia celular LTE, contam com técnicas de modulação adaptativa, multiplexação para acesso ao meio, além de arranjo de antenas para manter a rede com o melhor equilíbrio na relação velocidade/qualidade de comunicação.

Este trabalho apresenta um estudo comparativo sobre o comportamento de uma antena isolada, com dois tipos de arranjo de antenas, formados por mais de um elemento idêntico à antena isolada. Um dos arranjos conta com uma única fonte de alimentação para todos os elementos do conjunto, enquanto o outro mostrará o efeito dos elementos alimentados individualmente.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de caráter experimental e tem como objetivo estudar os campos irradiados a partir de um arranjo de elementos irradiantes, em comparação com um único elemento isolado, para possível aplicação na faixa de frequência usada no Wi-Fi.

Inicialmente simulam-se arranjos de antenas dipolos, verificando seu comportamento em função da defasagem de excitação. Características como o padrão de irradiação, diretividade e largura de banda, para a faixa de frequência da tecnologia Wi-Fi, são avaliados.

Em seguida, as mesmas análises serão feitas para uma antena planar, conhecida como Patch, inicialmente com um único elemento isolado.

Posteriormente, analisa-se um arranjo de antenas patch, com quatro elementos alimentados simultaneamente (lóbulo principal estático), para uma análise comparativa.

De modo complementar, um arranjo de antenas similar é simulado, porém com alimentação individual (lóbulo principal dinâmico), permitindo avaliar o esquema de feixe adaptativo da antena.

3 ANTENAS

A finalidade de cada antena influencia diretamente no dimensionamento de seus parâmetros, configurações e formato.

3.1 Parâmetros fundamentais das antenas

A partir dos seus formatos e do material utilizado para sua confecção, as antenas podem ser caracterizadas pelo seu padrão de irradiação, que trata da representação gráfica dos respectivos campos eletromagnéticos irradiados em campo distante. Além disso, outros parâmetros podem ser usados para sua definição, como sua diretividade e banda ou faixa de operação.

3.1.1 Diagrama de radiação

Inicialmente avaliam-se os campos irradiados a partir da variação espacial de E e H ao longo de um raio, denominando de padrão de intensidade de campo.

Em antenas diretivas, tem-se no diagrama de radiação a presença de lóbulos, sendo esses as porções do diagrama de irradiação que contenham a maior quantidade de energia irradiada, como se pode ver na Figura 1.

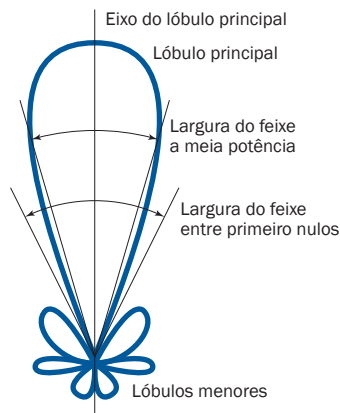


Figura 1 Diagrama de irradiação omnidirecional.

Fonte: Carvalho e Badinhan (2011, p. 115).

É possível constatar que o lóbulo principal contém a direção máxima de irradiação, sendo possível, no entanto, ter antenas com outros lóbulos significativos além do principal, denominados por lóbulos secundários ou laterais, sendo esses em geral indesejáveis.

3.1.2 Diretividade

Um parâmetro muito importante para caracterização das antenas trata da diretividade, a qual considera a razão entre a intensidade de radiação em uma dada direção e a intensidade de radiação isotrópica, como indicado pela Equação 1:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (1)$$

Quando não se tem a direção de radiação especificada, toma-se a intensidade de radiação máxima, a partir da Equação 2:

$$D_{\max} = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{\text{rad}}} \quad (2)$$

4 ARRANJO DE ANTENAS

Conhecendo os parâmetros de uma antena individual, pode-se imaginar o que aconteceria se várias antenas do mesmo tipo fossem alocadas próximas entre si, em que os diagramas de radiação de cada uma poderiam se sobrepor.

Para conseguir maior diretividade é possível modificar a geometria da antena, porém essa alteração nem sempre se torna inviável devido ao ambiente de operação da mesma, além da possibilidade de surgimento de lóbulos secundários.

