



PRPG | Pós-Graduação
PIBIC/CNPq/UFPG-2009

REDES DE ADAPTAÇÃO DE IMPEDÂNCIA PARA ANTENAS INTEGRADAS ATIVAS PLANARES

Ayslan Caisson N. Maia ¹, Glauco Fontgalland ²

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de projetar antenas ativas e circuitos de adaptação de impedância, ambos operando na frequência de 2,45 GHz. Um ponto importante a ser considerado é o fato de que a rede de adaptação foi projetada de forma a atingir o casamento para uma larga faixa de impedâncias da antena e o fato da mesma ser complexa. Uma vez determinada essa rede de casamento de impedância, utilizamos o software CST Microwave Studio para a modelagem eletromagnética 3D necessário para determinação dos parâmetros de espalhamento e resolução espacial do diagrama de irradiação. Foi conseguida a adaptação para uma antena com característica indutiva e outra antena com característica capacitiva, possibilitando as mesmas um maior rendimento.

Palavras-chave: antenas planares, casamento de impedância, coeficiente de reflexão

IMPEDANCE ADAPTATION NETWORKS FOR INTEGRATED ACTIVE PLANAR ANTENNAS

ABSTRACT

This work had the goal of designing active antennas and impedance adaptation circuits, both operating at the frequency of 2.45 GHz. A very important point to be taken into consideration is the fact that the adaptation network was designed to achieve the matching for a large number of the antenna's impedance and that this impedance is complex. Once it is determined the impedance matching, we used the software CST Microwave Studio for the 3D electromagnetic modeling required for the determination of the spreading parameters and space resolution of the radiation diagram. It was reached the adaptation for an antenna with inductive characteristics and another antenna with capacitive characteristics, bringing a better performance for both.

Keywords: planar antennas, impedance matching, reflection coefficient.

INTRODUÇÃO

No atual sistema de comunicação, utilizado em todas as aplicações sem fio, as antenas são os componentes mais importantes no enlace de transmissão. As antenas ativas planares se encaixam em uma área de estudo muito abrangente, envolvendo não só a área de microondas como também a de microeletrônica. Esse tipo de antena é caracterizado por ter uma tecnologia que mescla antenas planares com a técnica utilizada em circuitos planares de microondas.

Desta forma, as antenas ativas apresentam, além de características de uma antena passiva, a função adicional de processar o sinal a ser transmitido ou recebido. Essa combinação permite a antena apresentar funções de operação adicionais como duplexação, filtragem e defasagem.

¹ Aluno de Curso de Engenharia Elétrica, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: ayslancaisson@hotmail.com

² Engenheiro Elétrico, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Elétrica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: gfontgalland@yahoo.fr

O tratamento dos elementos ativos, amplificadores à FET ou transistor, segue os mesmos conceitos aplicados na eletrônica com a inclusão de parâmetros ligados as altas frequências: acoplamento, comportamento não-ideal dos elementos, impedância complexa e parâmetros de espalhamento.

Os parâmetros ganho, diretividade, eficiência, impedância, coeficiente de reflexão e diagrama de irradiação são alguns dos parâmetros que são alterados durante a ativação do elemento não linear, na antena ativa. No caso particular de um único elemento (antena) esses parâmetros são suficientes na determinação das novas funções da antena. O desenvolvimento de um primeiro protótipo de antena ativa com um elemento irradiador permite avaliar a possibilidade de utilização de teorias clássicas de arranjos de antenas.

Sabe-se que a avaliação de um sistema de transmissão está diretamente relacionada à característica de irradiação da antena e, portanto, a análise dos parâmetros de propagação e reflexão.

Para que haja total transferência de potência entre a linha de alimentação e a antena, é necessário um perfeito casamento de impedância entre as partes. Isso evitará a formação de onda refletida e, portanto, o não aparecimento de onda estacionária ao longo da linha. O não atendimento a esse casamento poderá provocar sérios problemas para linha e para o transmissor, além de ocasionar perda no sinal entregue à antena.

