

Projeto de Antena Log-Periódica de Koch Fractal com Três Iterações de Koch para TV Digital

Vivian Siffert Wildner e Marcelo Grafulha Vanti

Resumo—Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de antenas com bom desempenho em relação à perda de retorno e ganho na faixa de frequência da TV Digital, que vai de 470 MHz a 806 MHz. É discutido o projeto de uma antena log-periódica de Koch fractal, com dipolos que apresentam três iterações de Koch, e os resultados são comparados com aqueles de uma antena log-periódica linear projetada para operar na mesma frequência.

Palavras-Chave— *Antena Log-periódica de Koch Fractal; Dipolo de Koch; Arranjos de Antenas Fractais; Antena Log-Periódica; Miniaturização de Antenas; Antenas para TV Digital.*

Abstract— This paper presents the development of antennas with good performance against the return loss and gain in the frequency range of Digital TV, ranging from 470 MHz to 806 MHz. It's discussed the design of a log-periodic antenna Koch fractal with dipoles that have three iterations Koch, and the results are compared to those of a log-periodic linear antenna designed to operate on the same frequency.

Keywords— *Log-Periodic Fractal Koch Antenna; Dipole Koch; Fractal Antenna Arrays; Log-Periodic Antenna; Miniaturization of Antennas; Antennas for DTV.*

I. INTRODUÇÃO

O termo fractal foi citado pelo matemático Mandelbrot nos anos 1970. Mandelbrot formulou hipóteses segundo as quais muitas destas geometrias são infinitamente subdivisíveis com cada divisão sendo uma cópia do todo [1], [2], [3].

As antenas com elementos fractais podem ser multibanda, devido a característica de auto-similaridade, que pode ser descrita como a réplica da geometria em diferentes escalas, ou as antenas fractais são compactas, devido a propriedade de preenchimento de espaço, como é o caso das antenas que utilizam curvas de Koch [1],[4],[5]. A curva de Koch tem sido aplicada como monopolo, loop, antena microfita e log-periódica [3]. As antenas fractais podem ser utilizadas para telefonia celular, RFID, Wi-Fi, TV digital, entre outras aplicações.

Em [6] foi mostrado que conforme aumenta-se o número de iterações de Koch, a antena se torna ressonante em uma frequência menor e passa a apresentar mais frequências de ressonâncias em uma mesma faixa de frequência. Dessa forma os dipolos de Koch fractais permitem reduzir o tamanho físico das antenas, mantendo desempenho semelhante ao do dipolo linear. Esse artigo apresenta o desempenho de um arranjo de antenas do tipo log-periódica de Koch fractal, quando

comparado ao de uma antena log-periódica linear convencional. As antenas foram simuladas através do software livre 4NEC2 [7].

Devido a atual importância de desenvolvimento de antenas para TV Digital no Brasil, essa foi a aplicação escolhida nesse artigo, portanto a frequência analisada foi de 470 MHz a 806 MHz. O objetivo é discutir o desenvolvimento de uma antena fractal ressonante, na maior banda, dentro da faixa de frequência de TV digital, a partir de 470MHz.

Para desenvolver esse projeto, foram feitos testes com antenas log-periódicas formadas com dipolos lineares, dipolos com curvas de Koch de primeira, segunda e terceira iterações e com diferentes quantidades de dipolos, de 2 a 6. Esse artigo irá comparar o desempenho da antena log-periódica linear e da log-periódica formada por dipolos com três iterações de Koch, pois não foi encontrada na literatura análise semelhante.

II. ANTENA LOG-PERIÓDICA DE KOCH FRACTAL

Fractais podem apresentar a propriedade de permitir maior preenchimento de espaço possibilitando o projeto de antenas de maior comprimento elétrico, em um espaço físico delimitado. Assim é possível construir pequenas antenas que ocupam o mesmo volume que as lineares, mas mais compridas eletricamente [4]. O aumento do comprimento elétrico leva a uma menor frequência de ressonância, que pode ser utilizado para miniaturizar os elementos das antenas [8], como o que ocorre com os dipolos que possuem geometria de Koch.

