

# Antena Multibanda Semi-Espiral CPW para Aplicações no 5G sub-6 GHz

José Garibaldi Duarte Júnior e Valdemir Praxedes da Silva Neto

**Resumo**— Os modernos sistemas de comunicação sem fio necessitam cada vez mais de dispositivos de rádio frequência capazes de atender as suas especificações de operação. Neste trabalho, é proposta uma antena com características multibanda baseada em geometria semi-espiral e linha de alimentação coplanar para aplicações nos padrões 5G sub-6 GHz. Um estudo é feito sobre os parâmetros físicos da geometria do patch espiral e da linha de alimentação. O protótipo construído foi submetido a medição onde foram obtidas quatro bandas de operação, sendo elas centradas em 1,36, 1,71, 2,47 e 3,65 GHz, logo, possivelmente aplicáveis nos padrões especificados.

**Palavras-Chave**— Multibanda, Espiral, CPW, 5G sub-6 GHz.

**Abstract**— Modern wireless communication systems increasingly need radio frequency devices capable of meeting their operating specifications. In this work, an antenna with multiband characteristics based on semi-spiral geometry and coplanar waveguide feed line is proposed for applications in the 5G sub-6 GHz standards. A study is done on the physical parameters of the spiral patch and feed line geometry. The prototype built was subjected to measurement where four operating bands were obtained, which were centered at 1.36, 1.71, 2.47 and 3.65 GHz, therefore, possibly applicable in the specified standards.

**Keywords**— Multiband, Spiral, CPW, 5G sub-6 GHz.

## I. INTRODUÇÃO

Em meio aos modernos sistemas e padrões de comunicações sem fio como as novas gerações 4G e 5G, muitos campos de estudo estão focados no desenvolvimento de dispositivos com características específicas. Antenas com perfil reduzido, resposta multibanda e ou banda larga, diagrama de radiação diretivo ou omnidirecional, alto ganho, são exemplos de especificações comumente buscadas por projetistas de modo a atender aos requisitos. O estudo de antenas multibanda, ou seja, capazes de operar em diversas faixas de frequência de maneira simultânea, se apresenta bastante promissor uma vez que o cenário atual das comunicações sem fio busca cada vez mais o compartilhamento e alocação de espectro. Novas diretrizes estabelecidas nos padrões Sub-6 GHz da quinta geração [1]-[2] evidenciam cada vez mais a utilização otimizada das faixas de frequência licenciadas e não licenciadas, desta forma, apresenta-se indispensável o desenvolvimento de novos dispositivos capazes de atender tais premissas.

A utilização de antenas em tecnologia de microfita provê no geral uma série de atributos representativos, sendo eles: perfil reduzido, baixo peso, baixo custo relativo de produção, alta

compatibilidade com superfícies planas e placas de circuito impresso [3], tornado assim, seu uso bastante difundido nos últimos anos.

O estudo e desenvolvimento de antenas com múltiplas bandas de operação vem sendo uma tarefa promissora. Em [4], uma antena em microfita com patch em formatos circulares é proposta para operar em três bandas de frequência, sua geometria peculiar se apresenta interessante, porém sua modelagem para possíveis processos de síntese se apresenta complexa. Uma antena do tipo patch quadrado é proposta em [5], apesar da sua geometria clássica, a característica multibanda é alcançada através de modificações no plano terra com a utilização de diodos PIN de modo a apresentar características de reconfigurabilidade e assim, múltiplas bandas de operação. Estruturas diferenciadas são utilizadas em [6] e [7] para o desenvolvimento de antenas multibandas, sendo elas vias cilíndricas e a geometria capacitor interdigital, respectivamente. Uma antena multibanda com diagrama direcional baseada na geometria hairpin é desenvolvida em [8], apresentando ao todo quatro faixas de operação a baixo dos 6,5 GHz. Logo, percebe-se uma variedade de modalidades de estudo que culminam no desenvolvimento de antenas multibandas.