Outra forma de se aumentar a diretividade da antena trata de modificar sua configuração elétrica e geométrica a partir do agrupamento conveniente de diferentes elementos radiantes. Nesse caso, a antena final se constitui de múltiplos elementos, formando um arranjo de antenas. Para melhor representação física de um arranjo, apresentam-se duas fontes isotrópicas e pontuais conforme mostra a Figura 2.

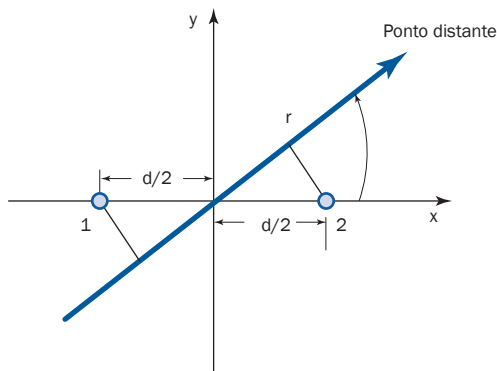


Figura 2 Duas fontes isotrópicas e pontuais.

Fonte: Adaptado de Kraus (1997, p. 119).

De acordo com Kraus (1997 p. 119), a fonte 1 tem seu campo atrasado, enquanto a fonte 2 tem seu campo adiantado, proporcional à $1/2dr.\cos \theta$, sendo d a distância entre as fontes, conforme indicado na Equação 3:

$$d_r = \frac{2\pi d}{\lambda} = kd \quad (3)$$

Dessa forma obtém-se a defasagem entre os campos provenientes da fonte 1 e da fonte 2, em um ponto qualquer na direção da reta com ângulo θ em relação à linha que passa pelas fontes, como mostra a Equação 4:

$$\psi = 2\pi \frac{d \cos \theta}{\lambda} + \beta \quad (4)$$

O ângulo θ corresponde ao ângulo formado a partir da linha que liga as fontes, no sentido anti-horário, e sendo assim, supondo fontes de mesma intensidade, o campo total medido em uma linha radial pode ser resumido conforme Equação 5.

$$E = E_1 e^{-j\frac{\psi}{2}} + E_1 e^{-j\frac{\psi}{2}} \quad (5)$$

De modo a averiguar o comportamento de uma rede, o Gráfico 1 mostra o diagrama de campo irradiado conforme o número de fontes na rede. N é o número de redes no sistema, e uma rede possui um par de elementos.

A percepção do comportamento para essa configuração é que, à medida que o número de fontes aumenta na rede, o diagrama se torna mais diretivo.

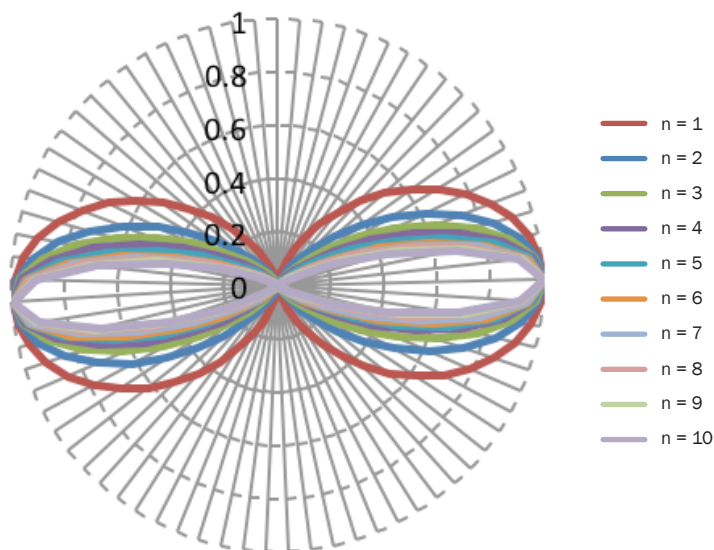


Gráfico 1 Diagrama polar do campo resultante para n redes.

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CST

O CST STUDIO SUITE é um *software* de simulação de antenas, dentre outras aplicações, operacional para uma elevada faixa de frequências. A partir de uma simulação convenientemente definida, é possível analisar o diagrama de radiação de uma antena, assim como seu respectivo Parâmetro S, sua impedância de entrada, ou da linha de transmissão utilizada para sua conexão com o gerador. O *software* ainda disponibiliza macros que ajudam na realização de cálculos e melhor enquadramento do sistema construído. O programa ajuda a prever as possíveis características resultantes, possibilitando ajustes de modo interativo para melhoria do modelo final projetado.

