

Ajuste das Frequências de Ressonâncias de Antenas *Patch* Retangular pela Técnica de Inserção de Fendas

Jefferson Costa e Silva, Deisy Formiga Mamedes, Thamyris da Silva Evangelista,
Thayuan Rolim de Sousa, Raquel da Silva Ferreira.

Resumo—Neste trabalho é apresentada uma técnica de ajuste da frequência de ressonância da antena tipo *patch* retangular em microfita. A técnica é baseada na inserção de duas fendas em forma de T e com a variação do comprimento dessas fendas a frequência de ressonância de primeiro e segundo modo são alteradas. Para validar a técnica proposta, foram fabricadas e caracterizadas experimentalmente quatro antenas, obtendo-se uma redução de frequência de 35% e 20%, para os dois primeiros modos, respectivamente. Os resultados obtidos são promissores e indicam o potencial da técnica para aplicações em antenas.

Palavras-Chave—Antenas em microfita, Ajuste de frequência, miniaturização.

Abstract—This paper presents a resonance frequency adjustment technique of rectangular microstrip *patch* antenna. The technique is based on the insertion of two T-shaped slots and the length of these slots varying the frequency of the first and second resonance mode are changed. To validate the proposed technique, we were fabricated and experimentally characterized four antennas, obtaining a reduction rate of 35% and 20% for the first and second modes, respectively. The results are promising and suggest the potential of this technique for applications in antennas.

Keywords—Microstrip antennas, frequency adjustment, miniaturization.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, em função das demandas dos diversos serviços de comunicação, em especial dos serviços de comunicação sem fio, e da popularização de programas computacionais para simulações em micro-ondas, observa-se o surgimento de diversas estruturas para atuarem como filtros, divisores de potência, acopladores, antenas, etc.

Várias dessas estruturas apresentam uma geometria complexa, muitas das quais baseadas na geometria fractal, como ilustrado na Fig. 1, [1]–[2]. Uma das características que têm chamado a atenção dos engenheiros de micro-ondas para as estruturas como motivos fractais é a redução das dimensões [1]–[6].

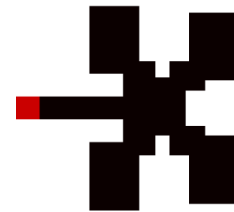


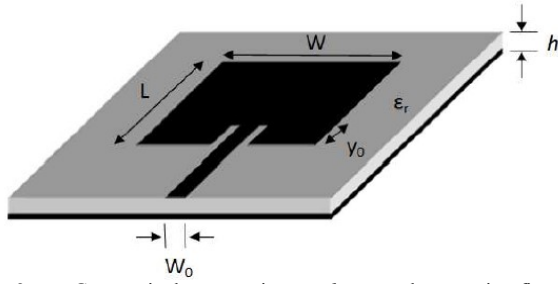
Fig. 1. Antena com geometria complexa [7].

Entretanto, mais recentemente, passou-se a questionar a real funcionalidade da existência de todos os detalhes gerados pela geometria fractal e em trabalhos realizados no GTEMA, IFPB, e na UFRN, gradativamente foram sendo identificados os detalhes que realmente contribuem para a resposta em frequência de FSS (Superfícies Seletivas em Frequência) [7]–[11]. Na continuidade desses trabalhos, foi desenvolvida no GTEMA uma técnica baseada apenas na inserção de fendas, Técnica da Inserção de Fendas, TIF, que pode ser aplicada, entre outras estruturas, às antenas tipo *patch* retangular. Em [12]–[13] são apresentados resultados numéricos e experimentais para essa técnica aplicada às antenas tipo *patch* retangular.

Neste trabalho, a Técnica da Inserção de Fendas é aplicada à antena tipo *patch* retangular em microfita, com o objetivo de reduzir a frequência de ressonância de segundo modo, além do primeiro. São apresentados resultados numéricos e experimentais, observando-se uma boa concordância entre os mesmos. Pela sua simplicidade, assim como a possibilidade de ser associada a outras técnicas de síntese de antenas, a Técnica de Inserção de Fendas torna-se bastante atrativa para os processos de sintonia, miniaturização e ajuste de largura de banda de antenas.

