

Efeito da Variação da Largura de Banda com a Inclinação do Plano de Terra em uma Antena de Microfita com Elementos Parasitas Fractais

Gilmara Linhares Ramos de Araújo e Sandro Gonçalves da Silva

Resumo - Este artigo faz uma análise de uma antena de microfita com elementos parasitas em formas fractais distribuídos em camadas dielétricas acima do *patch* radiante. A antena foi projetada para trabalhar em várias frequências de ressonância. Além disso, mostra a capacidade de operar em UWB - Banda larga Ultra. A estrutura da antena tem um plano de terra inclinado. Para as medições destes protótipos foi utilizado um analisador de rede vetorial, o fabricante ROHDE & SCHWARZ - modelo ZVB14, que opera na faixa de 10 MHz - 14 GHz. Finalmente, os resultados medidos foram comparados com os simulados.

Palavras-Chave - Antena de microfita, Antena fractal, Plano de terra inclinado, Multicamada, Largura de banda.

Abstract - This paper makes a analysis of an microstrip antenna with parasitic elements in forms fractals distributed in dielectric layers above the radiating patch. The antenna was designer for work in various resonance frequencies. In addition, it shown the capacity of operates in UWB - Ultra wide Banda. The structure of antenna has a ground plane tilted. For the measurements of these prototypes was used a Vector Network Analyzer, the manufacturer ROHDE & SCHWARZ - model ZVB14, which operates in the range of 10 MHz - 14 GHz. Finally, the measured results were compared with those simulated.

Keywords— Microstrip antenna, Fractal antenna, Inclined ground plane, Multilayer, Bandwidth.

I. INTRODUÇÃO

Com o crescimento das aplicações em comunicações sem fio e o aumento das frequências de operação desses sistemas faz-se necessário a criação de antenas cada vez mais compactas e com um comportamento multibanda. O comportamento multibanda é importante para atender as necessidades dos modernos equipamentos de comunicação sem fio que unem em um único aparelho diversas tecnologias, sendo uma dessas as antenas de microfita. As pesquisas neste campo das telecomunicações têm alcançado grandes avanços, pois as antenas de microfita são amplamente utilizadas em diversos sistemas de comunicação devido às seguintes características: a facilidade de adaptação a superfícies planares e não-planares, baixo peso, tamanho reduzido, baixo custo, entre outras [1]. À medida que aumenta a complexidade dos sistemas de comunicações, novas estruturas são desenvolvidas a fim de atender aos requisitos de funcionamento e aperfeiçoamento do desempenho desses sistemas. Para isso, agregam-se a estas estruturas diversas técnicas de melhoramento e adaptação ao funcionamento destas tecnologias. Portanto, uma das

alternativas encontradas foi a união de conceitos fractais à teoria das antenas de microfita, que vem apresentando bons resultados nas pesquisas desenvolvidas atualmente. Devido algumas propriedades apresentadas pelos fractais, como por exemplo, a auto-similaridade e a capacidade de preenchimento de espaço, as quais são responsáveis pelo funcionamento em largas faixas de frequências e comportamento multibanda que as antenas fractais apresentam e, pela miniaturização das suas dimensões físicas, respectivamente [2], [9], [10], [11]. Além dessas características, as antenas fractais oferecem vantagens como a criação de estruturas muito pequenas, bom casamento de impedância, eficiência no funcionamento da antena e boa diretividade [2]. Este artigo utiliza conceitos da geometria fractal para a obtenção de respostas em várias bandas de frequências e maiores larguras de banda para esta antena. O tipo de fractal utilizado para a redução das dimensões dos elementos parasitas da estrutura analisada é a curva retangular de Koch em dois níveis de iterações, pois segundo [3] essa curva é caracterizada por dois fatores, quais sejam: o fator de iteração e o número de iterações. O projeto da antena proposta e os resultados obtidos serão discutidos nas seções seguintes.

