

Proposta de Antena de Microfita com Utilização de Superstrato do tipo Stubs Mesh para aplicação em Comunicações Sem Fio

Humberto D. de Andrade, Pablo L. C. de Azêvedo, Leonardo O. de Sousa, Idalmir de S. Q. Júnior, Matheus E. T. Sousa, Isaac B. T. da Silva, Nickson S. de O. Lopes, Glauco Fontgalland

Resumo—Este artigo tem como proposta o projeto e análise da aplicação de superstrato do tipo *Stubs Mesh* em uma antena de microfita aplicada na faixa de 2,45 GHz. Foi realizada uma análise paramétrica da inserção dessa topologia de superstrato, utilizando fibra de vidro como substrato. Os resultados experimentais comparados aos simulados mostraram influência nos parâmetros de ganho, diagrama de radiação e frequência de ressonância devido a inserção desses elementos aliados a mudança na permissividade efetiva. A frequência de ressonância não se manteve na faixa de interesse para as configurações de grade e linha horizontal, mas nas configurações de linha vertical, que também apresentaram aumento na largura de banda.

Palavras-Chave—*Superstrato, análise paramétrica, permissividade.*

Abstract—This article proposes a project and analysis of the application of a Stubs Mesh superstrate in a microstrip antenna applied in the 2.45 GHz band. A parametric analysis of the insertion of this superstratum topology was carried out, using fiberglass as substrate. The experimental results compared to the simulated ones showed influence on the parameters of gain, radiation diagram and resonance frequency due to the insertion of these elements allied to the change in the effective permittivity. The resonant frequency did not remain in the range of interest for the grid and horizontal line configurations, but for the vertical line configurations, which also showed an increase in bandwidth.

Keywords— *superstrate, parametric analysis, permittivity.*

I. INTRODUÇÃO

As antenas de microfita são amplamente utilizadas em sistemas de comunicação sem fio, por serem de fácil integração em circuitos de micro-ondas e por suas características planares, simplicidade de produção, tamanho, baixo custo, resistência mecânica e capacidade de ajustar a frequência de projeto. Por outro lado, apresentam desvantagens, como baixa eficiência, baixos níveis de potência transmitida, largura de banda estreita (1 a 3%) e baixo ganho [1]. Uma outra desvantagem é que elas

sofrem influência das ondas de superfície (EM) ocasionadas no substrato. Esse fenômeno pode induzir a formação de lóbulos menores que irradiam em direções diferentes da fonte original, além de contribuir para prejudicar o desempenho e o ganho da antena. Além disso, a onda de superfície aumenta a polarização cruzada da antena, restringindo assim a sua utilidade [2].

Como forma de minimizar as suas desvantagens, muitas técnicas são propostas para otimizar esses parâmetros, como aumentar a espessura do substrato, diminuir sua permissividade, alterar a sua forma de alimentação, utilizar *patch* com fenda em diamante, anéis, forma de E, ranhuras escalonadas e bisel [3], [4]. Outra proposta é a adição de um superstrato à estrutura da antena, ou seja, adicionar mais uma camada de dielétrico ao dispositivo provocando assim a alteração dos seus parâmetros, como frequência de ressonância, ganho e largura de banda [5].

Este artigo se propõe a estudar os efeitos de inserção de superstratos do tipo *Stubs Mesh* em uma antena *patch* de microfita retangular operando em 2,45 GHz. Os superstratos consistem em linhas de cobre dispostos verticalmente, horizontalmente e em forma de grade, podendo apresentar de quatro, ou cinco ou até seis elementos. Para a análise, eles foram arranjados sobre o *patch* da antena idealizada.

II. APLICAÇÃO DE SUPERSTRATO EM ANTENAS

As primeiras formas de superstratos surgiram quando as antenas de circuito impressas eram protegidas contra intemperes através de radomes ou ainda quando eram envoltas naturalmente, por exemplo por camadas de gelo. Até então, pensava-se que essa técnica afetava negativamente as características de desempenho da antena. Porém depois de 1985 foi descoberto que a depender de vários fatores, como espessura do substrato, constante dielétrica e permeabilidade relativa essa cobertura poderia apresentar aspectos positivos [6], [7].