O sistema apresentará a melhor eficiência possível quando todos os estágios tiverem impedâncias, de saída e entrada, iguais às impedâncias características da linha de transmissão ou alimentação do estágio seguinte.

Para atingir uma gama grande de impedâncias adaptadas, um coeficiente de reflexão não ideal foi considerado na determinação dos valores do indutor e do capacitor utilizados na rede de adaptação.

MATERIAL E MÉTODOS

Este projeto foi desenvolvido no Laboratório de Eletromagnetismo e Microondas Aplicados do Departamento de Engenharia Elétrica no Centro de Engenharia Elétrica e Informática da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

Neste trabalho analisou-se um sistema de transmissão que funciona em uma frequência de 2.45 GHz sendo constituído de uma antena que é alimentada através de uma linha de transmissão com impedância Z_0 igual a 50 Ω .

Circuito Adaptador

Considerou-se que antena apresenta uma impedância complexa Z_L variável em um determinado intervalo, podendo ter característica capacitiva ou indutiva. Sendo Z_0 diferente de Z_L o sinal de retorno tem amplitude e fase dependentes da carga da antena. Quando o sistema opera dessa maneira, diz-se que o mesmo está descasado, o que caracteriza uma situação indesejável.

Para solucionar o problema descrito aplicou-se uma técnica de adaptação de impedância que consiste em adicionar um quadripolo formado por elementos reativos entre a linha e a antena, de acordo com a ilustração da Figura 1.

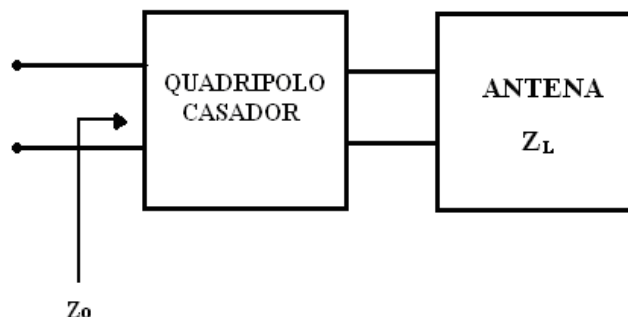


Figura 1. Sistema de transmissão: antena e rede de casamento

A carta de Smith pode ser dividida em quatro regiões em função das características da impedância. Cada região apresenta diferentes possibilidades de quadripolos que podem efetuar a adaptação de impedância utilizando apenas dois elementos reativos, conforme é ilustrado na Figura 2.

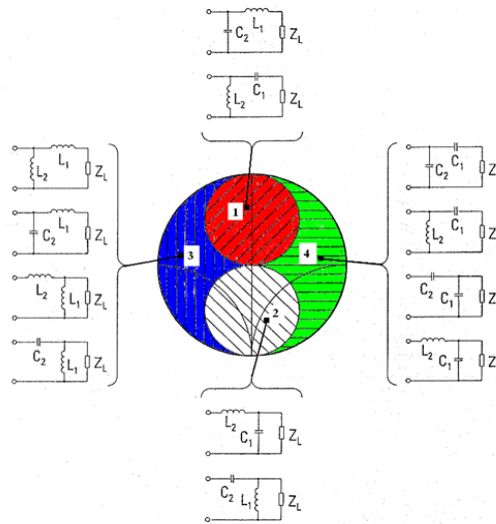


Figura 2: Casamento por quadripolo

Estes circuitos são denominados de redes em Γ ou adaptadores em L, devido à semelhança de sua distribuição na linha com a letra Γ ou L. Cada um é composto por um capacitor e um indutor, dos quais um é em série e outro em paralelo com a antena.

A principal ferramenta usada para obtenção dos valores dos elementos reativos que compõem o quadripolo é a carta de Smith. Inicialmente foi calculada a impedância normalizada da antena e descobriu-se em qual região ela se encontra na carta. Em seguida identifica-se na carta de Smith a região correspondente a faixa de valores de impedância considerada.