II. PROJETO DA ANTENA PROPOSTA

A antena proposta possui três camadas dielétricas, nas quais está contido um elemento radiador e elementos parasitas fractais. A disposição dos elementos que compõe a antena é mostrada na figura 1.

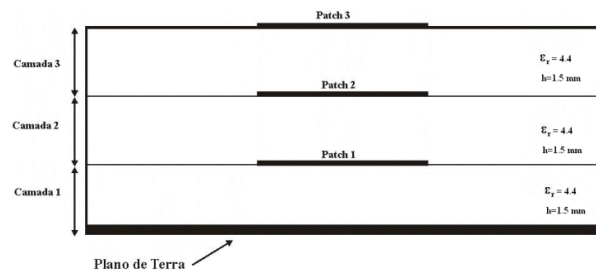


Fig. 1. Seção transversal da estrutura básica da antena proposta.

A primeira camada é composta por um *patch* retangular (*patch* 1) de largura W , comprimento L com casamento da linha de alimentação por meio de *inset feed* de comprimento y_0 e largura X_0 . A linha de alimentação de 50 Ω tem dimensões L_0 e largura W_0 e está localizada simetricamente na posição $W/2$ do *patch*, como pode ser visto na figura 2. A localização ou comprimento do *inset* (y_0) exerce influências na impedância de entrada do *patch* no ponto onde ocorre a junção entre a linha de alimentação e o *patch*. No entanto, a distância

(X_0) entre a linha e o *patch*, não exerce influências na impedância característica da linha de alimentação bem como em suas características de propagação [4]. Além disso, a impedância de entrada de uma antena de microfita depende também da geometria apresentada, das suas dimensões e das propriedades físicas dos materiais que são constituídos [5]. O *patch*1, elemento constituinte da camada 1, irá alimentar os *patches* que compõem a segunda e a terceira camadas (*patch* 2 e *patch* 3, respectivamente) por acoplamento eletromagnético ou acoplamento por proximidade. Com a utilização dessa técnica de alimentação a antena pode obter maiores larguras de banda além de reduzida radiação espúria [1], pois o acoplamento eletromagnético apresenta polarização cruzada baixa [6]. O material dielétrico utilizado para a construção da antena, nas três camadas, é a fibra de vidro (FR-4 epoxy) com altura de 1.5 mm e constante dielétrica (ϵ_r) de 4,4. Portanto a altura final da antena, após o empilhamento das camadas, é de 4,5 mm. Na primeira camada de substrato encontra-se o elemento irradiante ou *patch* com *inset-feed* (o *patch*1), ilustrado na figura 2, cujas dimensões foram obtidas de acordo com modelos clássicos existentes na literatura, tais como em [1] e [7], as quais são apresentadas na tabela I.

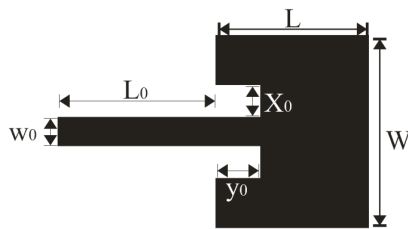


Fig. 2. Patch 1: elemento impresso sobre a primeira camada dielétrica da antena.

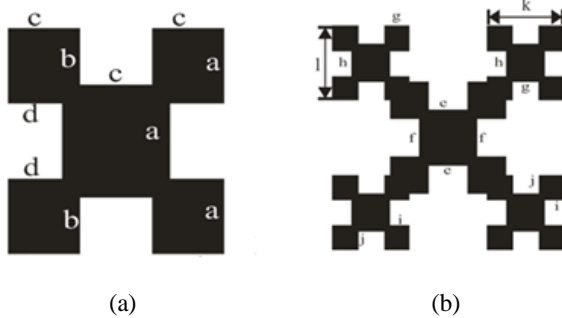


Fig. 3. (a) Patch 2: elemento impresso sobre a segunda camada dielétrica da antena; e (b) Patch 3: elemento impresso sobre a segunda camada dielétrica da antena.