A. Geometria de Koch Fractal

A geometria de Koch foi originalmente estudada pelo matemático sueco Helge von Koch, em 1904 [2], [3]. O método de obtenção da curva de Koch fractal pode ser obtido em [1], [4] e [6].

Na Figura 1 estão representadas as três primeiras iterações da curva de Koch que possuem o mesmo comprimento linear l , ou seja, a mesma distância linear entre o primeiro e o último ponto. O primeiro elemento da série é um segmento linear chamado K0 (iteração zero da construção fractal) que representa o monopolo linear euclidiano. As iterações sequenciais são denominadas K1, K2 e K3.

Para se obter a primeira iteração da curva de Koch, divide-se um segmento linear em três partes de mesmo comprimento,

então substitui-se o segmento do meio por duas retas que tem o mesmo comprimento que ele, formando um triângulo equilátero sem a base. Cada segmento da primeira iteração, K1, tem um terço do comprimento de K0, assim passam a existir quatro retas com comprimentos de $1/3$ do segmento linear original totalizando um comprimento que vale $4/3$ do comprimento de K0. A cada iteração, o formato K1 é inserido nos segmentos retos, numa escala três vezes menor que a anterior. O comprimento físico total da curva de Koch, cresce $4/3$ a cada iteração [4].

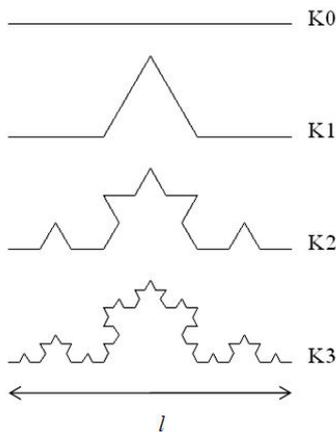


Fig. 1. As três primeiras iterações da curva de Koch de mesmo comprimento linear l .

B. A Antena Log-periódica de Koch Fractal

O modelo mais comum de antena log-periódica é o arranjo log-periódico de dipolos (LPDA), em que os elementos são dipolos lineares. As equações que determinam as dimensões como o comprimento e a distância entre os dipolos de uma antena log-periódica podem ser obtidas por [9].

Quando os dipolos lineares são substituídos por dipolos com geometria fractal de Koch, essa antena é conhecida como LPFKA (antena log-periódica fractal de Koch) [10]. É importante ressaltar que a antena dipolo de Koch fractal propriamente dita é formada por infinitas iterações da curva de Koch. Porém esse trabalho irá analisar as características dos dipolos formados com três iterações da curva de Koch em conjunto na log-periódica fractal, relacionada aqui como LPFKA-K3.

Alguns artigos disponíveis na literatura apresentam projetos de arranjos log-periódicos de Koch fractal [10]-[12], mas não se encontrou, durante o desenvolvimento desse trabalho, outro artigo que trate de log-periódica fractal com dipolos no formato K3, como o presente trabalho.

III. SIMULAÇÕES

A. Projeto

Os arranjos foram simulados no 4NEC2, software livre baseado no método dos momentos que analisa a resposta eletromagnética de estruturas arbitrárias construídas com finos fios ou superfícies. Os arranjos simulados são constituídos de fio de cobre e imersos no espaço livre. O conjunto de antenas é alimentado no centro dos dipolos que são conectados por uma linha de transmissão. Para cada arranjo foram desenhados seis dipolos, o LDPA foi projetado com 12 pontos e o LPFKA-K3 com 768 pontos no total. As divisões retas foram discretizadas de acordo com a autosegmentação do próprio software e os raios foram estipulados de forma a não haver erro numérico.

Primeiramente nesse artigo foi projetada um conjunto LDPA no qual os comprimentos e espaçamentos dos dipolos lineares foram calculadas a partir das equações obtidas em [9], para apresentar frequência de ressonância mínima de 470MHz.