II. A TÉCNICA DE INSERÇÃO DE FENDAS EM FORMA DE T

A antena tipo *patch* retangular em microfita é basicamente constituída por um recorte metálico, *patch* de largura W e comprimento L , impresso sobre um substrato dielétrico de espessura h e constante dielétrica ϵ_r , limitado por um plano condutor, Fig. 2. Entre outras possibilidades de alimentação, uma das mais simples é a alimentação por uma linha de microfita de largura W_0 , casada com o *patch* através de dois insets, de comprimento y_0 .


 Fig. 2. Geometria da antena tipo *patch* retangular em microfita.

O projeto de antenas tipo *patch* retangular em microfita é bem estabelecido e as suas equações de projeto são dadas por [14]:

$$f_{r(mnp)} = \sqrt{f_{r(m00)}^2 + f_{r(0n0)}^2 + f_{r(00p)}^2} \quad (1)$$

$$f_{r(m00)} = \frac{3 \times 10^8 m}{2W_{ef} \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad m = 0,1,2,\dots \quad (2)$$

$$f_{r(0n0)} = \frac{3 \times 10^8 n}{2L_{ef} \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad n = 0,1,2,\dots \quad (3)$$

$$f_{r(00p)} = \frac{3 \times 10^8 p}{2h \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad p = 0,1,2,\dots \quad (4)$$

Os valores de m , n , e p estão associados às ressonâncias ao longo de W , L e h , respectivamente. Usualmente, $h \ll W$ e $h \ll L$, conseqüentemente, os primeiros modos de ressonância são determinados pela (5). De acordo com a posição da linha de alimentação, valores de m e n são possíveis ou não [14]. A constante dielétrica efetiva, ϵ_{ref} , pode ser obtida utilizando (6), [15].

$$f_{r(mn)} = \sqrt{f_{r(m00)}^2 + f_{r(0n0)}^2} \quad (5)$$

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10}{u}\right)^{-ab}$$

$$u = \frac{W}{h} \quad \text{ou} \quad u = \frac{L}{h}$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left[\frac{u^4 + \left(\frac{u}{52}\right)^2}{u^4 + 0.432} \right] + \frac{1}{18.7} \ln \left[1 + \left(\frac{u}{18.1}\right)^3 \right] \quad (6)$$

$$b = 0.564 \left(\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 3} \right)^{0.053}$$

Finalmente, os valores de W_{ef} e L_{ef} são dados pelas equações (7) e (8).

$$W_{ef} = W + 2\Delta W$$

$$\Delta W = 0.412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left(\frac{L}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{L}{h} + 0.8 \right)} \quad (7)$$

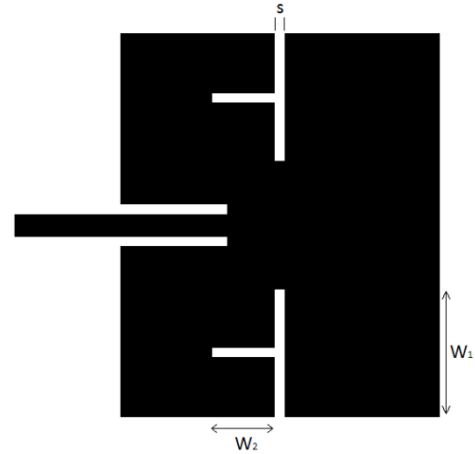
$$L_{ef} = L + 2\Delta L$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (8)$$

A técnica da inserção de fendas consiste basicamente em inserir fendas em determinados pontos do *patch* metálico. A localização e as dimensões das fendas são determinadas em função das características desejadas, podendo variar na largura e no comprimento, ser simétricas ou não.

A escolha da posição das fendas foi realizada através da análise da distribuição dos campos na antena e como essa distribuição está associada aos modos de ressonância. Modos de ordem superior apresentam campos acoplados nas duas direções, x e y , e a inserção das fendas altera simultaneamente mais de uma frequência de ressonância.

Neste trabalho, optou-se por utilizar duas fendas simétricas, de comprimento W_1 , conforme descrito em [14] para redução da frequência de ressonância de primeiro modo, e para reduzir o segundo modo de ressonância foi inserido duas fendas perpendiculares a estas, Fig. 3, de comprimento W_2 . Todas as fendas possuem largura s .


 Fig. 3. Geometria de uma antena tipo *patch* retangular em microfita com as fendas de ajuste.