Existem vários tipos de superstratos, tais como: *Eletromagnetic Band Gap* (EBG), que pode aumentar a diretividade das antenas de microfita [8],[9]; *Frequency Surface Selective* (FSS), cuja finalidade é agir como filtros, podendo selecionar a passagem de determinadas bandas de frequências [2], [10]-[12]; estruturas de metamateriais (MTM) como um ressonador helicoidal de camada única para aumentar a largura de banda, o ganho e a diretividade das antenas *patch* [2], [5], [13] e a supressão da onda de superfície, bem como a redução do acoplamento mútuo[14].

Em [15], foi proposta uma antena superstrato com MTM, que pode obter baixo desempenho de seção transversal de radar

Humberto D. de Andrade*, e-mail: humbertodionisio@ufersa.edu.br. Pablo L. C. de Azêvedo*, e-mail: pablolucian@hotmail.com. Leonardo O. de Sousa*, e-mail: leonardo.sousa14353@alunos.ufersa.edu.br. Idalmir de S. Q. Júnior*, e-mail: idalmir@ufersa.edu.br. Matheus E. T. Sousa*, e-mail: matheusemanuel.tavares@hotmail.com. Isaac B. T. da Silva*, e-mail: isaac.barros@ufersa.edu.br. Nickson S. de O. Lopes*, e-mail: nicksonsaymon@gmail.com. Glauco Fontgalland, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande-PB, e-mail: fontgalland@dee.ufcg.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código Financeiro 001.

*Departamento de Engenharias e Tecnologias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró-RN.

(RCS) e alto ganho simultaneamente. Obtém-se baixa rejeição e transmissão, além de melhorar sua diretividade. Os resultados medidos mostram que a antena proposta pode atingir a redução do RCS em uma ampla faixa de frequência, como também uma elevação no valor do ganho, em comparação com a antena original na faixa de frequência de trabalho. No artigo descrito em [16], é proposta uma antena ressonante de banda única, inspirada no superstrato MTM com uma fenda em forma de phi. A antena compreende um superstrato MTM de camada única simétrica, que é usado para suprimir ondas de superfície com base em características μ negativas. Em [17], as antenas foram revestidas por superstrato com material cerâmico eletrônico (ECM). Ao fazer isso, os dispositivos obtiveram a capacidade de produzir alto desempenho em termos de ganho, diretividade e eficiência de radiação. O titanato de bismuto tem uma alta constante dielétrica ($\epsilon_r = 21$), enquanto as camadas de superstrato escolhidas incluíram um ressonador de anel dividido. No trabalho desenvolvido em [18], uma nova célula unitária de MTM de índice de refração próximo a zero é projetada e fabricada como superstrato. Para obter ganho máximo, a distância entre o superstrato e a antena foi otimizada. Além disso, a posição de alimentação foi otimizada para minimizar o coeficiente de reflexão. Como resultado, a eficiência da radiação e a diretividade da antena melhoraram significativamente.

De acordo com [19], uma antena superstrato é apresentada para melhorar a diretividade. As FSS de *loop* quadrado duplo são usadas para o seu projeto. Porém, a melhora na diretividade é diferente nos planos E e H.

Os principais parâmetros medidos nos trabalhos podem ser visualizados e comparados na Tabela I. É possível constatar a mudança na frequência fundamental, coeficiente de reflexão, ganho e largura de banda.

TABELA I. COMPARATIVO DOS TRABALHOS MENCIONADOS.

Ref.	f_r (GHz)	S_{11} (dB)	Ganho (dB)	BW (MHz)
[15]	2 a 14	-33	4,3	1100
[16]	2,4	-24,74	7,94	55;55
[17]	2,3 a 2,5	-19; -23; -24; -27; -26,5	8,15; 8,37	200
[18]	10,1;11,68	-12; -11,3	2,4; 2,62	300; 600

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A antena de referência foi projetada a partir do Modelo de Linha de Transmissão [1], para operação na frequência de 2,45 GHz, a qual é empregada em aplicações como Wi-Fi® e Bluetooth®. A antena a ser utilizada como referência será a antena *patch* de microfita retangular sem o uso de superstrato.