De acordo com a área da variação da impedância da antena selecionamos um circuito para realizar o casamento. Uma vez determinado a configuração da rede de casamento, o problema se reduz a encontrar os valores para os elementos reativos do quadripolo. Esses elementos devem permitir o casamento de impedâncias da maior parte possível dos pontos pertencentes à área, na carta de Smith, correspondente à variação da impedância da antena.

Para o primeiro caso considerou-se uma antena que apresenta uma impedância complexa capacitiva Z_L variando da seguinte forma: $Z_L = [35, 70] - j[150, 280] \Omega$. Esta variação de impedância pode ser representada pela área destacada na carta de Smith da Figura 3.

De acordo com a localização da área destacada na Figura 3 é possível, com o auxílio da carta de Smith, determinar a configuração do circuito a ser utilizado na adaptação (Figura 4).

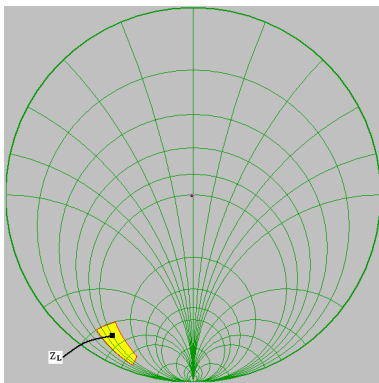


Figura 3. Variação da impedância da antena capacitiva

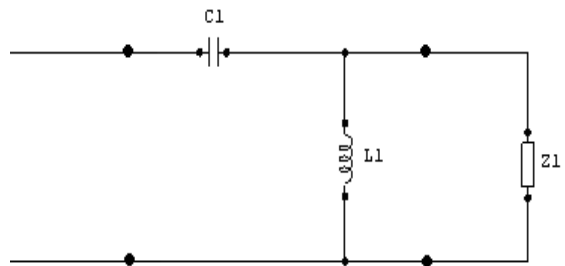


Figura 4. Quadripolo adaptador de impedância

Em seguida considerou-se que a antena apresenta uma impedância complexa indutiva Z_L variando da seguinte forma: $Z_L = [35, 70] + j[150, 280] \Omega$. Esta variação de impedância pode ser representada pela área destacada na carta de Smith da Figura 5. Seguindo o mesmo raciocínio utilizado para antena capacitiva verifica-se que, o circuito que melhor se adequa a área da variação da impedância da antena representada na Figura 4, é o mostrado na Figura 6.

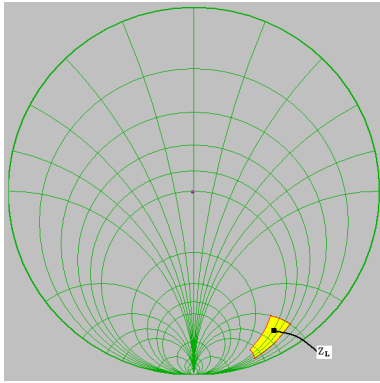


Figura 5. Variação da impedância da antena indutiva

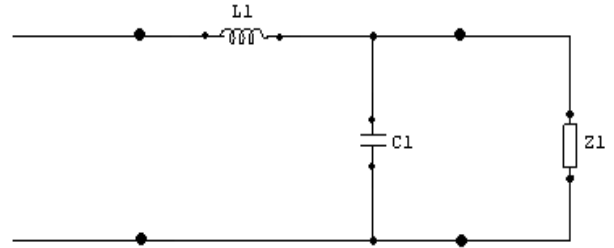


Figura 6. Quadripolo adaptador de impedância

Após a realização do casamento com a rede adequada considera-se satisfatório os pontos de impedância que tiverem o valor de coeficiente de reflexão menor que 0,35, correspondendo a um coeficiente de espalhamento S_{11} de aproximadamente -10 dB.

Logo, a maior parte possível dos pontos de impedância da carga Z_L deverão ser deslocados para uma impedância, vista pela entrada, dentro do círculo vermelho do diagrama de Smith indicado na Figura 7.