Um dos importantes parâmetros de projeto de uma antena log-periódica é o fator de escala (τ). A relação entre os diferentes dipolos que compõem o arranjo e o fator de escala é representado pela equação (1), onde l_n representa o comprimento de cada dipolo n do arranjo, e d_n representa a distância entre os dipolos. Nesse trabalho adotou-se τ como 0,9, pois esse é o valor que forneceu os comprimentos dos dipolos que resultam nas antenas com melhor valor de perda de retorno na faixa de frequências desejadas entre os vários modelos analisados.

$$\tau = \frac{l_n}{l_{n+1}} = \frac{d_n}{d_{n+1}} \quad (1)$$

A partir de observações das simulações, no arranjo LPFKA-K3 com melhor desempenho, o comprimento l_n de cada dipolo K3 deve ser igual a 68% do comprimento do equivalente dipolo linear do LPDA, para ser ressonante a partir de 470 MHz. Esse mesmo fator de redução (de 32%) foi considerado no espaçamento entre os dipolos do arranjo da LPFKA-K3, em comparação com os espaçamentos calculados para o LDPA.

Os arranjos de dipolos projetados estão na Figura 2. Na Figura 2.a) está representado o LDPA e na Figura 2.b) está o LPFKA-K3. Os valores calculados e utilizados nas simulações constam na tabela I.

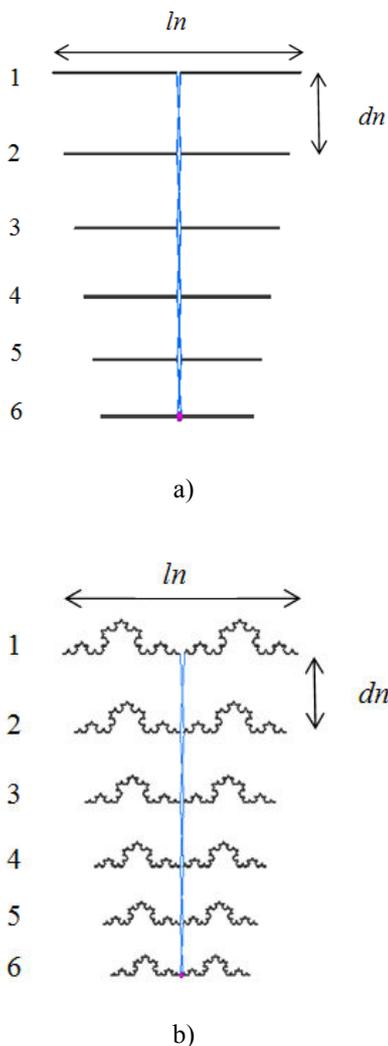


Fig. 2. Arranjos projetados com 6 dipolos: a) Antena log-periódica linear (LPDA), b) Antena log-periódica de Koch fractal K3 (LPFKA-K3).

TABELA I. DIMENSÕES DOS ARRANJOS PROJETADOS

Dipolos <i>n</i>	LPDA		LPFKA-K3	
	Comprimentos dos dipolos <i>ln</i> (m)	Distância entre os dipolos <i>dn</i> (m)	Comprimentos dos dipolos <i>ln</i> (m)	Distância entre os dipolos <i>dn</i> (m)
1	0,31915	0,10704	0,21702	0,07279
2	0,28723	0,09634	0,19532	0,06551
3	0,25851	0,08670	0,17579	0,05896
4	0,23266	0,07803	0,15821	0,05306
5	0,20939	0,07023	0,14239	0,04776
6	0,18845		0,12815	

Dessa forma, na LPDA, o maior dipolo tem comprimento 31,91 cm e o arranjo todo tem distância total (entre o primeiro e o último dipolo) de 43,93cm. Por outro lado, na LPFKA-K3 o dipolo de maior comprimento tem 21,70cm e o arranjo tem distância total de 29,81cm. O que representa uma redução de 32% tanto no comprimento como no espaçamento dos dipolos.