A. Projeto de Antena de Referência

A antena retangular, conforme mostrado na Fig. 1, foi projetada usando um *software* comercial baseado em elementos finitos denominado ANSYS HFSS® 19.2. O substrato dielétrico utilizado foi o FR4 (fibra de vidro) com permissividade relativa de 4,4, tangente de perda de 0,02, espessura de 1,57 mm e laminado de cobre com espessura de 0,05 mm. As dimensões (em milímetros) da antena são descritas na Tabela II.

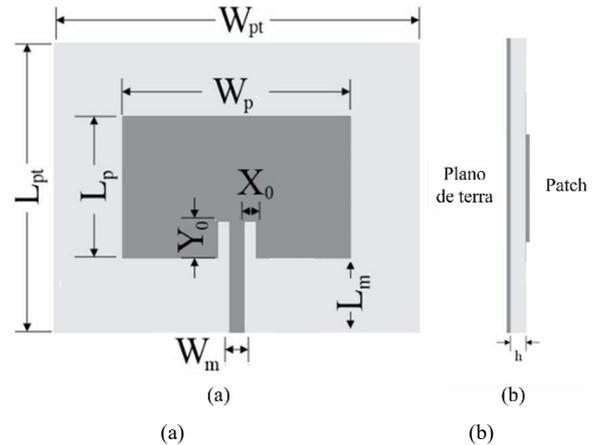


Fig. 1. Antena proposta. Vista frontal (a) e vista lateral (b).

TABELA II. DIMENSÕES DA ANTENA PROPOSTA.

L_m	W_m	L_{pt}	W_{pt}	Y_0	X_0	L_p	W_p	h
15,14	2,49	60,20	59,00	7,43	1,49	28,84	37,26	1,57

B. Projeto Superstrato

O superstrato foi projetado e fabricado com o mesmo material do substrato da antena de referência. Foram idealizadas, através de processos de otimização e validação da simulação um total de nove configurações diferentes, conforme apresentando pela Fig. 2.

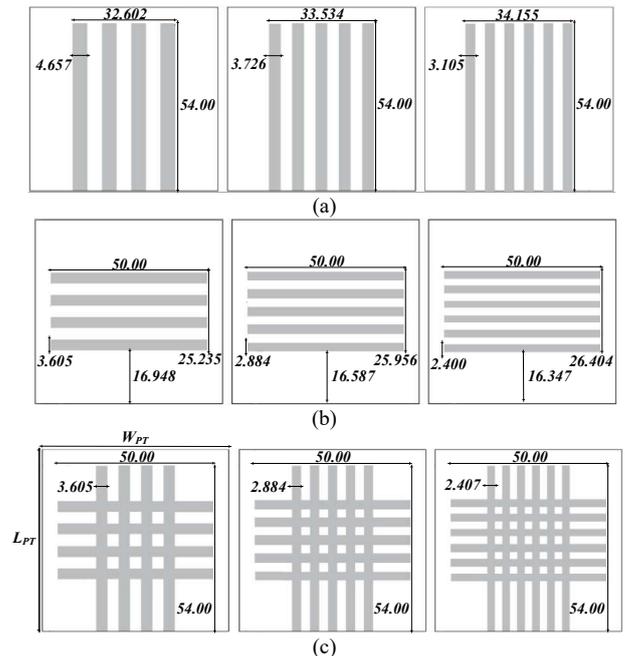


Fig. 2. Configuração dos superstratos. (a) Linhas verticais, (b) linhas horizontais, (c) grade.

Foram construídos superstratos para aplicação na antena de referência, e realizado o comportamento das características básicas da antena após a inserção. A Fig. 3 apresenta os superstratos construídos e a Fig. 4 ilustra a montagem do conjunto superstrato na antena de referência. Foram utilizados para fixação do conjunto, parafusos de polímeros visando eliminar interferência nas medidas.