Este trabalho propõem a implementação de um modelo de antena em tecnologia de microfita baseada na geometria semi-espiral quadrada com a utilização de uma linha de alimentação do tipo guia de onda coplanar, do inglês Coplanar Waveguide (CPW), com múltiplas bandas de operação dentre as faixas especificadas no 5G sub-6 GHz. Um estudo a respeito das características físicas da geometria da linha de alimentação e do patch semi-espiral é desenvolvido a partir de simulações de onda completa e um protótipo resultante desta análise é construído e medido. Por fim, os resultados são analisados e discutidos.

## II. DESENVOLVIMENTO DA ANTENA MULTIBANDA

O desenvolvimento da antena partiu do modelo baseado em um patch de modelo espiral quadrado. Este tipo de estrutura é capaz de proporcionar uma resposta multibanda e banda larga [9]. Foi empregada uma alimentação do tipo linha coplanar (CPW, do inglês Coplanar Waveguide) ajustada de modo a apresentar uma impedância de entrada próximo a 50 ohms com resposta banda larga dentro faixa sub-6 GHz. A geometria inicial da antena multibanda é apresentada na Figura 1, sendo ela implementada sobre um substrato dielétrico do tipo FR4 de espessura  $h$  igual a 1,57 mm, permissividade relativa  $\epsilon_r$  de 4,4 e tangente de perdas de 0,02. Foi utilizado o software *Ansoft HFSS* para a realização das simulações de onda completa (EM) e ajuste de seus parâmetros.

José Garibaldi Duarte Júnior, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, e-mail: garibaldijrn@gmail.com; Valdemir Praxedes da Silva Neto, Departamento de Engenharia de Comunicações, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, e-mail: vpraxedes.neto@gmail.com. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq 573939/2008-0 (INCT-CSF).

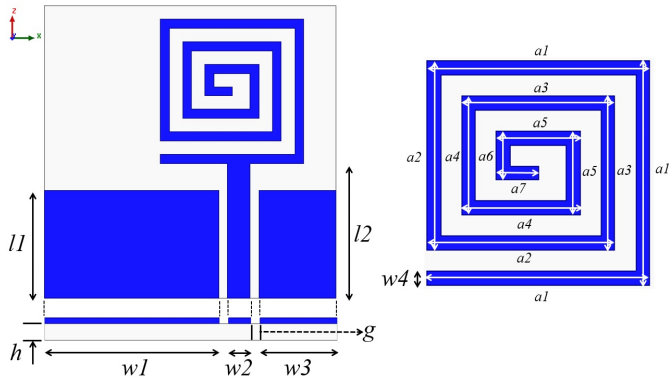


Fig. 1. Geometria inicial da Antena Multibanda com patch semi-espiral e alimentação CPW.

Em comparação com as linhas de microfita convencionais, as linhas CPW proporcionam uma série de vantagens, que incluem menores perdas por dispersão e radiação, e maior acessibilidade entre componentes discretos junto ao plano de terra e ao patch [10]. As expressões que descrevem a impedância característica e a permissividade elétrica efetiva de uma linha CPW são apresentadas nas equações 1 e 2, respectivamente, onde parâmetro  $K$  representa uma função integral hiperbólica e  $\epsilon_r$  é a permissividade relativo do substrato dielétrico [11].

$$Z_0 = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{1}{\frac{K(k)}{K(k')} + \frac{K(kl)}{K(kl')}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{1 + \epsilon_r \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(kl)}{K(kl')}}{1 + \frac{K(k')}{K(k)} \frac{K(kl)}{K(kl')}} \quad (2)$$

### A. Estudo das bandas de operação

Como mostra a Figura 1, a antena proposta é baseada num patch em formato espiral quadrado com um número total de espirais  $N$  igual a 3. Com base na literatura, sabe-se que esta estrutura permite obter múltiplas frequências de ressonância. Desta forma, é feito um estudo de modo a otimizar os parâmetros físicos da antena e obter múltiplas faixas de operação dentro do espectro desejado. Por questões construtivas do modelo, definiu-se a largura  $w4$  da linha dos espirais igual a 2 mm e uma distância média entre as revoluções sendo de 5 mm.