B. Perda de retorno e ganho

Os valores da magnitude do coeficiente de reflexão, expressa em dB, que representa a perda de retorno, simulados no 4NEC2, são apresentadas na Figura 3, na qual a curva em vermelho (linha tracejada) representa o comportamento da antena LPDA e a curva em azul (linha contínua) o da antena LPFKA-K3, para as frequências de 450 MHz a 830 MHz. A impedância característica adotada foi de 50Ω.

Na ausência de casamento de impedâncias, considera-se nesse trabalho que valores de perda de retorno abaixo de -8 dB são valores aceitáveis. Analisando dessa forma, o arranjo LDPA apresenta bom desempenho nas frequências de TV digital, com exceção dos intervalos 520 a 550 MHz, de 670 a 690 MHz e nas frequências superiores a 785 MHz. Enquanto que a LPDKA-K3 também apresenta bom desempenho na faixa de TV digital, com exceção dos intervalos de 570 a 595 MHz e nas frequências acima de 730 MHz.

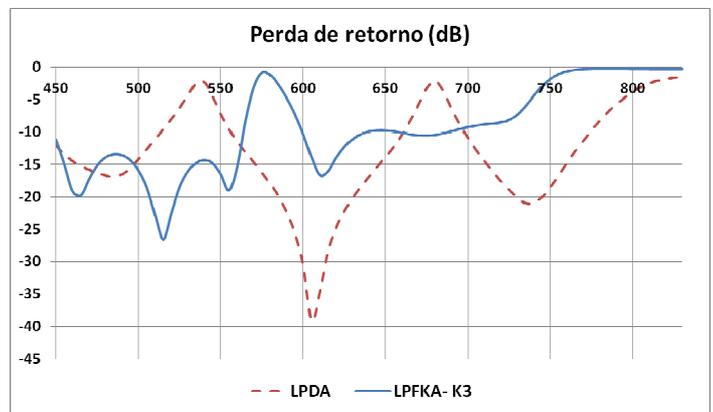


Fig. 3. Valores de perda de retorno (dB) para os arranjos simulados.

A Figura 4 apresenta o diagrama de irradiação 3D e o ganho dos arranjos simulados no 4NEC para a frequência de ressonância de 610MHz, frequência na qual os dois conjuntos apresentam bons valores de perda de retorno. Observa-se na Figura 4.a) que o ganho máximo da LDPA vale 8,05 dBi, e na Figura 4.b) que o ganho máximo da antena LPFKA-K3 é 6,74dBi, sendo um pouco inferior ao da LDPA para essa frequência.

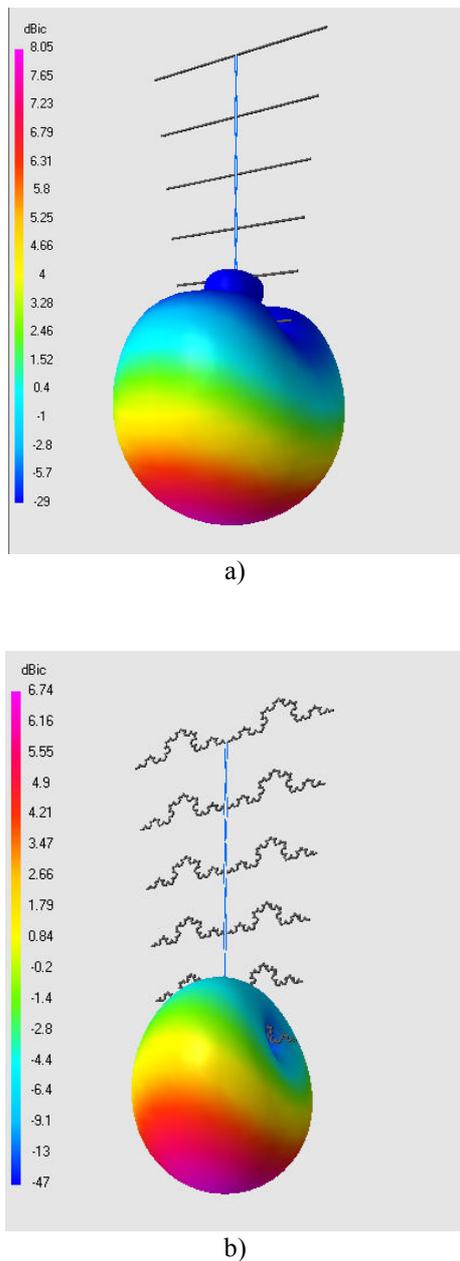


Fig. 4. Diagrama de irradiação 3D e ganho (dBi) para a frequência de 610MHz: a) antenas LDPA, b) antena LPFKA-K3.