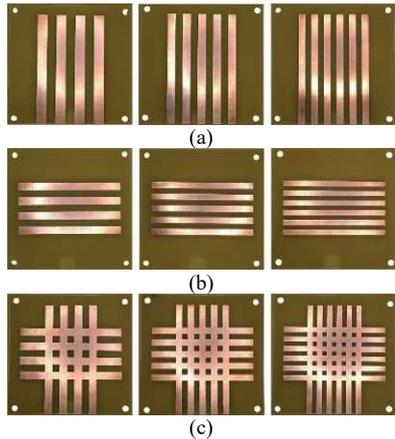


Fig. 3. Protótipo dos superstratos com 4, 5 e 6 elementos dispostos em linhas verticais (a), linhas horizontais (b) e grade (c).

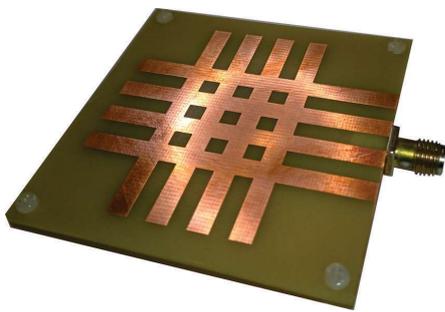


Fig. 4. Antena e superstrato montado.

IV. RESULTADOS E DISCURSÕES

Através de simulações foram obtidas o padrão de radiação, ganho e coeficiente de reflexão da antena de referência. Através da Fig. 5 foram comparados os resultados experimentais e simulados do coeficiente de reflexão (dB) vs frequência (GHz).

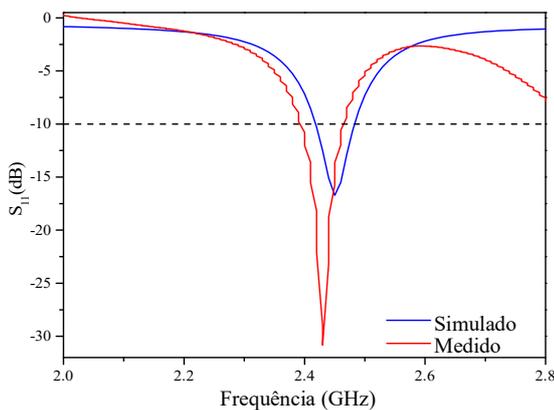


Fig. 5. Coeficiente de reflexão (dB) simulado e medido da antena proposta.

Observa-se na Fig. 5 que a antena de referência possui frequência de ressonância na frequência de interesse, com o parâmetro $S_{1,1}$ simulado de -17,5 dB na frequência de 2,45 GHz, com largura de banda de 60 MHz. O resultado experimental tem uma largura de banda de 60 MHz começando em 2,40 GHz, com um coeficiente de reflexão de -31 dB para a frequência de 2,45 GHz.

Foi ainda possível identificar discrepâncias entre os resultados simulados e medidos, porém isso pode ser interpretado devido a alguma inconsistência no *setup* de medição ou no próprio material usado na confecção.

Ademais foram obtidos os diagramas de radiação 2D e 3D simulados da antena de referência conforme Fig. 6 (a) e (b) respectivamente. Cabe mencionar a característica de radiação *broadside*, comum neste tipo de antena. Na direção da radiação máxima, a antena tem um valor de ganho de aproximadamente 3,4 dB.