Os valores das novas dimensões dos elementos, *patch* 2 (figura 3a) e *patch* 3 (figura 3b), podem ser vistos na tabela II e tabela III, respectivamente. O tipo de contorno utilizado para a geração dos níveis fractais da antena é a curva de Koch retangular, a qual pode ser obtida aplicando-se os seguintes fatores de iteração às dimensões (comprimento e largura) do *patch* 1, que são: (i) 1/3 em L e 1/4 em W, para o primeiro nível fractal da antena, figura 3a; e (ii) 1/16 em L e 1/9 em W para gerar a antena fractal de nível 2, figura 3b.

TABELA I. DIMENSÕES DA ANTENA PATCH 1, IMPRESSO NA PRIMEIRA CAMADA DA ANTENA PROPOSTA.

Dimensões do elemento correspondente ao nível zero da antena fractal (<i>patch</i> 1).						
Freq. (GHz)	W (mm)	L (mm)	W ₀ (mm)	X ₀ (mm)	L ₀ (mm)	y ₀ (mm)
5	18,25	13,81	2,87	2,87	14,1	4

A partir da segunda camada serão utilizadas antenas com contornos fractais obtidos a partir do nível inicial (*Patch* 1) da estrutura vista na figura 2. Como a alimentação a partir da segunda camada será por acoplamento eletromagnético, ou seja, não existirá linha de alimentação ou *probe* coaxial, os contornos fractais puderam ser aplicados aos quatro lados da antena como mostra a figura 3a e 3b, respectivamente.

TABELA II. DIMENSÕES DA ANTENA PATCH 2, IMPRESSO NA SEGUNDA CAMADA DA ANTENA PROPOSTA.

Dimensões do elemento correspondente ao nível 1 da antena fractal (<i>patch</i> 2).	
Dimensões do <i>patch</i> 2	Tamanho (mm)
a	6,08
b	4,56
c	4,6
d	3,45

TABELA III. DIMENSÕES DA ANTENA PATCH 3, IMPRESSO NA TERCEIRA CAMADA DA ANTENA PROPOSTA.

Dimensões do elemento correspondente ao nível 1 da antena fractal (<i>patch</i> 3).	
Dimensões do <i>patch</i> 3	Tamanho (mm)
e	2,3
f	3,04
g	1,53
h	2,02
i	1,15
j	1,52
k	4,6
l	6,08

Apenas dois níveis fractais puderam ser obtidos devido às limitações impostas na etapa de fabricação. Ao serem definidos os níveis de fractais e suas respectivas dimensões, iniciou-se a etapa das simulações. A frequência de projeto do *patch* da camada 1 foi de 5 GHz. As simulações foram realizadas com o auxílio do software Ansoft HFSS® (*High Frequency Structure Simulator*), sendo este utilizado para o cálculo dos parâmetros de espalhamento ou parâmetros S, bem como o comportamento da frequência de ressonância e campos eletromagnéticos sob a influência dos elementos parasitas da antena [8].

A. Estrutura da Antena Proposta

Determinadas as dimensões dos *patches*, foram iniciadas as simulações da antena proposta. Nesta etapa foram analisados três casos de modificações no plano de terra da antena, além da forma tradicional com a finalidade de aumentar a largura de banda apresentada por esta antena. As inclinações foram de zero grau (0°), três graus (3°), sete graus (7°) e doze graus (12°). Após uma série de simulações, foram construídos protótipos da antena, que é mostrada na figura 4. O ângulo de inclinação do plano de terra é representado pela letra “B”, visto na figura 5.

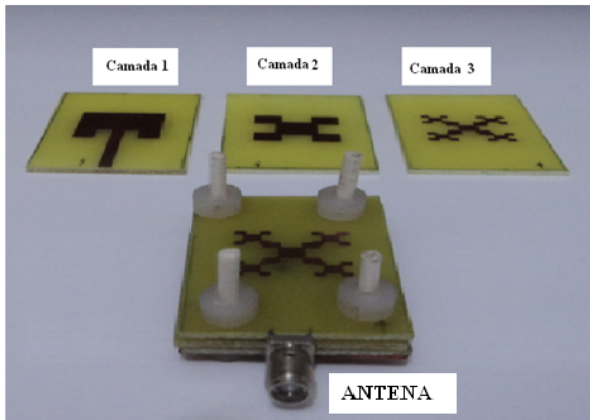


Fig. 4. Foto ilustrativa da antena proposta com suas respectivas camadas.

