

## **PROJETO DE ANTENAS FRACTAIS PARA LEITORES RFID**

**Luiz Barbosa da SILVA NETO (1); Paulo Henrique da Fonseca SILVA (2)**

(1) CEFET-PB – Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba,  
GTEMA – Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado  
Av. 1º de Maio, 720 Jaguaribe, CEP: 58015-430 – João Pessoa, PB, Brasil  
e-mail: luizneto.telecom@gmail.com

(2) CEFET-PB/GTEMA, e-mail: henrique@cefetpb.edu.br

### **RESUMO**

Os sistemas de identificação por rádio frequência (RFID - *Radio Frequency Identification*) são capazes de realizar a identificação à distância de objetos, animais e pessoas, apresentando diversas aplicações industriais, médicas e científicas. Um sistema RFID é composto basicamente de etiquetas inteligentes, nas quais ficam armazenadas as informações de identificação, e de aparelhos leitores, que são responsáveis pela recepção e processamento das informações contidas nas etiquetas. Nos sistemas RFID as antenas desempenham um papel importante e sua eficiência é crucial para a transmissão e recepção de sinais através de ondas radioelétricas. Neste contexto, o uso da geometria fractal é cada vez maior nos projetos de antenas, permitindo a miniaturização das antenas usadas em dispositivos portáteis. Neste trabalho foram desenvolvidas antenas fractais compactas para uso em aparelhos leitores de etiquetas operando em 2,4 GHz. Os projetos visam à construção de antenas planares em microfita do tipo *patch* baseada na geometria fractal da curva de Koch. Para a fabricação das antenas fractais foram utilizadas ferramentas de CAD (*Computer Aided Design*). As características das antenas fabricadas foram medidas para a validação dos resultados teóricos.

**Palavras-chave:** identificação por rádio frequência, antenas, fractais.

## 1. INTRODUÇÃO

A identificação por rádio frequência (RFID) teve seu desenvolvimento durante a época da II Guerra Mundial, para identificar as aeronaves amigas das inimigas, uma tecnologia semelhante a do radar que permitia identificar se os aviões pertenciam ou não às forças Aliadas (THORNTON, 2006).

Um sistema RFID é composto por etiquetas inteligentes (*tags*), onde ficam armazenadas as informações do objeto que se deseja identificar, e por equipamentos leitores (*readers*), responsáveis pela coleta e o processamento de dados, Glover et al. (2007). As antenas são peças fundamentais nos sistemas RFID – a eficiência das antenas é crucial para a transmissão/recepção de sinais e dados através de ondas radioelétricas.

O sistema RFID tem uma flexibilidade muito grande sendo utilizados nos mais variados tipos de aplicações como: na identificação de animais ou pessoas, como mecanismo de segurança em controles de acesso a determinadas áreas e/ou serviços (FINKENZELLER, 2003), gerenciamento de bagagens em aeroportos, automação e gerenciamento de serviços industriais e comerciais. No Brasil, o sistema nacional de identificação automática de veículos (SINIAV) faz uso da tecnologia RFID, Oliveira (2006). Os sistemas RFID têm como ponto forte a capacidade de identificação à distância por meio de radiofrequência de forma eficiente e automatizada, gerando assim uma adoção cada vez maior desta tecnologia na área de logística, Cunha (2005). Desde a otimização dos processos de logística, à automatização da cadeia de fornecimento, não existe atualmente um limite relativamente àquilo que se poderá alcançar, Teixeira et al. (2007).

Os sistemas de comunicação sem fio especificamente o RFID tem cada vez mais evoluído objetivando um aumento dos recursos em contrapartida da diminuição dos componentes do sistema. Nestes sistemas as antenas desempenham um importante papel. As antenas em um sistema RFID são componentes com grande importância, pois elas são responsáveis por irradiar os sinais de radiofrequência, que, por exemplo, ativam os sistemas de etiquetas passivas. Em etiquetas ativas a alimentação é feita por meio de uma bateria. Após o recebimento de sinais de RF, os dados são processados nas etiquetas e as informações nelas contidas são enviadas às antenas dos leitores para processamento.