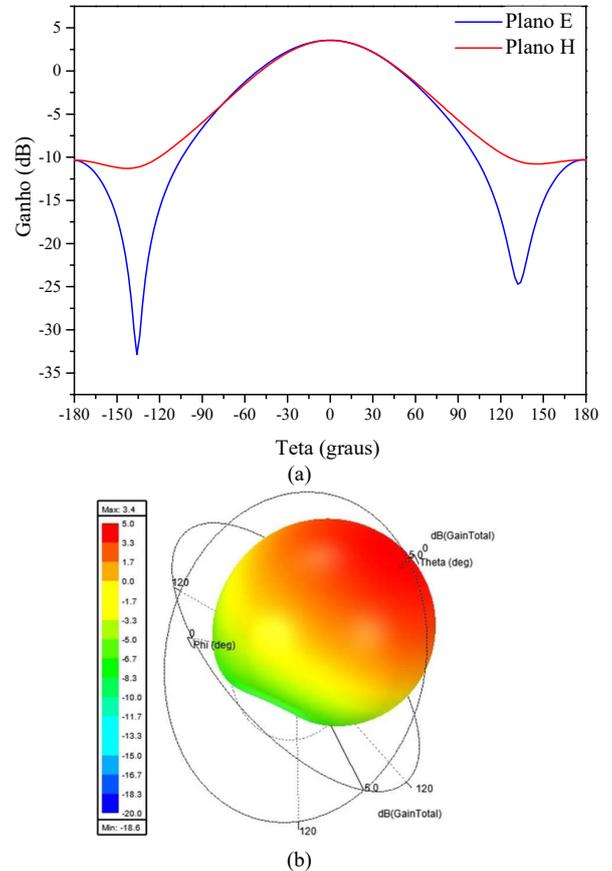


Fig. 6. Diagrama de radiação simulado da antena de referência, obtido na frequência de 2,45 GHz em 2D (a) e em 3D (b).

Após a obtenção dos dados simulados e medidos foram inseridos os superstratos e a sua influência foi comparada com a referência. As Fig. 7, 8 e 9 mostram o comparativo do parâmetro $S_{1,1}$ simulado e a medido sob a influência das três configurações com quatro, cinco e seis elementos. As quantidades de elementos e configurações foram representadas, respectivamente por um número e uma letra, por exemplo 4G significa quatro elementos em formato de grade.

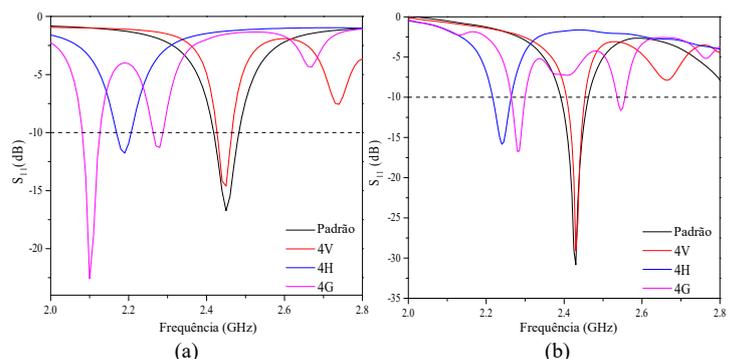


Fig. 7. Variação do coeficiente de reflexão (dB) simulado (a) e medido (b) para 4 elementos variando a configuração dos superstratos.

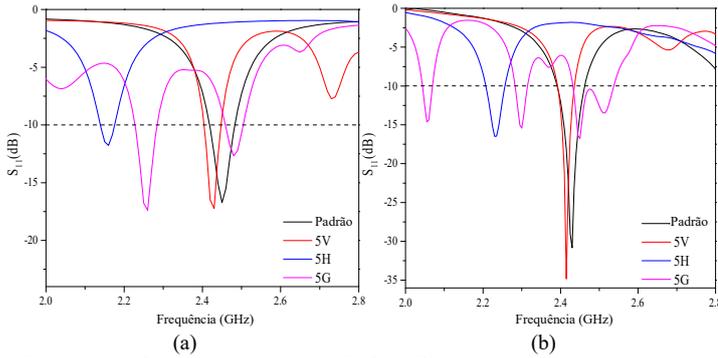


Fig. 8. Variação do coeficiente de reflexão (dB) simulado (a) e medido (b) para 5 elementos variando a configuração dos superstratos.

