

SEL0361 Laboratório de Telecomunicações - Projeto de Antena *Dual Band* em Metamaterial *FR4*

1st Eduardo de Almeida

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação

Universidade de São Paulo

São Carlos, Brasil

nUSP:8066631

Abstract—Neste projeto, implementou-se uma estrutura de antena em micro fita com característica de banda dupla obtida por meio da teoria de metamateriais, utiliza-se principalmente a técnica de anéis ressonantes chamada *complimentary split ring resonator (CSRR)* [1]. baseando-se na topologia proposta pelo artigo [2] foi possível simular e fabricar a antena em laboratório para aplicações na frequência de especificações do projeto. O objetivo deste trabalho é obter uma eficiente antena patch em metamaterial economicamente viável com as ferramentas de análises aprendidas durante no semestre na disciplina *SEL0361 Laboratório de telecomunicações*. Além disso, o metamaterial disponível no laboratório de telecomunicações para implementação do projeto foi o *fr4*, cuja característica reflete o que existe contemporaneamente de estado da arte em design de antenas patch em metamaterial [4]. Utilizam-se os softwares HFSS para a simulação, o analisador de rede *Dream Catcher ME100* de modo a validar os resultados obtidos com simulação e comparar com a bibliografia base adotada [1].

Index Terms—Antenna; HFSS; MATLAB; VSWR; metamaterial; FR4;

I. INTRODUÇÃO

Tendências recentes explicitaram que o conceito de miniaturização de antenas tem escopo de pesquisas cada vez mais constantemente explorado, devido à possibilidade de implementação em telefonia móvel. Ora, a topologia em micro fita planares foi difundidamente utilizadas há muito tempo, contudo tais antenas não fornecem nível mais adequado de miniaturização para tecnologias contemporânea, bem como sofrem características de campo distante, padrões de radiação irregulares, etc [1].

Com o advento e popularização dos metamateriais, a miniaturização nas dimensões físicas das antenas tornaram-se bastante significativas [2]. Destacam-se duas configurações populares contemporaneamente utilizadas que justificam sua implementação em projetos de antenas de metamateriais: O ressonador de anel dividido (SRR) e o (CSRR) [3].

A antena proposta apresenta característica *dual band* tendo sua primeira banda de frequência no intervalo (1.71-1.94GHz) com frequência ressonante em 1.82GHz e com segunda banda (2.08-2.5 GHz) ressonante em uma frequência 2.17GHz, construída no substrato metamaterial *fr4*.

A estrutura de antena implementada é uma combinação de patch hexagonal e patch (CSRR), além disso, o plano de aterramento parcial é usado para melhorar o ganho do coeficiente de reflexão de entrada bem como a largura de banda ao promover redução significativa nas reflexões [2]. A espessura do plano terra foi escolhido de acordo com a bibliografia também, uma vez que já foi feito o estudo na referencia [4] sobre sua interferência no ganho, como mostrado na figura 3.

Abaixo são mostradas fotos reais da antena efetivamente fabricada nas Figuras 1 e 2 por meio da vista superior e inferior respectivamente.



Fig. 1. Vista superior da antena fabricada

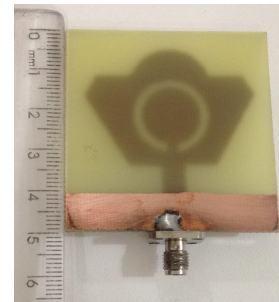


Fig. 2. Vista de inferior da antena fabricada

Percebe-se que na Figura 2 é localizado o plano terra da antena, tendo seu tamanho influenciando no ganho como mostrado na figura 3 abaixo.