6 SIMULAÇÕES

Antenas dos tipos dipolos e *patches* são simuladas, comparando os casos de um único elemento com antenas de vários elementos.

6.1 Antena dipolo de meia onda de único elemento

Inicialmente foi simulado e analisado o comportamento de um dipolo de meia onda com um único elemento, sendo consideradas as características da Tabela 1.

O diagrama de irradiação, conforme Figura 3, é um diagrama omnidirecional, que tem φ constante no plano de elevação e não é direcional no plano azimutal.

TABELA 1

Especificações da antena dipolo de meia onda

F_0	1,0 GHz
Material	PEC (Condutor perfeito)
Diâmetro dipolo	0,5 mm
Comprimento ($\lambda/2$)	75 mm
Gap	4 mm

Fonte: Elaborada pelos autores.

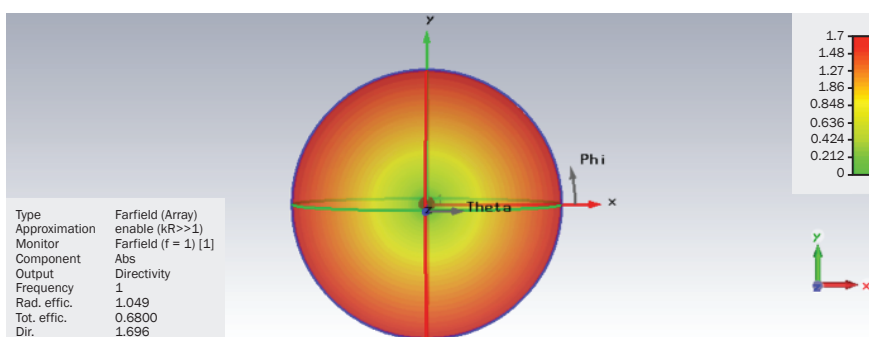


Figura 3 Padrão de radiação 3D Dipolo de meia onda.

Fonte: Elaborada pelos autores.

6.2 Antena dipolo de dois elementos - sem e com defasagem

Na Figura 4 tem-se o exemplo de um arranjo de antenas com dois dipolos que se encontram separados por uma distância d , com condição de análise em campo distante.

Inicialmente esta análise pretende abordar o caso em que os dipolos estão separados por uma distância igual a $d = \pi/4$, e com $\beta=0$, sendo β a defasagem na fonte de cada elemento. Isso permite definir a defasagem Ψ entre os campos irradiados pelos dois elementos, conforme indicado na Equação (4).

A partir da equação de defasagem é possível avaliar os ângulos θ em que os nulos ocorrem, dado que para tal deve-se atender a condição $\pi/4 \cdot \cos(\theta) = \pi/2$.

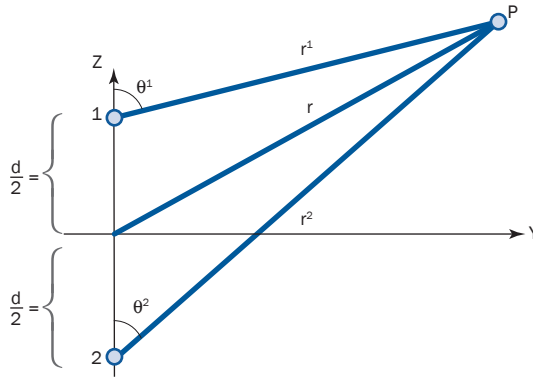


Figura 4 Modelo de Arranjo de antenas dipolo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com essa análise percebe-se que os nulos ocorrem apenas na situação em que $\theta_n=90^\circ$, devido ao diagrama dos elementos individuais. Esses casos foram simulados no CST para constatar as condições em que o campo é nulo, e ressalta-se que os dipolos foram orientados na direção do eixo x , logo os nulos ocorrem para $\phi=90^\circ$ e $\phi=180^\circ$, ao invés de ocorrerem em função do ângulo θ .

A Figura 5 indica o padrão de campo irradiado em duas dimensões (2D) em função do ângulo ϕ , e para $\theta=90^\circ$ fixo. A linha vermelha indica o feixe de radiação do sistema.

As simulações realizadas com defasagens de 90° e -90° resultaram nos diagramas das Figuras 6a e 6b, respectivamente.