III. RESULTADOS NUMÉRICOS E EXPERIMENTAIS

Para avaliar a técnica proposta foram fabricadas quatro antenas tipo *patch* retangular em microfita, utilizando um substrato de fibra de vidro, FR-4, de espessura $h = 1,6$ mm, $W = 36$ mm, $L = 30$ mm, $y_0 = 10$ mm e constante dielétrica $\epsilon_r = 4,4$. Inicialmente, foi considerada a antena ANT1, sem as fendas. Para essa antena a primeira frequência de ressonância é $f_{r(010)}$ e a segunda ressonância $f_{r(200)}$. Usando as equações (1)–(8), essas frequências foram calculadas e os resultados apresentados na Tabela I. A caracterização numérica foi realizada com o *software* comercial Ansoft DesignerTM, obtidas pelo Método dos Momentos. A caracterização experimental foi realizada no Laboratório do Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado, GTEMA, do IFPB, tendo sido utilizado um analisador de redes vetorial Agilent, N5230A. Nas Fig. (4)–(7) são apresentados os resultados numéricos e experimentais da perda de retorno, observando uma boa concordância.

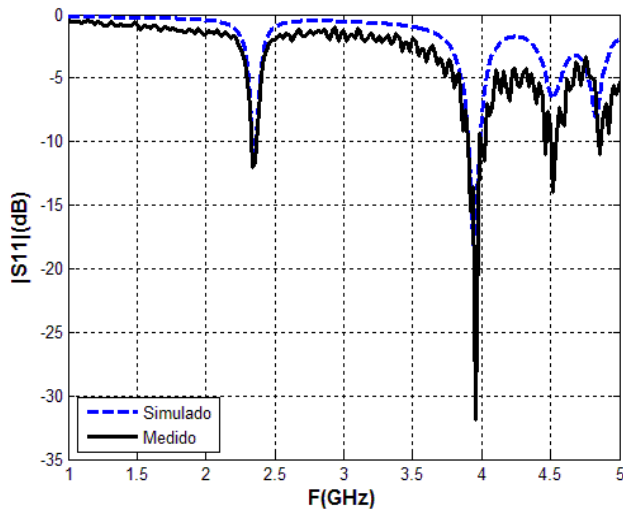


Fig. 4. ANT1 - $W_1=0\text{mm}$, $W_2=0\text{mm}$, $s=0\text{mm}$, $|S_{11}|$ (dB) \times Freq. (GHz).

Para as demais antenas, o valor de s e W_1 ficou fixo em 1mm e 12mm, respectivamente, isso implica que a primeira frequência de ressonância ficará praticamente fixa em 1,5GHz, e o valor de W_2 variou de 4mm a 8mm para reduzir o segundo modo. Note que neste caso as equações (1)–(8) não mais se aplicam. Os resultados são apresentados nas Fig. (5)–(7) e resumidos na Tabela I.

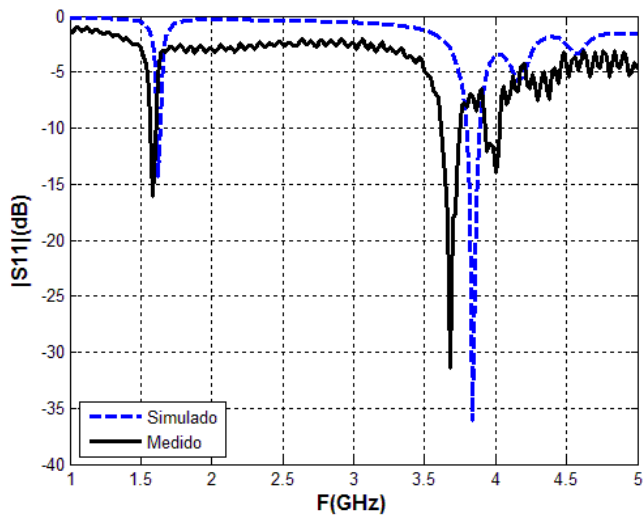


Fig. 5. ANT2 - $W_1=12\text{mm}$, $W_2=4\text{mm}$, $s=1\text{mm}$, $|S_{11}|$ (dB) \times Freq. (GHz).