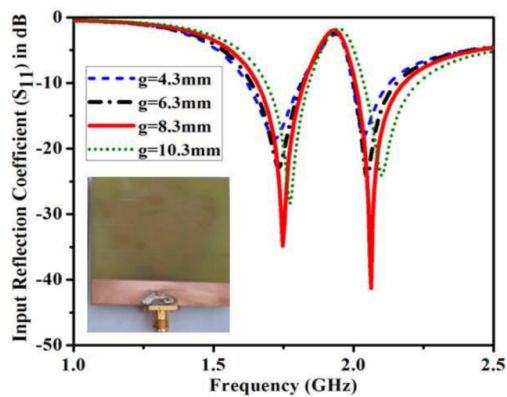


Fig. 3. S11 em dB em função do tamanho plano terra em mm. Fonte : Referência [4]

II. DEFINIÇÕES TEÓRICAS

A. Antenas

Com o avanço das comunicações sem fio se iniciaram no final do século XX, tem-se novamente a necessidade de desenvolvimento na área de antenas almejando um maior desempenho nesse tipo de comunicação, principalmente devido ao espectro de frequência estar ficando mais denso com os avanços das novas tecnologias. Inicialmente, implementaram-se as antenas em microfita que se assemelham a cavidades carregadas com dielétrico, e exibem ressonâncias de ordens superiores, possuem campos normalizados no interior do substrato dielétrico que podem ser determinados com mais precisão tratando a região como uma cavidade limitada por condutores e por paredes magnéticas ao longo do perímetro da plaqueta.

No entanto este é um modelo aproximado que leva a uma impedância de entrada reativa e não radia qualquer potência. Entretanto, admitindo que os campos verdadeiros sejam aproximados por aqueles gerados por este modelo, os valores calculados de diagrama, admitância de entrada e frequências de ressonância se comparam bem com valores experimentais[1].

Logo, antenas inteligentes e compactas tornaram-se o estado da arte. Ora, trata-se do elemento mais importante do sistema sem fio cuja capacidade intrinsecamente infere transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas[5].

As antenas mantêm as mesmas características, independentemente de estarem envolvidas na transmissão ou recepção, trata-se de um dispositivo usado para transformar um sinal de radio frequência viajando em um condutor em um onda eletromagnética no espaço livre [6].

Normalmente estão associadas ao conceito de ressonância, de modo que operam de forma eficientemente em uma banda de frequência específica e relativamente estreita. Ora, uma antena deve estar sintonizada na mesma banda de frequências do sistema de rádio envolvido nas especificações de projeto de modo a viabilizar a transmissão [2], uma vez que a antena emite radiação distribuída em funções das coordenadas

espaciais quando alimentada por um sinal [6]. A representação gráfica associada a distribuição relativa da potência irradiada no espaço é chamado de padrão de radiação [5].

B. Metamaterial

Na natureza tanto a permissividade elétrica (ϵ) quanto a permeabilidade magnética (μ) de todos os materiais são positivas, tais materiais são definidos como *right-handed material* (RHM).

Enquanto que, os metamateriais tem alguma propriedade eletromagnética não comum na natureza, onde pode-se observar também suas classificações usuais por meio da a permissividade elétrica (ϵ) e a permeabilidade magnética (μ)[3], além de mostrar como essas grandezas se relacionam com o índice de refração do meio [7]. Observa-se uma descrição e classificação mais detalhada na figura 4.

Desse modo, metamateriais eletromagnéticos são compostos estruturados artificialmente de modo a apresentarem propriedades eletromagnéticas específicas e desejadas ao projeto [2].

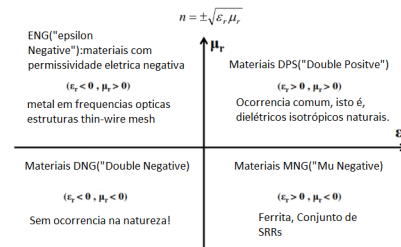


Fig. 4. Definições de metamateriais

III. PROJETO DA ANTENA

O desenvolvimento do projeto de uma antena se inicia com a definição dos parâmetros de funcionamento e dos materiais utilizados. O parâmetro de funcionamento definido é a frequência de operação da antena, enquanto que o material se refere ao dielétrico utilizado [2]. A tabela I apresenta então as definições tomadas para o trabalho.