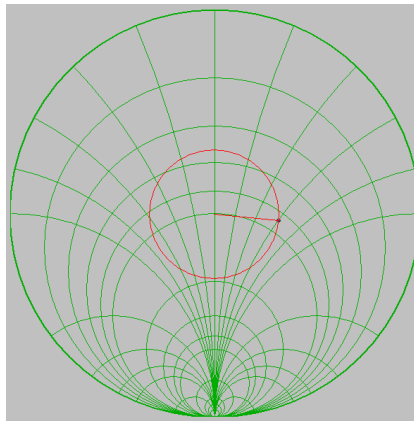


Figura 7. Círculo que representa a região dos pontos de coeficiente de reflexão igual a 0,35

Com o auxílio do software Matlab calculou-se os elementos reativos, indutor e capacitor, que realizam adaptação do maior número de pontos da área correspondente a variação da impedância de cada antena. A cada teste ajustou-se o valor do indutor e do capacitor para obtenção da maior quantidade de pontos com coeficiente de reflexão menor que 0,35.

Antenas

No campo das antenas impressas e em especial das antenas de microlinha, procura-se continuamente antenas que, além de compactas, apresentem um aumento na largura de banda, dada a inerente característica de banda estreita destas antenas. O objetivo específico deste trabalho foi desenvolver antenas, com determinada impedância complexa, operando em 2,45GHz. O tipo de antena bowtie, ilustrado na Figura 8, foi selecionado, devido ao fato dele apresentar a menor área impressa entre os tipos de antenas estudadas.

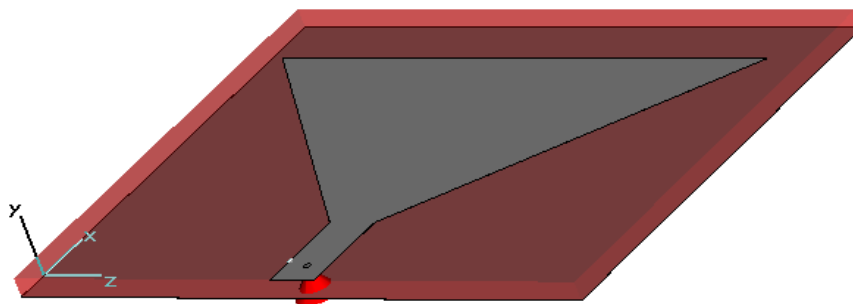


Figura 8. Antena bowtie

Uma contribuição deste trabalho com relação a este tipo de antena bowtie, foi constatar através de simulações, a existência de uma estreita dependência da segunda frequência de ressonância com a largura (W) da antena. Também foi observado que na segunda ressonância, a antena apresenta maior largura de banda que na frequência fundamental. Finalmente, uma antena bowtie com as características desejadas foi implementada.

Através de simulações utilizando o software CST Microwave Studio, realizou-se vários testes até se determinar as dimensões da antena que proporcionam características de impedância complexa desejadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Circuito Adaptador

Seguindo o processo descrito anteriormente, os valores dos componentes da rede, para antena capacitiva, que melhor apresentaram adaptação, indutor e capacitor, foram respectivamente: $L = 7,2 \text{ nH}$ e $C = 0,34 \text{ pF}$. De forma análoga, os valores dos componentes da rede, para antena indutiva, que melhor apresentaram adaptação, indutor e capacitor, foram respectivamente: $L = 13 \text{ nH}$ e $C = 0,57 \text{ pF}$. A seguir são apresentadas tabelas com o coeficiente de reflexão para alguns pontos da área a ser casada, para cada antena.