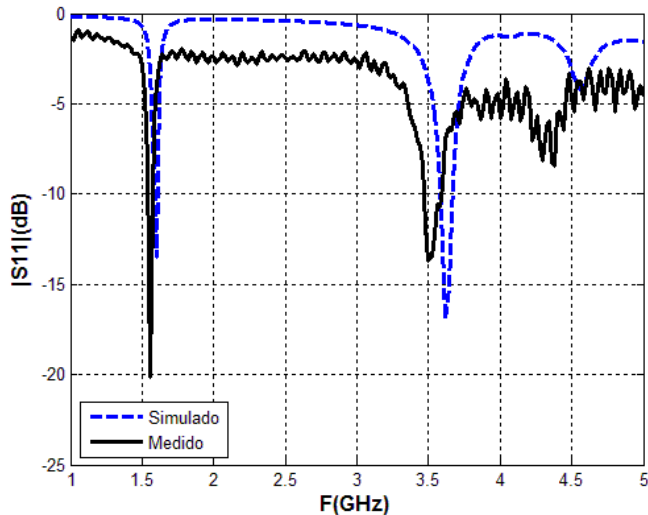


Fig. 6. ANT3 - $W_1=12\text{mm}$, $W_2=6\text{mm}$, $s=1\text{mm}$, $|S_{11}|$ (dB) \times Freq. (GHz).

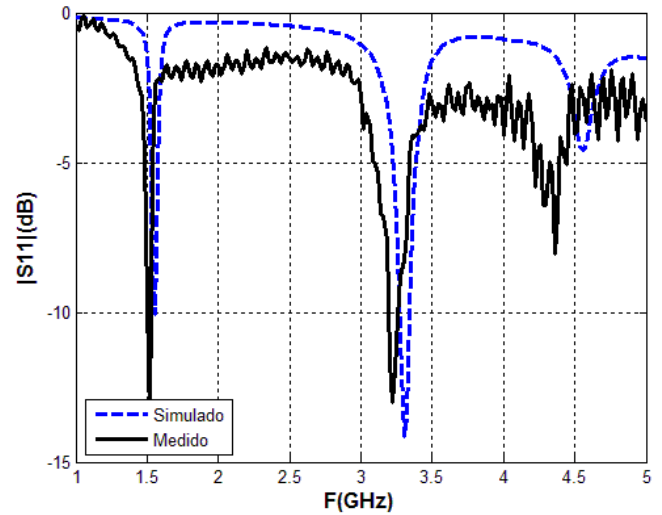


Fig. 7. ANT4 - $W_1=12\text{mm}$, $W_2=8\text{mm}$, $s=1\text{mm}$, $|S_{11}|$ (dB) \times Freq. (GHz).

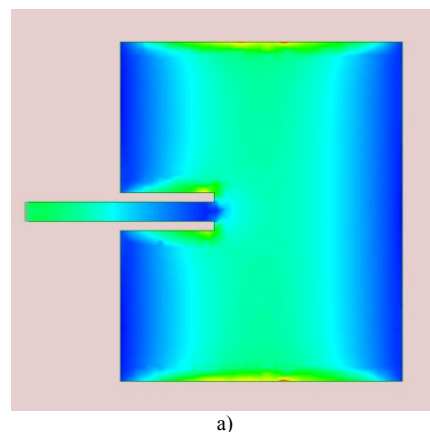
Com os resultados apresentados na Tabela I, observamos que a frequência de ressonância de segundo modo reduziu em torno de 250MHz a cada 2mm de fenda inserida.

O ajuste das frequências de ressonância demonstra a aplicabilidade da TIF, que além de reduzir estas pode ser empregada para compactar as antenas. A redução das dimensões das antenas com fendas implicará em uma alteração em seus modos ressonantes, que voltarão a operar na mesma frequência do *patch* convencional, pois o comprimento de onda elétrico será praticamente o mesmo da antena básica, Fig. 2.

TABELA I. DIMENSÕES E FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIA DAS ANTENAS TIPO *PATCH* RETANGULAR EM MICROFITA.

| Antena | W_2 (mm) | $f_{r(010)}$ (calc.) (GHz) | $f_{r(010)}$ (med.) (GHz) | $f_{r(200)}$ (med.) (GHz) |
|--------|---------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| ANT1 | 0 | 2,37 | 2,34 | 3,96 |
| ANT2 | 4 | ----- | 1,58 | 3,68 |
| ANT3 | 6 | ----- | 1,56 | 3,50 |
| ANT4 | 8 | ----- | 1,52 | 3,22 |