A antena proposta mostra características de banda dupla sendo a primeira banda apresentada na faixa de de frequência (1.71-1.94GHz)ressonante a 1,72GHz e segunda faixa ((2,08-2,5 GHz)) com substrato de dimensões de $0.29\lambda_0 \times 0.29\lambda_0 \times 0.01\lambda_0$ [4].

TABLE I
PARÂMETROS DO PROJETO.

Parâmetros	Valores
Frequência de operação	1.7 GHz, 2.4 GHz
Material dielétrico	MTM FR4
Constante dielétrica	4,4
Espessura do substrato	1,6 mm
Impedância da linha	50 Ω

1) *Especificações geométricas:* Com a especificação dos parâmetros presentes na tabela I, adicionalmente com o dimensionamento físico mostrado na geometria da antena pela figura 5.

Observa-se que valores associados á geometria da antena são mostrados na tabela a II em milímetros. Dessa forma, é possível realizar a simulação, bem como a sua construção física efetiva.

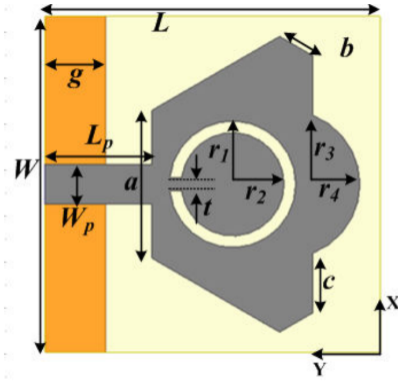


Fig. 5. Dimensionamento geométrico da antena: $L = 50mm$, $W = 50mm$, $L_p = 15.95mm$, $W_p = 6mm$, $a = 22mm$, $b = 5.7mm$, $c = 8.9mm$, $g = 8.3mm$, $t = 3mm$, $r_1 = 9.4mm$, $r_2 = 7.7mm$, $r_3 = 10.25mm$, $L = 50mm$ e $r_4 = 7mm$.

TABLE II
PARÂMETROS OBTIDOS.

Parâmetros	Valores (mm)
L	50
W	50
L_p	15.95
W_p	6
a	22
b	5.7
c	8.9
g	8.3
t	3
r_1	9.4
r_2	7.7
r_3	10.25
r_4	7

IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A simulação foi realizada no ambiente do software HFSS desenvolvido pela Ansys. Nele, foi modelada uma antena em ambiente 3D. A modelagem foi toda parametrizada de forma que alterações em seu design sejam fáceis de se realizar. O substrato foi selecionado a partir das opções oferecidas pelo próprio software, sendo escolhido o FR4 já a priori, enquanto que as linhas foram as padrões, sem qualquer alteração feita. O *sweep* de frequências da simulação foi centrado em torno de 1,7 GHz e 2.4GHz.

Ainda foi feito a análise da densidade de corrente na superfície a 1,83GHz e 2,14GHz.

A. *Perfis da densidade de corrente de superfície para a antena proposta.*

Os gráficos de densidade de corrente de superfície a 1,83GHz e 2,14GHz são mostrados na figura 6. Ora, a partir do gráfico é possível destacar o efeito do CSRR, explicitadamente dominante na frequência de 1.83GHz. Enquanto que o baixo perfil de densidade de corrente distribuído nos anéis de ressonância na frequência de se deve ao forte acoplamento entre alimentação da microfita e plano de terra parcial.[4]