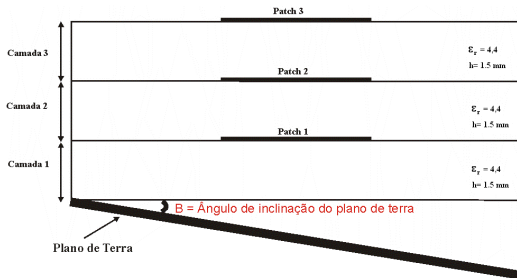


Fig. 5. Seção transversal da estrutura básica da antena proposta com plano de terra inclinado cujo ângulo de inclinação é representado por B.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção serão analisados os resultados obtidos através de simulações realizadas com o auxílio do *software* HFSS da antena, assim como os resultados medidos em laboratório para fins comparativos e validação. A figura 6 ilustra os resultados medidos e simulados da antena proposta com plano de terra sem modificações, ou seja, $B=0^\circ$, tanto das perdas de retorno quanto das larguras de banda obtidas. Os demais resultados obtidos, à medida que aumenta o ângulo de inclinação do plano de terra, são ilustrados nas figuras 7, 8 e 9. As simulações e medições foram realizadas na faixa de frequências de 2 a 14 GHz para todos os casos.

Pode-se observar que, na figura 6, a antena apresenta duas bandas de operação ($fr1$ e $fr2$) e duas larguras de banda (BW1)

na faixa de 8,6 a 10,2 GHz e (BW2) na faixa de 11,19 a 13,2 GHz, referentes ao resultado medido. Com relação ao resultado simulado a antena apresenta quatro bandas de operação ($m1$, $m2$ e $m3$) e duas larguras de bandas aproximadamente nas faixas de 6,92 a 8,19 GHz e 9,59 a 10,29 GHz, respectivamente.

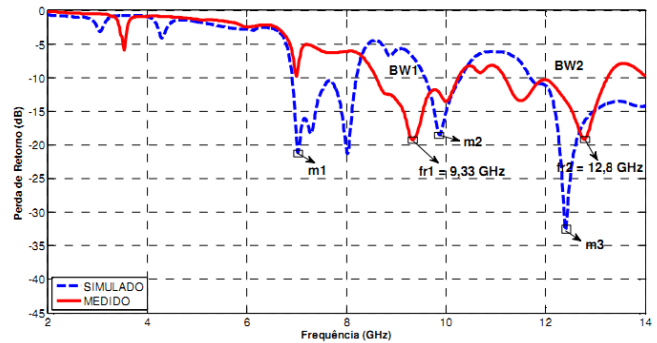


Fig. 6. Comparação dos resultados medidos e simulados da antena de microfita fractal com multicamadas e plano de terra sem inclinação ($B=0^\circ$).

O primeiro caso com inclinação a ser analisado refere-se a antena com plano de terra cujo ângulo de inclinação é de três graus ($B=3^\circ$). Os resultados obtidos mostram que nas simulações foi obtido o melhor casamento em $m4= 10,8$ GHz com uma largura de banda de aproximadamente 5,18 GHz, enquanto que nas medições foram obtidas três frequências de operação a $fr3$, $fr4$ e $fr5$ e duas larguras de banda puderam ser observadas a (BW3) na faixa de 6,8 a 7,55 GHz e (BW4) na faixa de 7,94 a 9,49 GHz, conforme ilustra a figura 7.