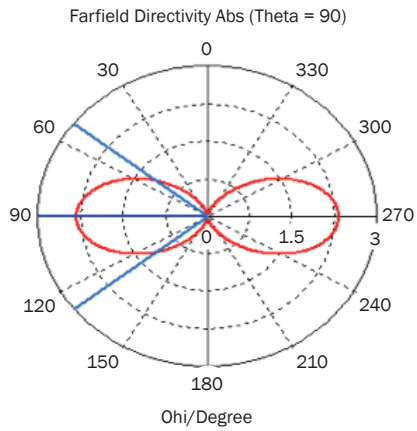


Figura 5 Diagrama de fase fontes sem defasagem.

Fonte: Elaborada pelos autores.

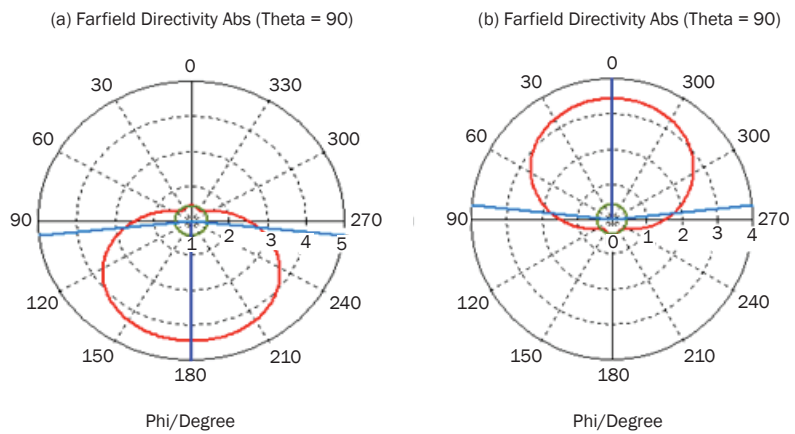


Figura 6 Diagrama de fase (a) $\beta = \pi/2$ (b) $\beta = -\pi/2$.

Fonte: Elaborada pelos autores.

6.3 Antena planar de único elemento

Para a simulação de um único elemento *patch*, é necessário o dimensionamento da antena. Na Tabela 2 tem-se as características da antena simulada, baseada nos estudos de Wahab et al. (2010).

TABELA 2

Especificações da antena *patch*

Frequência de Operação, f_0	2.5 GHz
Dielétrico (Substrato)	FR-4
Constante do Dielétrico (ϵ_r)	4.9
Espessura do Dielétrico	1.6 mm
Espessura do Condutor	0.035mm

Fonte: Wahab et al. (2010, p. 1).

Para o projeto dessa antena, como mostra Figura 7, ela é constituída de três partes, sendo elas o elemento irradiante, o transformador quarto de onda e a linha de transmissão.

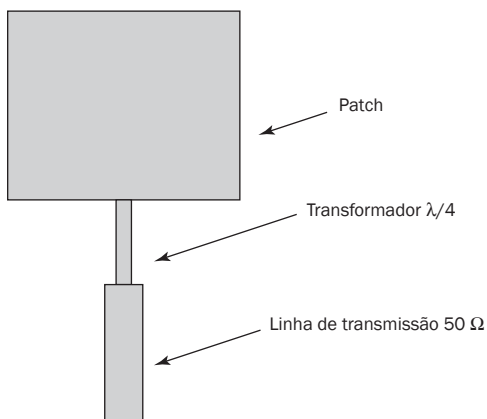


Figura 7 Antena *patch* com transformador de quarto de onda.

Fonte: Adaptado de Wahab et al. (2010, p. 1).

Para definição do elemento irradiante, são dimensionados a sua largura e o seu comprimento, indicados na Tabela 3, com valores aproximados.

TABELA 3

Especificações do elemento irradiante

	Comprimento (A)	Largura (B)
Dimensões (mm)	34,93	25,01

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para o cálculo da linha de transmissão, definiu-se a resistência do elemento irradiante, R_{in} , que por sua vez foi usada para calcular a impedância de casamento definida pelo transformador de quarto de onda. Com os valores de impedância dos trechos de linha definidos para casamento de impedâncias, encontraram-se as larguras físicas dessas, em função da espessura e permissividade elétrica do material dielétrico usado.