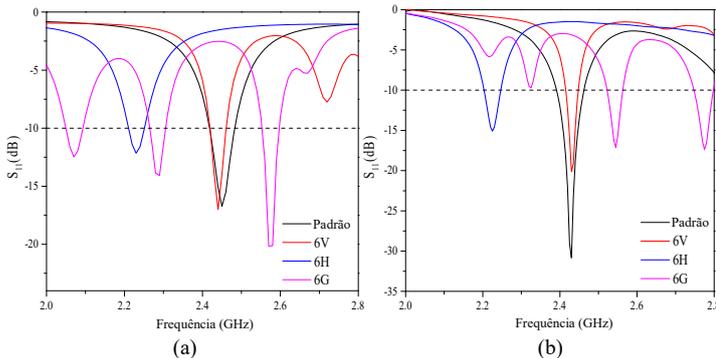


Fig. 9. Variação do coeficiente de reflexão (dB) simulado (a) e medido (b) para 6 elementos variando a configuração dos superstratos.

Os dados simulados e medidos apresentados nos gráficos (Fig. 7, 8 e 9) estão resumidos na Tabela III.

TABELA III. PARÂMETROS MEDIDOS E SIMULADOS DOS CONJUNTOS REALIZADOS.

Superstratos	Frequência (GHz)		$S_{1,1}$ (dB)		BW (%)	
	Sim.	Exp.	Sim.	Exp.	Sim.	Exp.
Padrão	2,45	2,43	-16,73	-30,83	2,45	2,88
4V	2,45	2,43	-14,62	-20,10	1,63	2,06
5V	2,43	2,41	-17,22	-34,84	1,64	2,06
6V	2,44	2,43	-16,99	-20,11	2,05	1,65
4H	2,19	2,24	-11,77	-15,84	1,84	2,23
5H	2,16	2,23	-11,77	-16,50	1,85	2,69
6H	2,23	2,22	-12,15	-15,08	1,80	0,9
4G	2,1;	2,28;	-22,58;	-16,74;	1,66;	1,53;
	2,28	2,54	-11,29	-11,64	0,87	0,58
5G	2,26;		-17,38;	-14,63;	2,65;	1,46;
	2,48	2,05; 2,3	-12,66	-15,43	2,02	1,52
6G	2,07;		-12,47;	-17,13;	2,27;	1,57;
	2,29;	2,54;	-14,07;	-17,37	1,75;	2,16
	2,57	2,77	-20,16		1,55	

A análise dos resultados da Tabela III indica que a aplicação de superstratos com configurações horizontais e configurações de grade apresentou deslocamento para frequências menores que o interesse operacional, sugerindo uma variação do nível de permissividade, provocada pela mudança da espessura do superstrato e associada a alteração da impedância de entrada vista pelo conjunto. Em contrapartida, as configurações de linha vertical não causaram tanto deslocamento quanto as demais, deslocando aproximadamente 20 MHz em relação à antena de referência, enquanto as configurações de grade ou linha horizontal possuem deslocamentos de até 220 MHz. Em relação à configuração 4G, houve redução na largura de banda dos dispositivos experimentais em relação aos valores simulados.

Além disso, as configurações da linha vertical apresentaram maiores coeficientes de reflexão, como no caso de 5V. Nas configurações 4G, 5G e 6G, elas apresentaram propagação de mais de uma faixa de frequência em comparação com as configurações em V e H.

Os resultados simulados obtidos do diagrama de radiação são observados nas Fig. 10, 11 e 12. A mudança do diagrama de radiação é observada sob a influência dos superstratos nos planos de elevação (plano E) e azimutal (plano H).

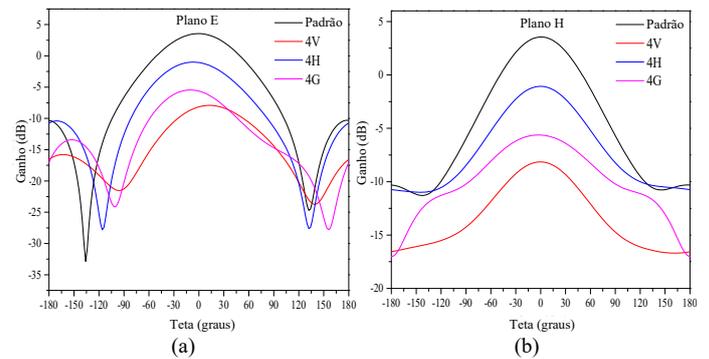


Fig. 10. Diagrama de radiação retangular para 4 elementos no Plano E (a) e H (b).