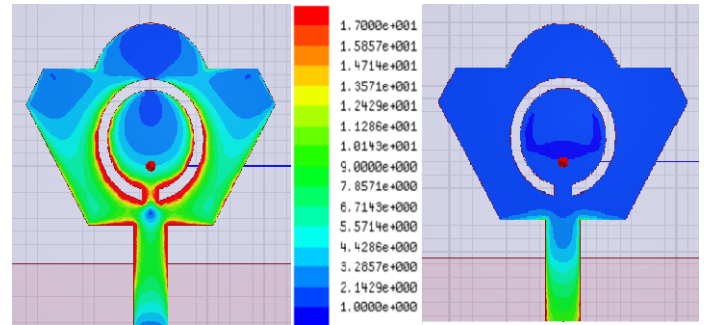


Fig. 6. Perfis densidade de corrente: À esquerda frequência de 1,83GHz e a direita 2,14GHz

1) *Simulações em HFSS:* Percebe-se que nas simulações que de fato a antena apresenta comportamento dual band. Ora, o coeficiente de reflexão S_{11} apresenta na primeira frequência comportamento devido ao CSRR, de modo a admitir aplicabilidades em telefonia tal como DCS e GSM1800, uma vez que está centrado em frequências dessas aplicações, enquanto isso, a segunda banda também aparece centrada em uma maior frequência, o que se deve ao forte acoplamento entre alimentação da microfita e plano de terra parcial, como observado na figura 7

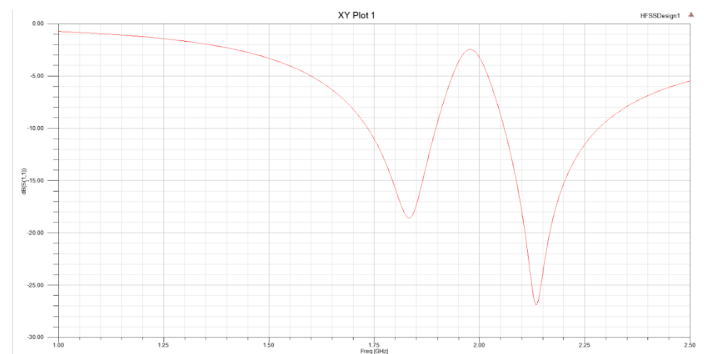


Fig. 7. S_{11} da antena simulada em laboratório

De acordo com as simulações a antena apresenta um bom comportamento, com S_{11} menor que os -10 dB considerado para se aplicar em comunicações. Além disso, S_{11} está centrado em aproximadamente 1,84GHz, e 2.15GHz, estando condizendo com as especificações esperadas para o projeto da bibliografia.

B. Comportamento da antena

O resultado prático do projeto da antena em metamaterial foi extraído com auxílio do analisador de rede *Dream Catcher ME100*, sendo explicitado abaixo por meio das figuras 8 onde se evidencia a primeira banda com seu ganho e frequência em que está centrada, e da mesma forma na Figura 9 evidenciando agora a segunda banda da antena dual band.