As antenas baseadas na geometria fractal apresentam comportamentos eletromagnéticos interessantes devido as suas propriedades geométricas de auto-similaridade e preenchimento de espaço. Estas propriedades são utilizadas para a miniaturização de antenas (SILVA, 2008).

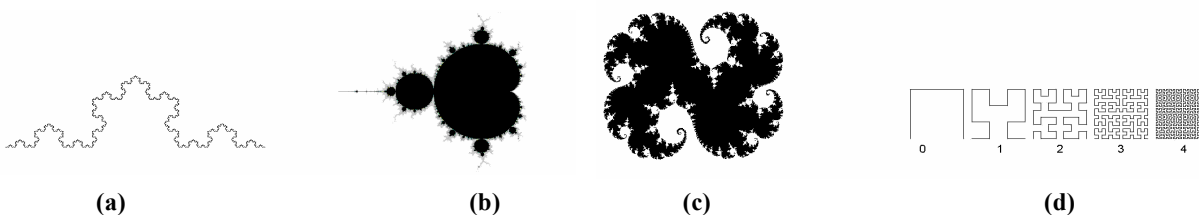
As antenas fractais têm recebido grande atenção dos pesquisadores em Engenharia de Microondas devido às suas características. Nesta área da eletrodinâmica fractal, Cohen (1997) e Puente (1998) foram os pioneiros no estudo das antenas utilizando elementos fractais. Basicamente, o que diferencia a geometria fractal da geometria Euclidiana são duas propriedades de grande importância na concepção de antenas multi-banda e banda larga: a auto-similaridade e o preenchimento do espaço (FALCONER, 1990). A propriedade de auto-similaridade é responsável pelo comportamento multi-banda da antena, enquanto que a propriedade de preenchimento do espaço é responsável pela miniaturização das dimensões da antena (LEE et al., 2003).

Neste trabalho foram desenvolvidas antenas fractais compactas para uso em aparelhos leitores de etiquetas operando em 2,4 GHz. Os projetos visam à construção de antenas planares em microfita do tipo *patch* baseada na geometria fractal da curva de Koch.

A seção 2 apresenta uma descrição resumida da geometria fractal da curva de Koch. O sistema iterativo de funções (IFS – *Iterative Function System*) é aplicado para a geração da curva de Koch. A seção 4 descreve a estrutura da antena fractal de Koch proposta. A seção 5 apresenta os resultados obtidos para a miniaturização de antenas otimizadas para 2,4 GHz. A seção 6 apresenta as conclusões deste trabalho.

## 2. FRACTAIS – A CURVA DE KOCH

A popularização dos fractais ocorreu a partir da década de 1980, com o avanço da informática, que viabilizou a geração/visualização de figuras fractais. Dentre os fractais mais conhecidos, incluem-se: o conjunto de Cantor, o triângulo de Sierpinski, as curvas de Peano, Hilbert, Koch, a esponja de Menger, o conjunto de Mandelbrot, os conjuntos de Júlia, o fractal de Lyapunov (ver Figura 1).



**Figura 1 – Exemplos de figuras fractais: (a) curva de Koch; (b) conjunto de Maldelbrot; (c) um dos conjuntos de Júlia; (d) curva de Hilbert.**

A geometria fractal estuda objetos geométricos com propriedades de auto-similaridade e preenchimento de espaço, que apresentam dimensão fractal. Os fractais geralmente são construídos através da aplicação de métodos iterativos, tais como, o sistema iterativo de funções, sistema L, métodos numéricos, etc. Os fractais têm infinitos detalhes, independente da escala em que for observado, um fractal sempre apresentará cópias de uma mesma estrutura básica, que é chamada de figura geradora.

O termo fractal foi introduzido por Benoit Mandelbrot em 1975. Um fractal é um objeto gerado através de uma fórmula matemática a partir de funções reais ou complexas, muitas vezes simples, mas que quando aplicadas de forma iterativa, produzem formas geométricas abstratas, com padrões complexos que se repetem infinitamente, Batanete et al. (2004).