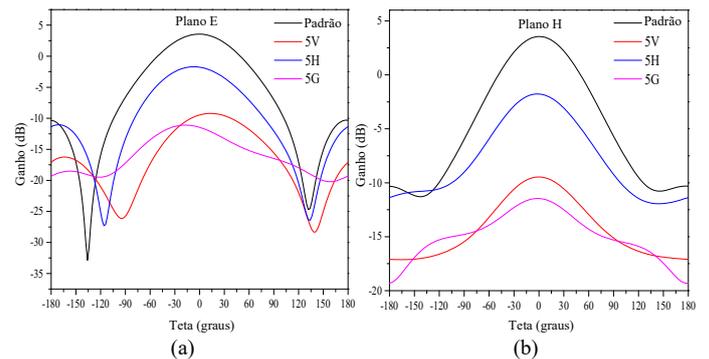


Fig. 11. Diagrama de radiação retangular para 5 elementos no Plano E (a) e H (b).

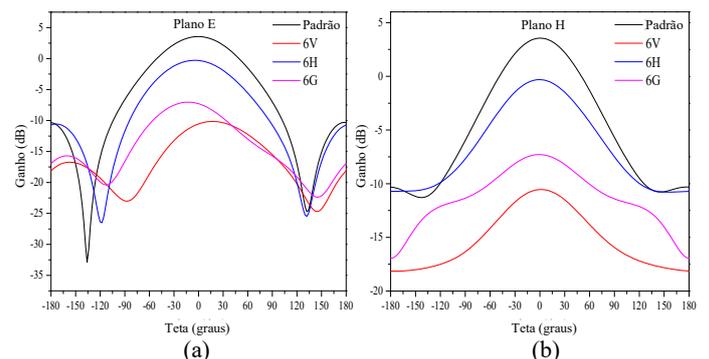


Fig. 12. Diagrama de radiação retangular para 6 elementos no Plano E (a) e H (b).

A antena de referência em configuração padrão obteve um ganho de 3,4 dB, porém ao adicionar os superstratos ocorreu uma redução no ganho. Houve uma redução ainda maior para a configuração vertical ao aumentar a quantidade de elementos enquanto para a configuração horizontal houve o inverso. Por fim, com a configuração em grade, observou-se uma redução no ganho entre as configurações e quantidades de elementos, como

é o caso da influência de superstratos com cinco elementos. A Tabela IV resume os achados.

TABELA IV. INFLUÊNCIA NO GANHO POR TIPO DE SUPERSTRATO E QUANTIDADE DE ELEMENTOS.

Superstratos	4 elementos	5 elementos	6 elementos
Vertical	-1.06 dB	-9.46 dB	-10.54 dB
Horizontal	-8.14 dB	-1.77 dB	-0.39 dB
Grade	-5.63 dB	-11.46 dB	-7.29 dB

V. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisa a influência nos parâmetros eletromagnéticos de ganho total, largura de banda, diagrama de radiação e coeficiente de reflexão de uma antena de microfita após a inserção de superstratos, com variações na quantidade de elementos parasitas de cada superstrato, realizando simulações e medições. Diante disso foi evidenciado através de uma investigação no campo da simulação, confecção e medição a influência da inserção de *stub mesh* nos parâmetros de dispositivos planares, além de um fortalecimento e aprimoramento de projeto de antenas através de software comercial de simulação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFERSA, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e a equipe do Laboratório de Telecomunicações e Microondas da UFERSA.

REFERÊNCIAS

[1] C. A. Ballanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," *New Jersey*, 2005.

[2] P. Arnmanee, C. Phongcharoenpanich and N. Nasimuddin, "Improved microstrip antenna with HIS elements and FSS superstrate for 2.4 GHz band applications," *Intern. Journal of Anten. and Propag.*, vol. 2018, 2018.