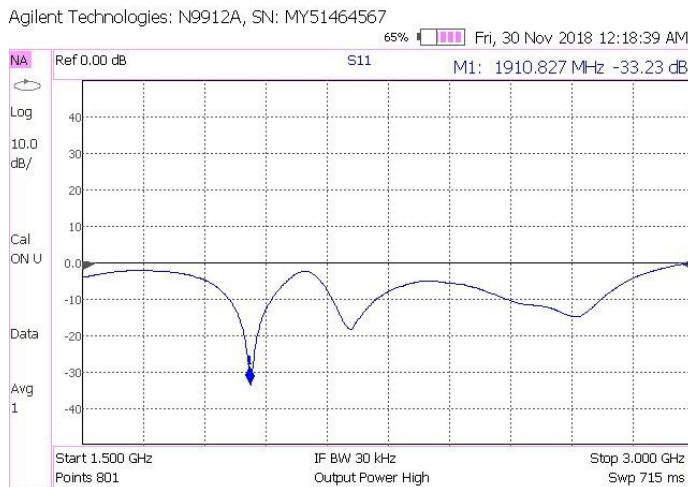


Fig. 8. S11 da antena focalizado na primeira banda de frequência

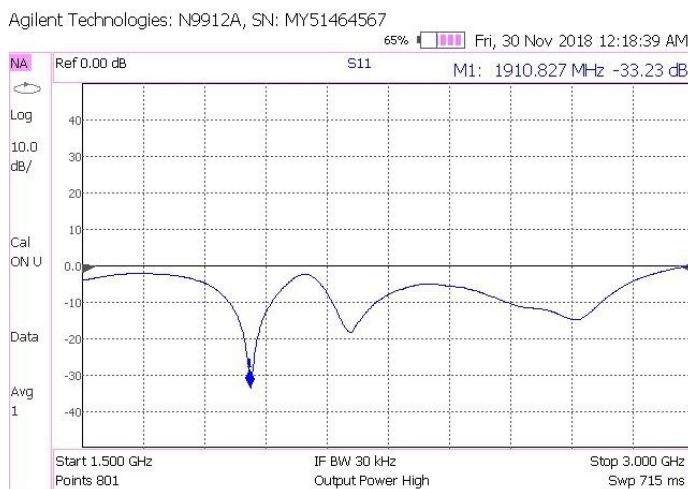


Fig. 9. S11 da antena focalizado na segunda banda de frequência

A antena fabricada apresenta um bom comportamento, com S11 menor que os -10 dB considerado para se aplicar em comunicações, assim como a antena simulada. Além disso, S11 está centrado em aproximadamente 1,91GHz, na figura 8 e S11 centrado em próximo do valor de 2.16GHz estando dentro desvio considerado para aplicações iniciais do projeto. Tais pequenas divergências entre as bandas de frequência obtidas com simulação e prática se dão por imperfeições inerentes ao processo de fabricação.

V. CONCLUSÃO

O projeto incumbiu-se do design e fabricação de uma antena de micro fita em fibra de vidro, *fr-4*, por ter seu uso amplamente difundido em diferentes topologias de antenas em metamaterial. [4] Dessa forma, o dimensionamento geométrico foi feito seguindo a referencia diretriz [4], de modo a obter uma antena de banda dupla com as características para aplicações desejadas.

A fabricação da antena também foi feita de modo a satisfazer as especificações da bibliografia de referencia [4]. A otimização de projeto da antena proposta foi realizada com auxílio do simulador eletromagnético (HFSS). Além disso, o resultado prático do projeto da antena em fibra de vidro foi obtido por meio do analisador de rede *Dream Catcher ME100*. Ora, obteve-se S_{11} nas frequências da antena efetivamente fabricada. Dessa forma, foi possível obter e comparar os resultados obtidos com a literatura (principalmente a bibliografia tomada como referencia) bem como com a simulação. O padrão de radiação trata-se de uma importante ferramenta de análise de projeto presente na bibliografia e foi brevemente abordada, no entanto devido à limitação de frequência do instrumental disponível no laboratório não foi possível obter empiricamente o padrão de radiação da antena construída.

REFERENCES

- [1] R. B. Waterhouse, Printed antennas for wireless communication, Wiley-IEEE Press, New York, 2007.
- [2] C. Caloz and T. Itoh, "Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Approach and Microwave Applications," Wiley-IEEE Press, New York, 2005.
- [3] G. K. Singh, R. K. Chaudhary and K. V. Srivastava, "A Compact ZerothOrder Resonating Antenna Using Complementary Split Ring Resonator With Mushroom Type of Structure," Progress In Elect. Research (PIER) Lett., vol. 28, pp. 139-148, 2012.
- [4] S.S Kumar, "Design and Analysis of Compact Metamaterial Antennas for Wireless Applications", DEPARTMENT OF ELECTRONICS ENGINEERING INDIAN SCHOOL OF MINES, DHANBAD DHANBAD-826004, INDIA, 2015.
- [5] C.A. Balanis, "Antenna Theory", 4nd Ed., John Wiley-Interscience, New York, 2005.
- [6] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.