A linha de alimentação de 50 ohms considera o princípio de uma linha ideal, e a Equação 5 foi usada para o cálculo da impedância de linha que irá casar a impedância da linha de transmissão ideal com a antena em si. Essa técnica de casamento é denominada de transformador de quarto de onda, como definido em Pozar (2012, p.72).

$$Z = \sqrt{Z_0 * R_{in}} \tag{5}$$

A Tabela 4 apresenta os cálculos com base nas equações anteriores, para o casamento de impedância e largura das linhas, e a Figura 8 mostra a antena criada no CST para simulações, nestas condições.

TABELA 4

Resultado dos cálculos para linha de transmissão.

λ	120mm
G	$\cong 2,433mS$
R_{in}	$\cong 205\Omega$

(continua)

TABELA 4

Resultado dos cálculos para linha de transmissão.

Z_0	50Ω
Z	$\cong 100\Omega$

Fonte: Elaborada pelos autores.

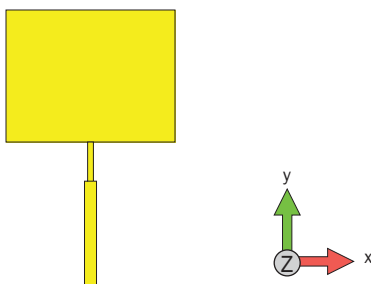


Figura 8 Antena Patch no CST STUDIO.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Gráfico 2 mostra a frequência de ressonância, e a de perda de retorno $S_{11} = -26,15$ dB indica que a antena está com a impedância casada.

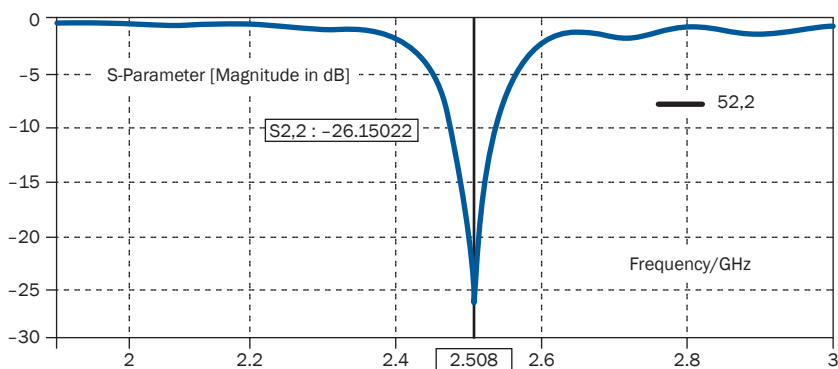


Gráfico 2 Parâmetro S da antena Patch.

Fonte: Elaborada pelos autores.

6.4 Antena planar com única fonte de excitação

Nessa simulação são usadas 4 antenas *patch* retangulares. Nota-se que todas as antenas têm a mesma dimensão, apresentando uma linha de alimentação de 50 Ohms e um transformador de quarto de onda, construída sequencialmente para se obter o casamento de impedâncias (MILLIGAN, 2005, p. 328), conforme indicado na Figura 9.

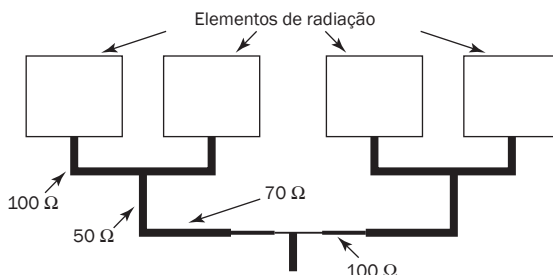


Figura 9 Arranjo de antenas de quatro elementos única fonte.

Fonte: Wahab et al. (2010, p. 1).

A Tabela 5 indica as impedâncias e respectivas larguras de linha em mm.

TABELA 5

Dimensão da linha de impedância.

Impedância	Largura (mm)	Comprimento (mm)
50 Ω	2.81972	31.41489
70.71 Ω (Z)	1.49951	16.09361
100 Ω	0.62167	33.05226

Fonte: Wahab et al. (2010, p. 1).

A simulação desse arranjo de quatro elementos indicou ressonância na frequência esperada (2,5 GHz), como mostra o Parâmetro S1,1 indicado no Gráfico 3. Por sua vez a Figura 10 mostra o diagrama de irradiação resultante.