É proposto aqui a aplicação de uma metalização sobre o patch espiral de forma a curto-circuitar uma porção crescente de espiras entre si, daí o termo vinculado ao patch como sendo semi-espiral. O parâmetro  $Lx$  representa o avanço desta superfície metálica sobre o patch. A simulação de onda completa do modelo da antena com relação a reflexão na porta em função de  $Lx$  é apresentada na Figura 2. As curvas mostradas demonstram no geral entre duas e três bandas de operação dados os valores de  $Lx$  entre 3 e 12 mm de comprimento.

Assumindo  $Lx$  igual a 12 mm, percebe-se três faixas de operação, sendo elas: 1<sup>a</sup>-centrada em 1,33 GHz com uma largura de banda BW (-10 dB) de 160 MHz; 2<sup>a</sup>-centrada em

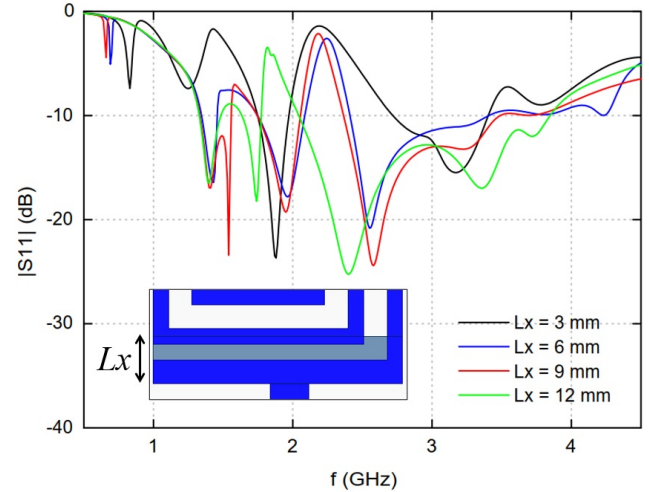


Fig. 2. Simulação da resposta em frequência do parâmetro de reflexão - Variação de  $Lx$ .

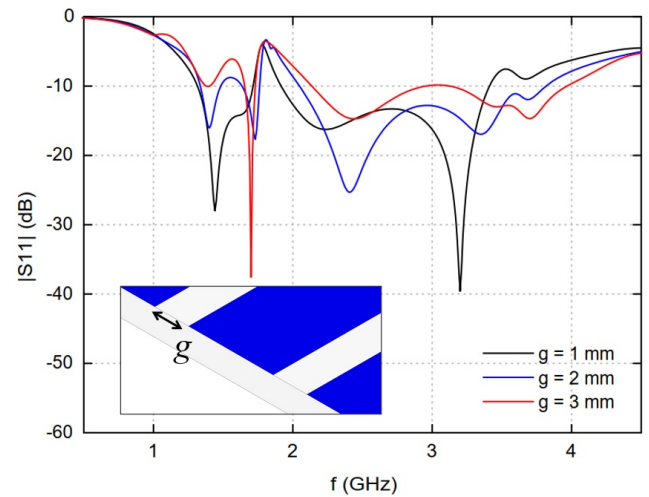


Fig. 3. Simulação da resposta em frequência do parâmetro de reflexão - Variação de  $g$ .

1,73 GHz com BW de 110 MHz; e por último a 3<sup>a</sup> de 2,05 a 3,84 GHz de banda de operação. Dada maior largura de banda da terceira faixa, foi adotado  $Lx$  igual a 12 mm.

### B. Estudo da linha de alimentação CPW

Definiu-se, inicialmente, uma assimetria entre os planos de terra com relação a linha de alimentação, sendo  $w1$  e  $w3$  as suas respectivas larguras. O dimensionamento e ajuste dos parâmetros físicos da linha de alimentação CPW se deu a partir da escolha dos valores de  $w1$ ,  $w2$ ,  $w3$  e  $g$ . A Figura 3 traz a resposta em frequência simulada a partir da variação do parâmetro de espaçamento entre os planos de terra e a linha de alimentação.

A variação do parâmetro de espaçamento  $g$  altera de maneira crucial o casamento de impedância entre a porta de 50 Ohms e o patch, sendo observadas variações importantes na resposta em frequência da antena em função da alteração de  $g$ . Adotou-se  $g$  igual a 2 mm devido a faixa de rejeição em 1,5 GHz, dividindo-se a primeira banda de frequência em duas.