Tabela 1. Antena capacitiva

Impedância da Antena Normalizada (Ω)	Coefficiente de Reflexão
0.7000 - 3.6000i	0.4766
0.7500 - 3.7500i	0.4118
0.8000 - 3.9000i	0.3472
0.8500 - 4.0500i	0.2852
0.9000 - 4.2000i	0.2294
0.9500 - 4.3500i	0.1852
1.0000 - 4.5000i	0.1610
1.0500 - 4.6500i	0.1628
1.1000 - 4.8000i	0.1865
1.1500 - 4.9500i	0.2223
1.2000 - 5.1000i	0.2628
1.2500 - 5.2500i	0.3041
1.3000 - 5.4000i	0.3443
1.3500 - 5.5500i	0.3825
0.7000 - 5.4000i	0.5179
0.7500 - 5.2500i	0.4547
0.8000 - 5.1000i	0.3901
0.8500 - 4.9500i	0.3254
0.9000 - 4.8000i	0.2630
0.9500 - 4.6500i	0.2063
1.0000 - 4.5000i	0.1610
1.0500 - 4.3500i	0.1371
1.1000 - 4.2000i	0.1422
1.1500 - 4.0500i	0.1704
1.2000 - 3.9000i	0.2097
1.2500 - 3.7500i	0.2524
1.3000 - 3.6000i	0.2951
1.3500 - 3.4500i	0.3362
1.4000 - 3.3000i	0.3751

Tabela 2. Antena indutiva

Impedância da Antena Normalizada (Ω)	Coefficiente de Reflexão
0.7000 - 3.6000i	0.5035
0.7500 - 3.7500i	0.4373
0.8000 - 3.9000i	0.3695
0.8500 - 4.0500i	0.3017
0.9000 - 4.2000i	0.2366
0.9500 - 4.3500i	0.1782
1.0000 - 4.5000i	0.1347
1.0500 - 4.6500i	0.1200
1.1000 - 4.8000i	0.1393
1.1500 - 4.9500i	0.1783
1.2000 - 5.1000i	0.2238
1.2500 - 5.2500i	0.2701
1.3000 - 5.4000i	0.3148
1.3500 - 5.5500i	0.3570
0.7000 - 5.4000i	0.4837
0.7500 - 5.2500i	0.4164
0.8000 - 5.1000i	0.3483
0.8500 - 4.9500i	0.2815
0.9000 - 4.8000i	0.2191
0.9500 - 4.6500i	0.1667
1.0000 - 4.5000i	0.1347
1.0500 - 4.3500i	0.1345
1.1000 - 4.2000i	0.1623
1.1500 - 4.0500i	0.2036
1.2000 - 3.9000i	0.2489
1.2500 - 3.7500i	0.2940
1.3000 - 3.6000i	0.3373
1.3500 - 3.4500i	0.3780
1.4000 - 3.3000i	0.4159

A partir da análise dos valores marcados em amarelo nas Tabelas 1 e 2 pode-se observar que a adaptação foi realizada com sucesso para uma grande faixa de valores de impedância. A faixa de variação de impedância da antena capacitiva alcançada para adaptação foi de aproximadamente $Z_L = [40, 67.5] - j[180, 275] \Omega$. Isso representa uma adaptação satisfatória de impedância, considerando todo o círculo de raio 0,35, de 76% dos pontos. Já para antena indutiva a faixa de variação de impedância alcançada para adaptação foi de aproximadamente $Z_L = [42.5, 67.5] + j[180, 267.5] \Omega$. Isso representa uma adaptação satisfatória de impedância, considerando todo o círculo de raio 0,35, de 72% dos pontos.

Antenas

Após os vários testes, obtiveram-se as seguintes dimensões para cada tipo de antena:

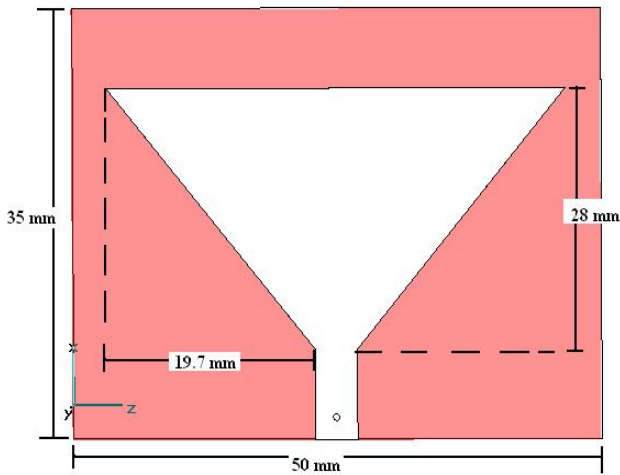


Figura 9. Antena Capacitiva

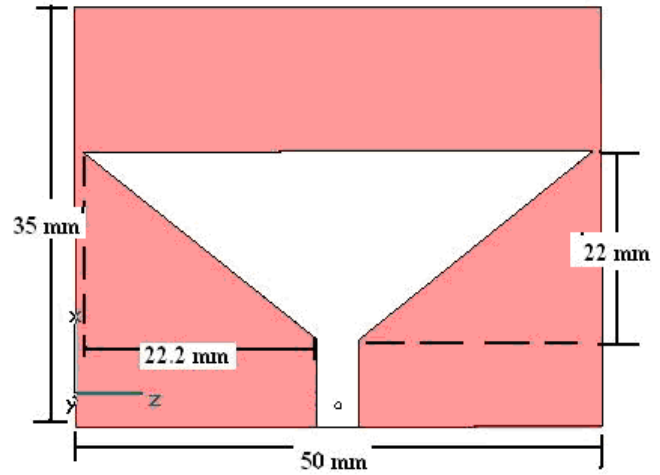


Figura 10. Antena Indutiva

A antena capacitiva apresentou uma impedância complexa que varia com a frequência de acordo com os gráficos abaixo.