IV. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foram estudadas antenas log-periódicas LDPA com dipolos lineares e antenas LPFKA-K3, e analisados seus desempenhos na faixa de frequência de TV digital do Brasil.

A partir da modelagem da log-periódica linear, obteve-se uma antena log-periódica fractal com dipolos de Koch com três iterações. Ficou clara a miniaturização da antena, com

uma redução de 32% no comprimento dos dipolos e na distância total do arranjo LPFKA-K3 para um desempenho semelhante ao da LDPA, na frequência a partir de 470 MHz. Por outro lado, houve uma pequena diminuição do ganho, analisado na frequência de 610 MHz.

Para otimizar os resultados, e tornar as antenas ressonantes em toda a faixa de frequências da TV digital no Brasil, pode ser adicionado mais dipolos aos conjuntos LDPA e LPFKA-K3, o que aumentará a largura de banda das antenas. Outra alternativa que pode ser analisada é alterar o espaçamento entre os dipolos e testar o desempenho das antenas.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece o financiamento da bolsa de mestrado fornecida pela CAPES que possibilitou a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] D. H. Werner, S. Ganguly, "An Overview of Fractal Antenna Engineering Research," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 45, pp. 38-57, no.1, Feb. 2003.
- [2] P. Felber, "Fractal Antennas", Illinois Institute of Technology. Dec. 2000.
- [3] K.J.Vinoy, J.K.Abraham, V.K.Varadan, "On the Relationship Between Fractal Dimension and the Performance of Multi-Resonant Dipole Antennas using Koch Curves", IEEE Trans. Antennas and Propagat., vol. 51, No. 9, p.2296-2303, sept. 2003.
- [4] C. Puente Baliarda, J. Romeu, e A. Cardama, "The Koch Monopole: a Small Fractal Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagat., vol. 48, pp.1773-1781, Nov. 2000.
- [5] S. R. Best, "On the Performance Properties of the Koch Fractal and Other Bent Wire Monopoles". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 51, no. 6, june 2003.
- [6] V. S. Wildner, M. G. Vanti. " A Antena Dipolo de Koch Fractal". Momag (15º SBMO – Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 10º CBMag – Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo), agosto, 2012.
- [7] Voors, Arie. 4NEC2: NEC based antenna modeler and optimizer. Disponível em: <http://home.ict.nl/~arivoors/>. Acesso em: 10 ago. 2011.
- [8] J.P. Glanvittorio and Y. Rahmaat-Samii, "Fractal Antennas: A Novel Antenna Miniaturization Technique, and Applications". IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 44, No. 1, February 2002.
- [9] Balanis, Constantine A. Antenna Theory: Analysis and Design. 3 ed. New Jersey: Wiley and Sons, 2005, 960p.
- [10] M. N. A. Karim, M.K.A. Rahim, H.A.Majid, O. Ayop, M. Abu e F.Zubir. "Log Periodic Fractal Koch Antenna for UHF Band Applications". Progress In Electromagnetics Research, PIER 100, 201-218, 2010.
- [11] M. N. A. Karim, M. K. A. Rahim, T. Masri, O. Ayop "Analysis Of Fractal Koch Dipole Antenna For UHF Band Application". IEEE International RF and Microwave Conference Proceedings, December-2008.
- [12] M.K.A. Rahim, M.N.A. Karim, F. Zubir, O. Ayop and N.A. Samsuri "Second Iteration Fractal Koch Planar Log Periodic Antenna Design". Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 53, No. 8, August 2011.