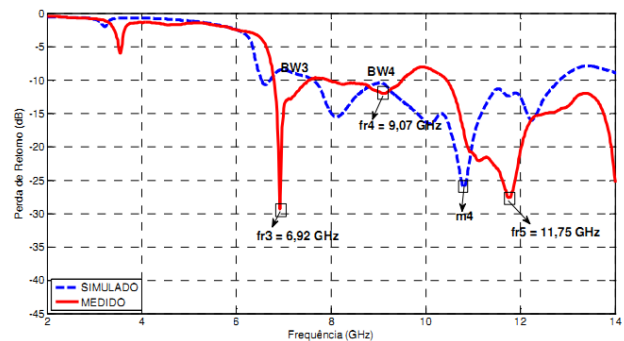


Fig. 7. Comparação dos resultados medidos e simulados da antena de microfita fractal com multicamadas e plano de terra sem inclinação ($B=3^\circ$).

Comparando-se ao caso analisado anteriormente nota-se no gráfico da figura 7 que ocorreu um melhoramento no casamento de impedâncias da antena, considerando-se as perdas de retorno tanto das simulações quanto das medições. De acordo com a figura 8, nas simulações foi observado o comportamento multibanda, que é uma característica das antenas fractais, essas frequências são representadas por $m5$, $m6$, $m7$, $m8$ e $m9$ apresentando uma largura de banda de aproximadamente 6,85 GHz da faixa de 6,49 a 13,34 GHz. Com relação às medições observou-se também um comportamento multibanda, essas frequências são

representadas por fr6, fr7 e fr8 com uma largura de banda (BW5) de aproximadamente 2,94 GHz em fr7 e maior que 3,5 GHz para fr8.

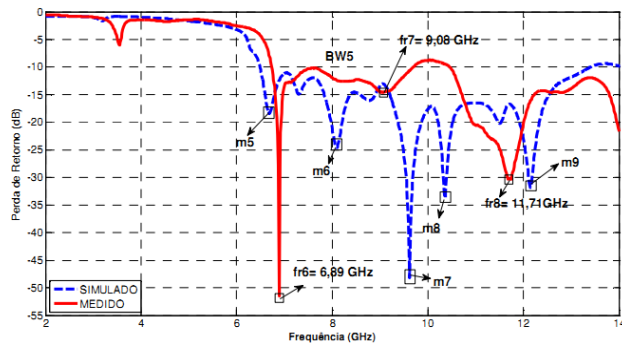


Fig. 8. Comparação dos resultados medidos e simulados da antena de microfita fractal com multicamadas e plano de terra sem inclinação ($B=7^\circ$).

O último caso a ser analisado (figura 9) refere-se à antena com inclinação de doze graus no seu plano de terra. Os resultados da perda de retorno apresentados para este caso mostram que tanto nas simulações quanto nas medições ocorreram mais de uma frequência de operação. Nas simulações a antena apresentou cinco frequências de operação representadas por m10, m11, m12, m13 e m14 e nas medições, a antena apresentou duas frequências de operação a fr9 e fr10 com uma largura de banda (BW6) de aproximadamente 2,94 GHz, na faixa de 6,74 a 9,68 GHz, e maior que 3,5 GHz acima de fr10, ilustrado na figura 9.

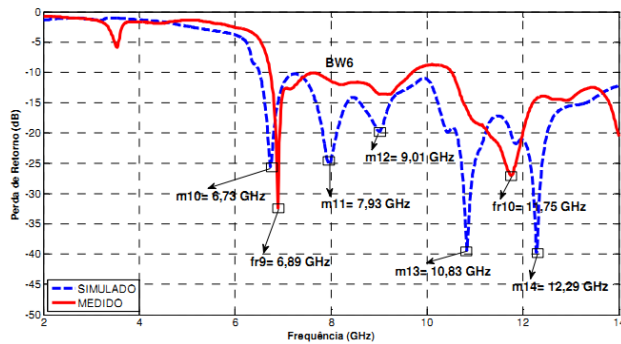


Fig. 9. Comparação dos resultados medidos e simulados da antena de microfita fractal com multicamadas e plano de terra sem inclinação ($B=12^\circ$).