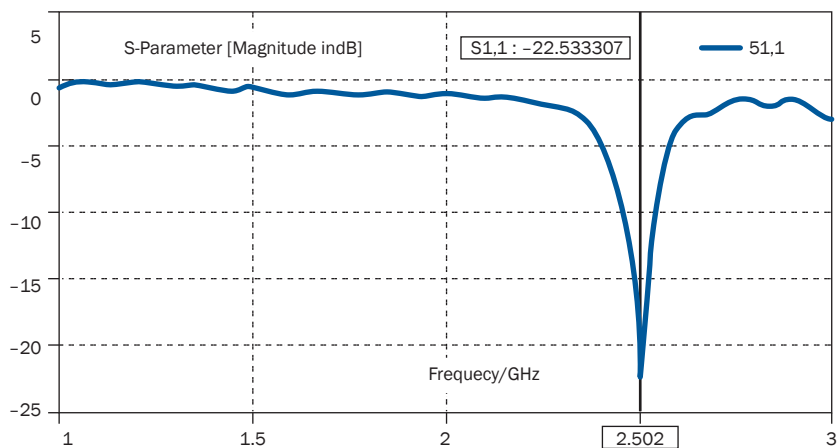


Gráfico 3 Parâmetro S1,1 arranjo antenas Patch única fonte.

Fonte: Elaborada pelo autor.

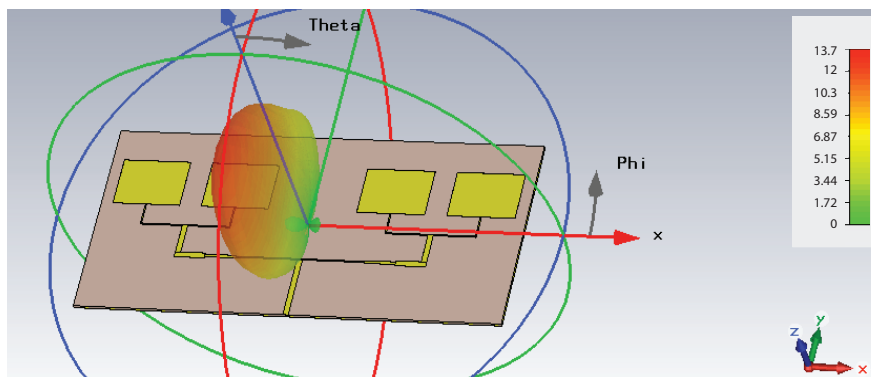


Figura 10 Diagrama de radiação do arranjo com quatro elementos.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores simulados foram bem próximos em relação ao estudo de Wahab et al. (2010) validando o ambiente de simulação, e uma rápida avaliação dos resultados do caso com um único elemento, em comparação com o arranjo de quatro elementos, mostra que este último é bem mais diretivo, indo de $D_0 = 5,73$ para $D_0 = 13,74$.

No entanto, a direção do lóbulo principal é fixa, e a vantagem de poder direcionar os pontos de máxima irradiação de campo para uma dada direção, e nulos para outras como foi feito anteriormente para o caso de duas antenas dipolo de meia onda, torna-se impraticável. Por esse motivo o item a seguir apresenta um novo jogo de simulações, novamente com antenas *patch*, porém com diferentes fontes de excitação.

6.5 Antena planar com fontes distintas

Essas simulações retratam um sistema de 4 antenas semelhante ao anterior, com fontes distintas de excitação. As Figuras 11a e 11b mostram, respectivamente, as separações de cada elemento e o arranjo final simulado, conforme indica a Tabela 6.

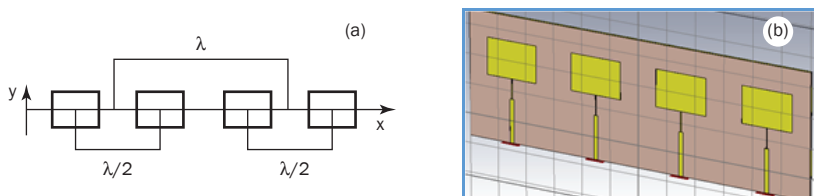


Figura 11 Arranjo de quatro elementos - (a) Separações (b) Esquema simulado.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Gráfico 4 indica a condição de casamento na frequência de ressonância.