[3] K. A. Devi, C. H. Ng, C. F. Kwong, C. K. Chakrabarty and N. Md. Din, "Investigations on characteristics of metamaterial based patch antenna for RF energy harvesting at GSM 900," *Electrical and Electronic Engineering*, vol. 5, pp. 7-13, 2015.

[4] H. Liu, S. Lei, X. Shi, L. Li and D. Liu, "Study of antennas superstrate using metamaterial for directivity enhancement based on fabry-perot resonant cavity," *Intern. Journal of Anten. and Propag.*, vol. 2013, 2013.

[5] S. E. Mendhe and Y. P. Kosta, "Gain enhancement and broadband using helical resonating metamaterial superstrate in stacked microstrip patch antenna," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 56, pp. 1978-1982, 2014.

[6] N. G. Alexopoulos and D. R. Jackson, "Fundamental superstrate effects on printed circuit antenna efficiency," *IEEE MTT-S Internat. Microwave Symposium Digest*, 1984.

[7] D. R. Jackson and G. Alexópolis, "Gain enhancement methods for printed circuit antenna," *IEEE Trans. on Ant. and Propag.*, vol. AP-33, pp. 976-987, 1985.

[8] R. Alkhatib and M. Drissi, "Improvement of bandwidth and efficiency for directive superstrate EBG antenna," *Electron. Letters*, vol. 43, pp. 702-703, 2007.

[9] A. R. Weily, K. P. Esselle, B. C. Sanders and T. S. Bird, "High-gain IDEBG resonator antenna," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 47, pp. 104-107, 2005.

[10] B. Peswani, S. Yadav and M. M. Sharma, "A novel band pass double-layered frequency selective superstrate for WLAN

applications," *Intern. Conferen. – Confluence th Next Generation Information Technology Summit*, 2014.

[11] S. Kumar, B. Kanaujia, M. khandelwal and A. Gautam, "Single-feed superstrate loaded circularly polarized microstrip antenna for wireless applications," *Wireless Personal Commun.*, vol. 92, pp. 1333-1346, 2017.

[12] S. Peddakrishna, T. Khan and K. Binod, "Resonant characteristics of aperture type FSS and its application in directivity improvement of microstrip antenna," *Intern. Journal of Electronics and Communications*, vol. 79, pp. 199-206, 2017.

[13] C. Arora, S. S. Pattnaik and R. N. Baral, "Metamaterial inspired DNG superstrate for performance improvement of microstrip patch antenna array," *Intern. Journal of Microw. and Wirel. Technologies*, vol. 10, pp. 318-327, 2018.

[14] A. Jafargholi, A. Jafargholi and J. H. Choir, "Mutual coupling reduction in an array of patch antennas using LL metamaterial superstrate for MIMO applications," *IEEE Trans. on Ant. and Propag.*, vol. 67, pp. 179-189, 2019.

[15] L. L. Cong, X. Y. Cao, W. Q. Li and Y. Zhao, "A new design method for patch antennas with low RCS and high gain performance," *Progress in Electromagnetics Research Letters*, vol. 59, pp. 77-84, 2016.

[16] M. Saravanan, V. B. Geo and S. M. Umarani, "Gain enhancement of patch antenna integrated with metamaterial inspired superstrate," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, vol. 5, pp. 263-270, 2018.

[17] F. H. Wee, F. malek, A. U. Al-Armani and F. Ghani, "Effect of two different superstrate layers on bismuth titanate (BiT) array antennas," *Scientific Reports*, vol. 4, 2014.

[18] S. Mohanna, A. Tamandani and S. Soltani, "Microstrip antenna gain enhancement using near zero refractive index metamaterials," *Journal of Electrical and Computer Engineering Innovations*, vol. 5, pp. 59-63, 2017.

[19] S. Narayan, B. Sangeetha and R. M. Jha, "Directivity enhancement of microstrip antenna loaded with FSS based superstrate," *IEEE International Microwave and RF Conference*, 2014.