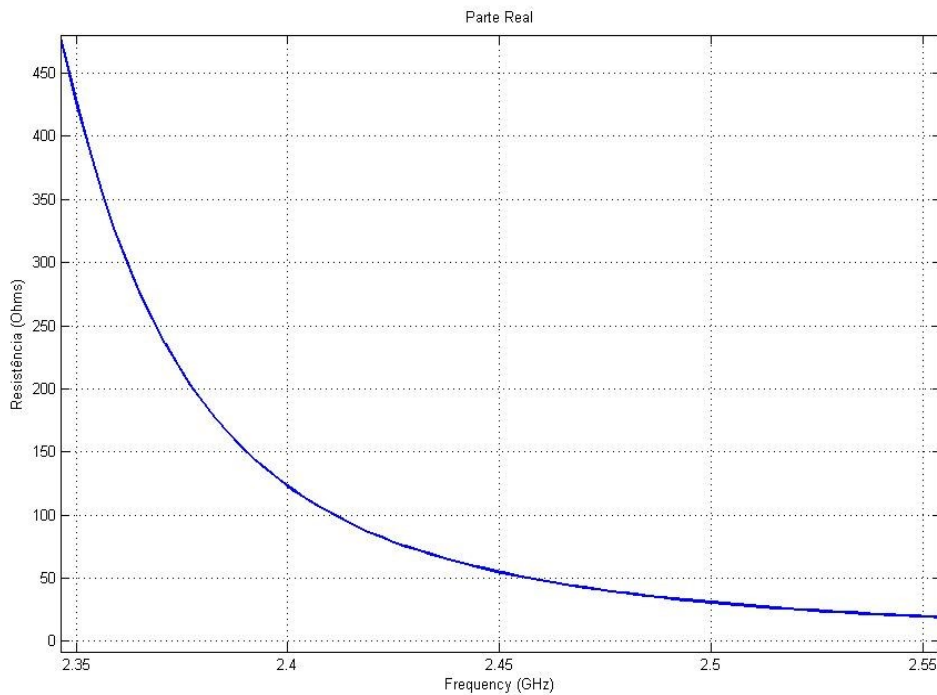


Figura 11. Parte real da impedância da antena capacitiva

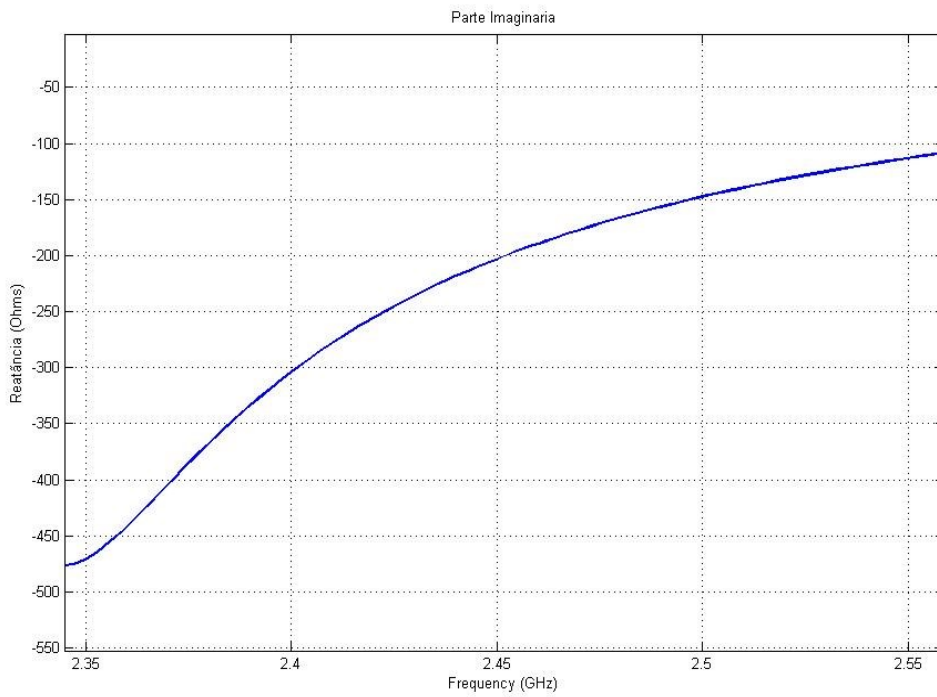


Figura 12. Parte imaginária da impedância da antena capacitiva

Já a antena indutiva apresentou uma impedância complexa que varia com a frequência da seguinte forma.