TABELA 6

Principais configurações de defasagem

Simulação	Amplitude	Fase da alimentação	Diretividade	Ganho	θ
1	1;1;1;1	0;0;0;0	16,64	9,265	0
2	1;0;0;1	150;180	11,23	4,58	5
3	1;1;0;0	180;0	9,687	4,159	-18/18
4	1;1;1;1	0;180;0;45	12,51	6,024	18
5	1;1;1;1	0;180;0;180	9,082	4,601	-22/22
6	1;1;1;1	180;120;0;0	10,21	4,412	27

(continua)

TABELA 6

Principais configurações de defasagem

Simulação	Amplitude	Fase da alimentação	Diretividade	Ganho	θ
7	1;1;1;1	180;180;0;0	8,241	3,438	-33/33
8	1;1;1;1	45;180;180;0	8,916	2,427	50
9	1;1;1;1	0;180;180;0	6,839	1,724	-54/54

Fonte: Elaborada pelo autor.

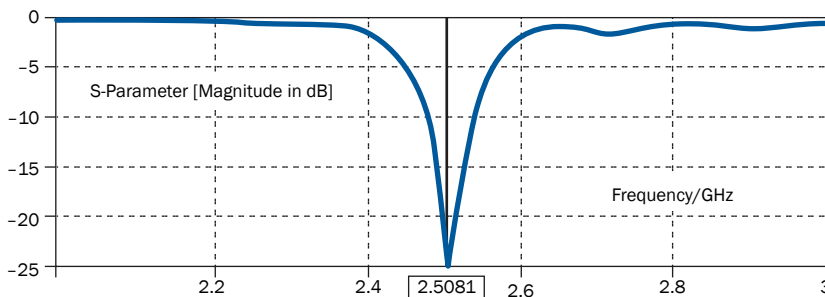


Gráfico 4 Parâmetro S1,1 - Arranjo de Antenas com quatro elementos.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 12 mostra que em função do modo de excitação podem surgir um ou mais lóbulos resultantes, movimentando-se cerca de 54 graus para a direita e para a esquerda. Nos diagramas com mais de um lóbulo principal com diretividade e ganhos consideráveis, se houvesse um interferidor entre dois usuários seria possível direcionar o nulo do diagrama para o interferidor, e os dois lóbulos para os dois usuários.

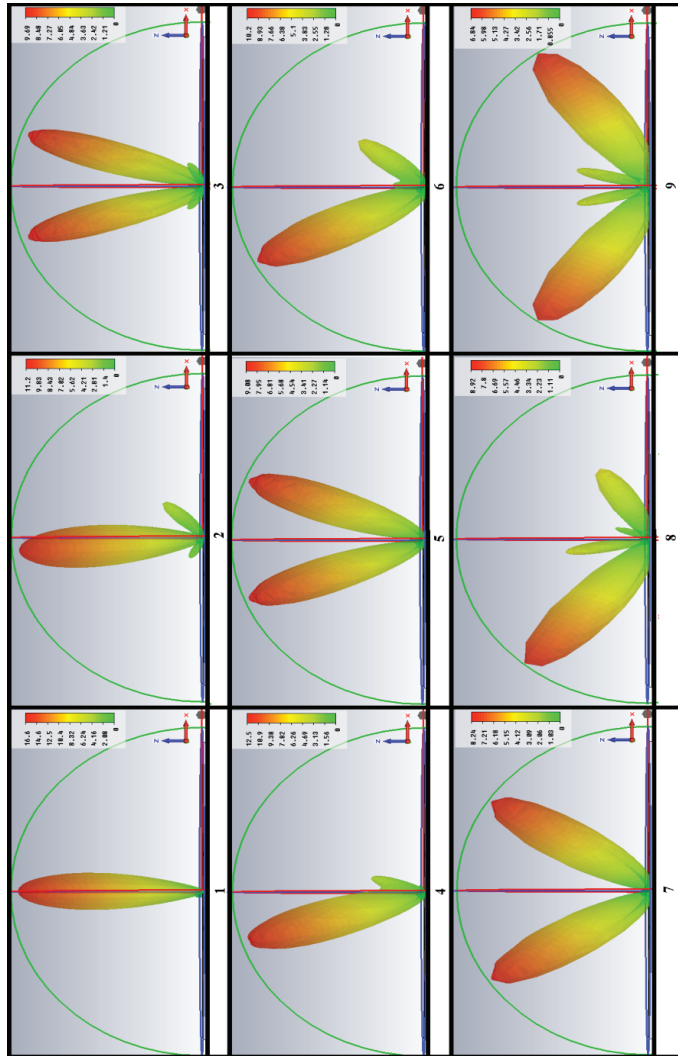


Figura 12 Padrão de radiação referente à Tabela 6.