Um resumo dos parâmetros físicos adotados da antena multibanda são apresentados na Tabela I. O modelo final da antena pode ser visto na Figura 4a.

TABELA I  
PARÂMETROS FÍSICOS DA ANTENA MULTIBANDA SEMI-ESPIRAL

Parâmetro	Descrição	Valor (mm)
h	Altura do substrato	1,57
l1	Comp. do plano de terra	24
l2	Comp. da alimentação CPW	30
w2	Larg. da alimentação CPW	5
w1	Larg. do plano de terra1	38,83
w3	Larg. do plano de terra2	17,16
w4	Larg. da linha espiral	2
g	Espaçamento da linha CPW	2
Lx	Comp. da metalização	12
al-a6	Secções da espiral	32-7
a7	Secção da espiral	6

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Feito o estudo do modelo da antena multibanda com patch semi-espiral, foram feitas simulações de onda completa de modo a se obter as características eletromagnéticas da antena. As simulações do diagrama de radiação em dB da antena são mostradas nas Figuras 4(b) e (c) dadas as frequências de ressonância principais observadas. As curvas demonstram um diagrama quase-omnidirecional para frequências mais baixas. Para as faixas de frequência mais elevadas, nota-se uma concentração do feixe em uma das frentes da antena. A distribuição superficial de corrente é apresentada na Figura 5, onde para as frequências mais baixas de operação, a distribuição se concentra na região do patch semi-espiral, enquanto que para frequências mais altas, a distribuição possui valores mais elevados na região da linha CPW e de ambos os planos de terra.

TABELA II  
RESUMO DAS FAIXAS DE FREQUÊNCIA DA ANTENA MULTIBANDA SEMI-ESPIRAL CPW

Banda	$f_0$ (GHz)	Faixa de Op. (GHz)	BW (%)
1 <sup>a</sup>	1,36	1,27 - 1,50	16,9
2 <sup>a</sup>	1,71	1,67 - 1,74	4,0
3 <sup>a</sup>	2,47	2,16 - 2,92	30,7
4 <sup>a</sup>	3,65	3,45 - 3,90	12,3

Um protótipo foi construído e submetido a processo de medição a partir de um analisador de redes padrão. O modelo construído possui uma área superficial total de 65 x 65 milímetros quadrados. A comparação entre simulação e medição dos parâmetros de reflexão e casamento de impedância na porta (VSWR) são apresentados na Figura 6 e 7, respectivamente. O parâmetro S11 apresentou uma boa concordância para frequências mais baixas, porém, para níveis mais elevados, surgiu uma banda de rejeição entre 2,87 e 3,45 GHz. Desta forma, o modelo final apresentou ao todo quatro bandas de operação. A Tabela II apresenta um resumo das características de operação obtidas na medição.

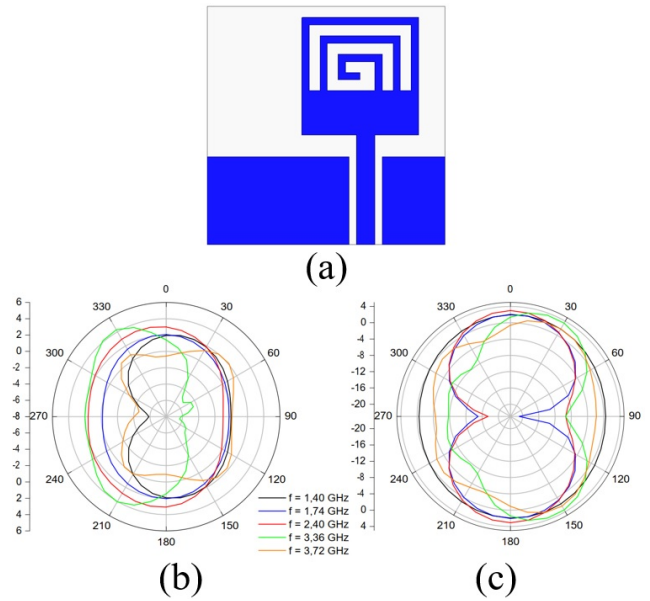


Fig. 4. (a) Modelo final da Antena Multibanda Semi-espiral com alimentação CPW. (b) Simulação do diagrama de radiação em dB nas frequências chaves de operação no plano XY ( $\phi=0^\circ$ ) e (c) plano YZ ( $\phi=90^\circ$ ).