Os resultados medidos referentes às frequências de ressonâncias e a largura de banda da antena analisada, da figura 6 a figura 9, estão resumidos nas tabelas IV e IV, respectivamente.

Com base nos gráficos apresentados se observam que a antena apresentou bons casamentos de impedâncias, com ênfase para o caso da antena com ângulo de 7° de inclinação que apresentou melhor casamento comparado aos demais casos analisados, além de boas larguras de banda.

TABELA IV. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DAS FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIA OBTIDAS NAS MEDIÇÕES PARA CADA CASO DA ANTENA ANALISADA.

Ângulo de inclinação	Ocorrências de ressonâncias		
Zero grau	fr1=9,33	fr2=12,8	
3 graus	fr3=6,92	fr4=9,07	fr5=11,75
7 graus	fr6=6,89	fr7=9,08	fr8=11,71
12 graus	fr9=6,89	fr10=11,75	

TABELA V. COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DAS LARGURAS DE BANDA OBTIDAS NAS MEDIÇÕES PARA CADA CASO DA ANTENA ANALISADA.

Angulo de inclinação	Primeira frequência (GHz)	Segunda frequência (GHz)
Zero grau	BW1=1,60	BW2=2,01
3 graus	BW3=0,75	BW4=1,55
7 graus	BW5=2,94	-
12 graus	BW6=2,94	-

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo analisou-se uma antena de microfita com elementos fractais parasitas dispostos em camadas dielétricas. Desta forma, observar os efeitos causados pela inclinação do plano de terra sobre alguns parâmetros da antena. Observou-se que com o aumento do ângulo de inclinação do plano de terra ocorreram variações importantes nos parâmetros considerados.

REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Balanis, *Teoria de Antenas: Análise e síntese*. Vol. 2, 3ª ed. Traduzido por: J. R. Souza, Rio de Janeiro, LTC, 2009.
- [2] N. S. Song, K. L. Chin, D. B. B. Liang, M. Anyi, *Desing of Broadband Dual-Frequency Microstrip patch Antenna with Modified Sierpinski Fractal Geometry*. Communication System, 10th IEEE Singapore International Conference on. Fevereiro 2007.
- [3] E. E. C. de Oliveira, A. L. P. S. Campos, P. H. F. da Silva, *Quasi-Fractal Koch Triangular Antenna*. Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC), SBMO/ IEEE MTT-S International. Março de 2010.
- [4] L. I. Basilio, M. A. Khayat, J. T. Williams e S. A. Long, *The Dependence of the Input Impedance on Feed Position of Probe and Microstrip Line-Feed Patch*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 49, pp. 46, nº 1, Janeiro 2001.
- [5] T. Samaras, A. Kouloglou, J. N. Sahalos, *A Note on the Impedance Variation with Feed Position of a Retengular Microstrip-Patch Antenna*. IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 46, pp. 90-92, nº 2. Abril 1994.
- [6] S. Ke, *Broadband Proximity-coupled Microstrip Antennas with an H-Shaped Slot in the Ground Plane*. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 2, pp. 530-533. Agosto 2002.
- [7] E. O. Hammersstad, *Equations for Microstrip Design*, Proceedings of Fifth European Microwave Conference, pp. 268-272, 1975.
- [8] O. Mrabet, *High Frequency Structure Simulator (HFSS) Tutorial*, IETR, UMR CNRS 6164, INSA, França, 2005.
- [9] T. Tiehong; Z. Zheng, "A Novel Multiband Antenna: Fractal Antenna". Communication Technology Proceedings, 2003. ICCT 2003. International Conference on.
- [10] J. J. Huang; F. Q. Shan; J. Z. She, "A Novel Multiband and Broadband Fractal Patch Antenna". Progress In Electromagnetics Research Symposium, Cambridge, USA, Março de 2006.

- [11] R. Kumar; P. Malathi; J. P. Shinde, “*Design of Miniaturized Fractal Antenna*”. Proceedings of the European Microwave Conference, Outubro de 2007.