Na Fig. 8, temos a distribuição de corrente no *patch* radiante, onde podemos observar, Fig 8–(a) uma concentração de energia nos contornos não-radiantes. Com isso foi feito a inserção de fendas nestes contornos e a energia passou a se concentrar nas fendas, Fig 8–(b).



a)

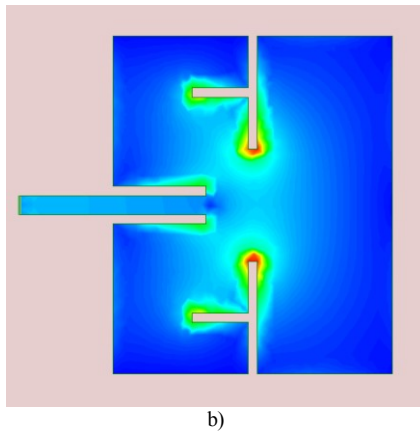


Fig. 8. Distribuição de corrente da: a) ANT1; b) ANT3.

A Fig. 9 mostra os resultados de simulação dos diagramas de radiação no plano E e H na forma polar das antenas. Na Fig. 9–(a) temos o resultado para a antena *patch* retangular convencional, cujo máximo de radiação ocorre na direção perpendicular ao elemento radiante (broadside). A Fig. 9–(b), apresenta a radiação para a antena com as fendas inseridas, que é similar a convencional, comprovando que as fendas não alteraram os parâmetros básicos de radiação.

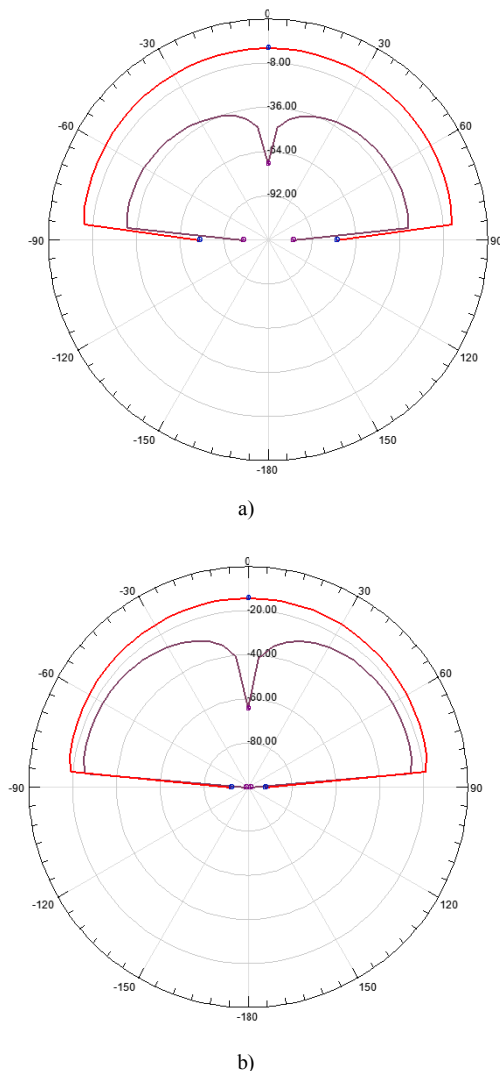


Fig. 9. Diagramas de radiação 3D das antenas com: a) *patch* retangular convencional; b) fendas inseridas.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma técnica de ajuste da frequência de ressonância de uma antena tipo *patch* retangular em microfita, baseada na inserção de duas fendas em forma de T, com as quais pode ser feito o ajuste da frequência de ressonância de primeiro [14] e segundo modo. Resultados experimentais confirmaram a redução dessa frequência em até 35% e 20%, para o primeiro e segundo modo, respectivamente, indicando a aplicabilidade da técnica proposta que além do ajuste da frequência, aplica-se à redução das dimensões da antena. O diagrama de radiação da antena com fendas mostrou-se ser similar a com *patch* convencional, indicando que não houve a degradação do mesmo. Considerando que a frequência de ressonância de cada modo pode ser ajustada individualmente, a técnica é particularmente interessante para sintonia, miniaturização e ajuste de largura de banda de antenas. Outras investigações possíveis são a utilização de fendas assimétricas, a obtenção de maiores larguras de bandas e melhorar o casamento de impedância. Concluindo, destaque-se ainda que a Técnica da Inserção de Fendas não se limita à geometria retangular.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao suporte financeiro e estrutural prestado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, IFPB.