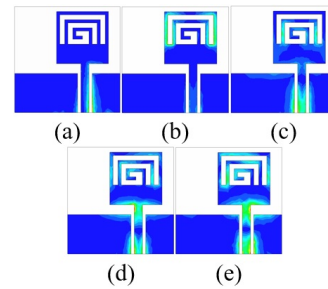


Fig. 5. Distribuição superficial de corrente  $J$  obtida via simulação para  $f$  igual a (a) 1,40, (b) 1,74, (c) 2,40, (d) 3,36 e (e) 3,72 GHz.

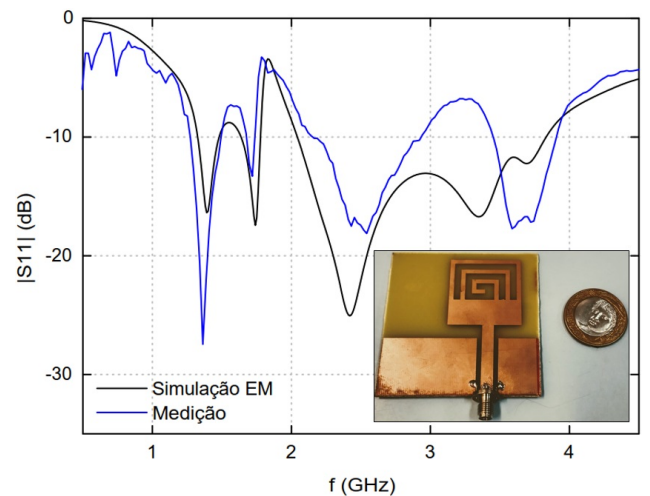


Fig. 6. Comparação da resposta em frequência obtida via simulação e medição - Parâmetro de reflexão na porta.

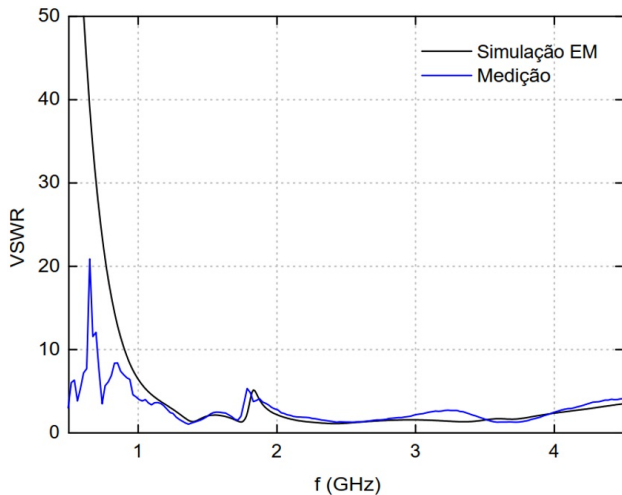


Fig. 7. Comparação da resposta em frequência obtida via simulação e medição - VSWR.

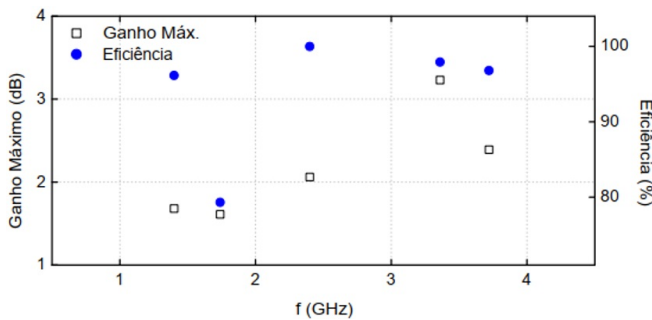


Fig. 8. Ganho máximo e eficiência em função das frequências de ressonância.