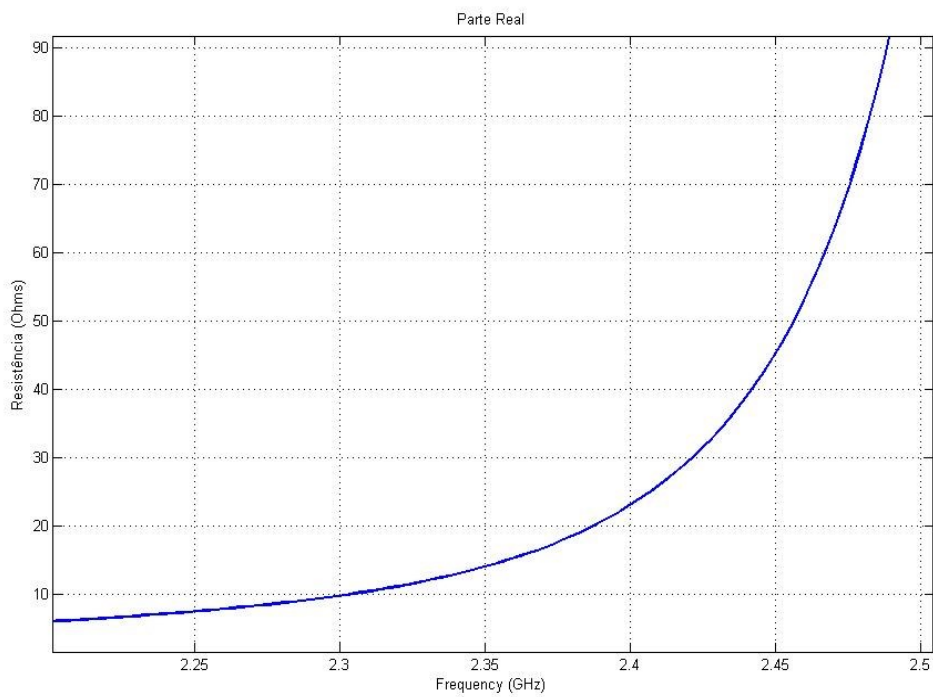


Figura 13. Parte real da impedância da antena indutiva

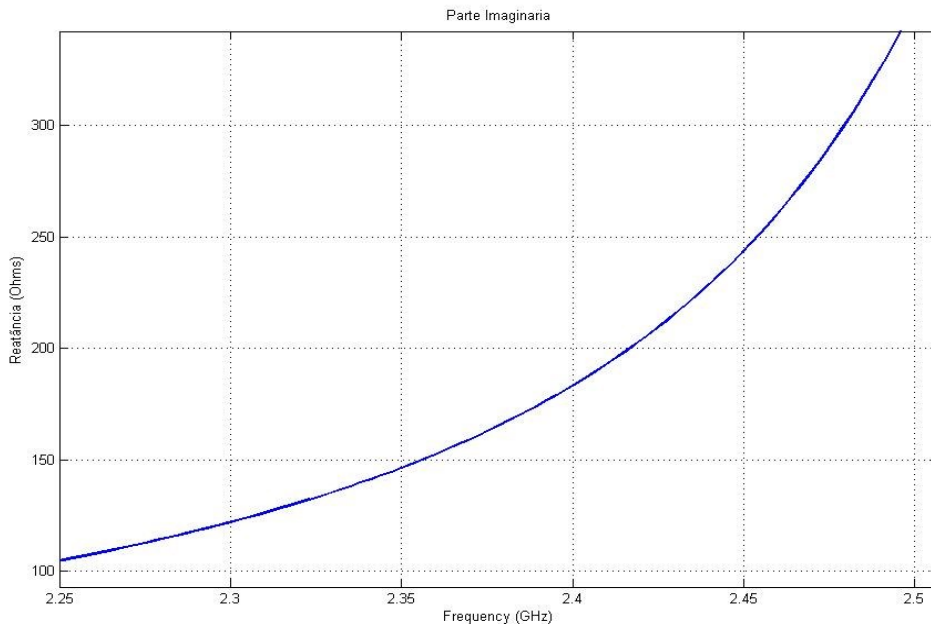


Figura 14. Parte imaginária da impedância da antenna indutiva

De acordo com os gráficos acima, verificou-se os seguintes valores de impedância na frequência de 2,45 GHz: antenna capacitiva, $Z = 54,6 - j203$ e antenna indutiva, $Z = 45,3 + j243,4$.

Após a adaptação, obteve-se um coeficiente de reflexão igual a 0,1367, para antenna capacitiva, e 0,2334 para antenna indutiva.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o método empregado nesse trabalho etapa para adaptação de impedância foi eficaz. As antenas ativas alimentadas por circuitos amplificadores poderão ter um maior rendimento, devido à boa adaptação, utilizando a rede Γ de elementos reativos proposto. Isso implica em uma maior flexibilidade na escolha do circuito para essas antenas e na substituição de componentes, na manutenção. Outra vantagem da rede de adaptação é a possibilidade da variação da impedância da antenna quando da proximidade com outros elementos metálicos, ou quando as mesmas sofrem o processo de corrosão.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica e ao professor Glauco Fontgalland pela oportunidade de trabalhar nesse projeto, que foi bastante motivante, pois, além de adquirir experiência na realização de pesquisas, obtive um considerável aprendizado técnico científico na área de microondas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SARABANDI, K., "**Frequency selective surface with miniaturized elements**", IEEE Trans. on Antennas & Propagação, pp 1239-1245, vol. 55, May 2007.
- H. TRABELSI, A. GHARSALLAH, H. BAUDRAND and L. DESCLOS, "**Global Electromagnetic Analysis of Microwave Circuits Including Lumped Elements Based on Iterative Method**", IEEE, AP., pp.742-745, 2003.
- BELLOFIORE, S., "**Smart antennas system analysis, integrated and performance for mobile Ad-Hoc networks (MANET'S)**", IEEE Trans. on Antennas & Propagação, pp 571-582, AP, May 2002.
- CHANG, K., "**Active integrated antennas**", IEEE Trans. on Microwave Theory & Tech., pp. 937-944, vol. 50, March 2002.
- FLAVILIS, F., "**Planar microwave integrated phased-shifter design with high purity ferroelectric material**", IEEE Trans. on Microwave Theory & Tech., pp963-969, vol-45, June 1997.