REFERÊNCIAS

- [1] KOCH, Peter; and PRASAD, Ramjee. The universal handset. In *IEEE Spectrum*, vol. 46, p. 32-37, April, 2009.
- [2] HE, Shanhong; XIE, Jidong: A novel compact printed antenna used in TPMS or other complex and variable environments. In *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, p. 24-30, January 2008.
- [3] KIM, Iikwon; KINGSLEY, N.; MORTON, Matt; BAIRAVASUBRAMANIAN, R.; PAPAPOLYMEROU, J.; TENTZERIS, M. M.; YOOK, Jong-Gwan: Fractal-shaped microstrip coupled-line bandpass filters for suppression of second harmonic. In *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, p. 2943-2948, Sep. 2005.
- [4] ECCLESTON, K. W.: Shunt-loaded fractal-meandered microstrip. In *2008 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Art of Miniaturizing RF and Microwave Passive Components Dig.*, p. 67-70, Dec. 2008.
- [5] MORAES, L. B., BARBIN, S. E., “A Comparison between Minkowski and Koch fractal patch antennas”, in *Proc. 2011 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC)*, Natal, Brazil, pp. 17–21, 2011
- [6] OLIVEIRA, E. E. C., D'ASSUNÇÃO, A. G., Ronaldo de Andrade Martins, Antônio Luiz Pereira de S. Campos, “A new compact Koch fractal patch antenna on an EBG ground plane,” in *Proc. 2010 International Workshop on Antenna Technology (iWAT)*, pp. 1–4, 2010.
- [7] MONTALVÃO, Augusto César Pereira da Silva: Caracterização Numérica de Antenas para Aplicações RFID Utilizando o Método das Ondas -WCIP, 2010, Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal.
- [8] MONTALVÃO, Emanuele da Silva Rodrigues: Uma Proposta de FSS Fractal com Geometria Simplificada, 2010, Dissertação de Mestrado, UFRN, Natal.

- [9] LIMA, A. L., SILVA, A. N., MONTENEGRO, F., ARAUJO, I. S., GOMES NETO, Alfredo Redução da Complexidade Geométrica de Estruturas Fractais. In: Anais do 14° SBMO – Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e 9° CBMag – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, 2010. p.141 - 146, Vila Velha, ES.
- [10] LIMA, A. L., SILVA, A. N., PONTES, F. M., ARAÚJO, I. S., GOMES NETO. A., “Redução da complexidade geométrica de estruturas fractais,” in Anais do 14° SBMO – Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e 9° CBMag – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, 2010. pp.141–146, Vila Velha, ES.
- [11] GOMES NETO. A., SILVA, A. N., SILVA, J. C., SILVA, P. H. da F., D'ASSUNÇÃO, A. G., “Simulations and measurements of FSS with fractal elements,” in Proc. of the 40th European Microwave Conference, 2010, pp. 585–588.
- [12] GOMES NETO, Alfrêdo, BURLE DE AGUIAR, Cecília, “PARAMETRIZAÇÃO DA TÉCNICA DE INSERÇÃO DE FENDAS PARA ANTENAS TIPO PATCH RETANGULARES”, Projeto PIBICT, Edital N° 09/201, IFPB, 2011.
- [13] GOMES NETO, Alfrêdo; BURLE DE AGUIAR, Cecília; MAMEDES, Deisy Formiga; PEREIRA DE FIGUEIREDO, Joana Kely; GOMES GONÇALVES DE CARVALHO, Rafaela: “Uma Técnica de Ajuste da Frequência de Ressonância da Antena Tipo Patch Retangular”, IV CONNEPI, Natal, RN, 2011.
- [14] AGUIAR, Cecília Burle de; MAMEDES, Deisy Formiga; FIGUEIREDO, Joana Kely Pereira de; CARVALHO, Rafaela Gomes Gonçalves de; SILVA, Jefferson Costa e; GOMES NETO, Alfrêdo: “A Técnica da Inserção de Fendas Aplicada à Antena Tipo Patch Retangular”, MOMAG2012, João Pessoa, PB, 2012.
- [15] SILVA, J. Costa e: “análise dos Modos Ressonantes em Antenas de Microfita sobre Substratos Isso/Anisotrópicos por Técnicas de Ressonância Transversa, 2005”. Tese de Doutorado, UFRN, Natal.