Via simulação, foram obtidos os parâmetros de ganho máximo e eficiência da antena em função das frequências de ressonância. Estes parâmetros são mostrados na Figura 8. A antena apresentou um ganho máximo na casa dos 3,6 dB na frequência de 3,36 GHz e uma eficiência média na faixa dos 86 %.

Dada as faixas de operação da antena proposta neste trabalho, são identificadas algumas bandas do 5G sub-6 GHz as quais se enquadram nas faixas de frequência da antena, são elas: 1ª banda – n50, 51, 74, 75, 76, 91, 92, 93 e n94; 2ª banda – n70; 3ª banda – n1, 7, 30, 38, 40, 41, 53, 65, 66 e n90; 4ª banda – n48 e parte das n77 e 78. Logo, são muitas as bandas de frequência que se adequam. Ainda, na Tabela III é apresentada uma comparação entre este trabalho com outro modelos da literatura.

TABELA III  
COMPARAÇÃO COM MODELOS DA LITERATURA

Modelo	Ressorador	$f_0$ (GHz)
[5]	Patch quadrado	2,5-3,5-5,25
[6]	Abertura/Vias	3,04-3,83-4,83-5,76
[8]	Patch quadrado	4,6-5,05-5,8-6,3
<b>Proposto</b>	Semi-espíral Quad.	1,36-1,71-2,47-3,65

#### IV. CONCLUSÃO

Um novo modelo de antena multibanda é proposto neste trabalho. Sua geometria se baseia num patch com formato espiral quadrado tendo parte de suas revoluções truncadas, e sua alimentação é feita a partir de uma linha CPW. É feito um estudo sobre os parâmetros físicos da geometria e sua influência no casamento de impedância e resposta em frequência da antena. Medições são realizadas sobre um protótipo construído que demonstram ao todo quatro bandas de operação dentro da faixa do 5G sub-6 GHz, se adequando a diversas sub-bandas do padrão, sendo assim sua aplicação possível em diversas situações.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro à pesquisa e ao Departamento de Engenharia de Comunicação (DCO- UFRN) por permitir que o protótipo fosse construído e medido em suas dependências.

#### REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP, "3GPP Specification series". 3GPP A Global Initiative, [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/DynaReport/38-series.htm>. [Acesso em Jun 2020].
- [2] ETSI, "5G". ETSI Mobil Technologies, [Online]. Available: <https://www.etsi.org/technologies/5g>. [Acesso em Jun 2020].
- [3] Huynh, T. e Lee, K.-F., "Single-layer single-patch wideband microstrip antenna", *Electronics Letters*, v. 31, pp. 1310-1312, 1995.
- [4] Wa'il A.Godaymi Al-Tumah, Raed M.Shaaban e AkeelTahir, "Design, simulation and measurement of triple band annular ring microstrip antenna based on shape of crescent moon", *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, v. 117, 2020. Doi: 10.1016/j.aeue.2020.153133.
- [5] Borhani, M., P. Rezaei, e A. Valizade, "Design of a reconfigurable miniaturized microstrip antenna for switchable multiband systems", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, v. 15, pp. 822-825, 2015.
- [6] Boukarkar, Abdelheq, et al., "Miniaturized single-feed multiband patch antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, v. 65.2, pp. 850-854, 2016.
- [7] Gao, Xiang, Timothy James Jackson e Peter Gardner, "Multiband open-ended resonant antenna based on one ECRLH unit cell structure", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, v. 16, pp. 1273-1276, 2016.
- [8] Mao, Chun-Xu, et al., "A novel multiband directional antenna for wireless communications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, v. 16, pp. 1217-1220, 2016.
- [9] Ely, Jay, Christos Christodoulou e David Shively, "Square spiral microstrip antennas for wireless applications", *IEEE NTC, Conference Proceedings Microwave Systems Conference*, IEEE, 1995.
- [10] Walker, J. L. B., "A survey of European activity on coplanar waveguide", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, IEEE, 1993.
- [11] Pozar, David M., "Microwave engineering", *John Wiley Sons*, 2009.