Fonte: Elaborada pelo autor.

7 CONCLUSÃO

A busca por meios de comunicação mais robustos tem crescido exponencialmente na última década.

Os sistemas móveis celulares exemplificam a busca por melhorias no enlace de comunicação sem fio, com um dos principais focos no uso de antenas inteligentes, que visam desde a melhoria de cobertura das redes, até a minimização de interferências de forma dinâmica, o que era extremamente difícil anteriormente nos casos em que as antenas tradicionais tinham padrão de irradiação estático.

Usar arranjo de antenas permite que o sistema se ajuste tanto na transmissão quanto na recepção, em função da posição e condição de sinal dos usuários.

Antenas inteligentes podem, portanto, moldar a irradiação de sinal de cada rádio base, com foco na cobertura e eventual interferência “sentida” pelo usuário da rede.

Neste trabalho foi possível observar, a partir da análise de estudos teóricos e simulações, que aumentar a quantidade de elementos de um arranjo de antenas pode aumentar a diretividade gerando, no entanto, lóbulos secundários.

Através das simulações foi possível comprovar que o aumento na diretividade e no ganho está relacionado ao número de elementos no sistema, pois a diretividade em comparação com a antena de um único elemento tendeu a aumentar já para o caso em que dois elementos foram considerados, e ainda mais quando se teve quatro elementos.

A simulação decorrida do arranjo de antenas com uma única fonte de excitação apresentou alta diretividade e ganho, sem presença de lóbulos secundários, o que mostra ser satisfatório para uma antena diretiva. No entanto, seu padrão de irradiação consiste em um padrão estático, e com isso, para que o sistema atendesse a todos os usuários, ou desviasse de possíveis interferidores, seria necessária a implantação de um mecanismo que movesse a antena de acordo com a direção de cobertura desejada.

STUDY AND SIMULATION OF ANTENNA ARRAY

Abstract

The significant increase of users the performance of telecommunication network has been directly affected, resulting in the constant need of upgrade of the Network infrastructure. Once users of different network providers share the same side by side physical network infrastructure, it generates interference and downgrade the system performance. In order to have a consistent fully available high quality interference-free network regardless the location, the antenna array is considered. Antenna array

consists on having its own directive and dynamic radiation patterns, which improves the signal on a given direction and moment, therefore reducing the risk of irradiation and interference in empty spots.

Keywords: Antenna array. Interference. Irradiation.

REFERÊNCIAS

- BALANIS, C. A. *Antenna Theory: analysis and design*. 4. ed. New Jersey: John Wiley, c.2016. 1096 p.
- BOSCOLO, J. P. C. et al. *Influências das antenas inteligentes e modulação adaptativa no long term evolution*. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2012.
- CARVALHO, A. G. de; BADINHAN, L. F. da C. *Eletrônica. Telecomunicações*. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011.
- IEEE 802.11 – Instituto de Engenheiros Eletricista e Eletrônicos. IEEE 802.11TM WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS. 1997. Disponível em: <<http://www.ieee802.org/11/>>. Acesso em: 27 abr. 2017.
- JOSHI, M. *Design and simulation of high gain microstrip patch Antenna Array*. German: Lap Lambert Academic Publishing, 2016. 60 p.
- KRAUS, J. D. *Antennas*. 2. ed. New York: Tata McGraw-Hill, 1997.
- MILLIGAN, T. A. *Modern Antenna design*. 2. ed. New York: JohnWiley & Sons, Inc, 2005.
- POZAR, D. M. *Microwave engineering*. 4. ed. New York: JohnWiley & Sons, Inc, 2012.
- WAHAB, N. A. et al. Microstrip Rectangular 4x1 Patch Array Antenna at 2.5GHz for WiMax Application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE, COMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORKS, 2., 2010, Shah Alam, Selangor. Conference on Computational Intelligence. Malaysia: Universiti Teknologi, 2010. v. 11, p. 1 - 5.

Contato

Marcos Stefanelli Vieira
marcos.vieira@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em fevereiro de 2017.
Aprovado em abril de 2017.