Os fractais são aplicados em muitos ramos da ciência e tecnologia, desde a biologia até a engenharia. A união entre o eletromagnetismo e a geometria fractal originou a área de pesquisa denominada eletrodinâmica fractal (FALCONER, 1990). Nesta área, as propriedades únicas da geometria fractal mostram-se úteis para a construção de filtros, superfícies seletivas em frequência e antenas, possibilitando soluções práticas para uma variedade de aplicações na banda ISM (*Industrial Scientific & Medical*).

Os fractais podem ser construídos a partir de diferentes métodos. Um desses métodos é o Sistema Iterativo de Funções (IFS, *Iterated Function System*), introduzido pelo matemático inglês Michael Barnsley (1986), um dos pioneiros da ciência dos fractais. O IFS é um método para a geração de fractais através de transformações afins.

A curva de Koch, ilustrada na Figura (2), é obtida a partir de uma reta através de quatro transformações afins  $w_i : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ , da forma:

$$w_i \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \left[ \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_i \\ f_i \end{pmatrix} \right] \quad [\text{Eq. 01}]$$

As variáveis  $\theta_i$ ,  $e_i$  e  $f_i$  assumem os valores dados na Tabela 1. Estas quatro transformações fazem uma contração de  $1/3$  unidades;  $w_2$  faz uma rotação de  $60^\circ$  e uma translação de uma unidade na direção  $x$ ;  $w_3$  faz uma rotação de  $-300^\circ$ , uma translação de  $3/2$  unidades na direção  $x$  e  $\sqrt{3}/2$  na direção  $y$ ;  $w_4$  faz uma translação de duas unidades na direção  $x$ .

**Tabela 1 – Valores constantes das transformações para obtenção da curva de Koch triangular**

i	$\theta_i$	$e_i$	$f_i$
1	0	0	0
2	$\pi/3$	1	0
3	$-\pi/3$	$3/2$	$\sqrt{3}/2$
4	0	2	0

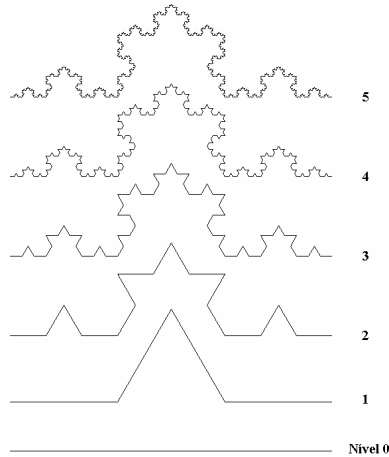


Figura 2. Etapas da geração da curva de Koch

### 3. ESTRUTURA DA ANTENA FRACTAL DE KOCH PROPOSTA

A curva de Koch tem sido aplicada à fabricação de diferentes tipos de antenas: monopolos, dipolos, *loop* e *patch* em microfita, Gianvittorio e Samii (2002). Uma antena *patch* de Koch 45% menor que a antena *patch* convencional funcionando em 1,55 GHz foi descrita por Kim et al. (2002), sem degradação do diagrama de irradiação. Borja e Romeu (2003) descreveram outro *patch* de Koch com um diagrama de irradiação perpendicular à antena e diretividade de 13 dB.

A antena proposta consiste de um elemento *patch* montado sobre uma camada dielétrica isotrópica sobre um plano terra. O substrato dielétrico usado (FR-4, fibra de vidro) tem uma espessura de 1,5 mm e uma permissividade elétrica relativa de 4,4. Um cabo coaxial conecta a linha de microfita via um conector SMA.

A estrutura da antena fractal de Koch proposta é obtida a partir da aplicação de contornos fractais de Koch aos quatro lados de uma antena *patch* retangular (ver Figura 3). A curva de Koch é caracterizada por dois fatores: o fator de iteração e o número de iterações. Quando o número de iterações vale zero, nenhuma iteração fractal foi efetuada, e nós temos a figura geradora, neste caso uma antena *patch* retangular, de comprimento  $L$  e largura  $W$ , que corresponde à antena fractal de Koch de nível 0 (KFP-0). Estes parâmetros geométricos estão indicados na Figura 3(a).

A Figura 3(b) mostra os fatores de iteração  $a$  e  $b$  usados para construir a antena fractal de Koch de nível 1 (KFP-1), a partir desta primeira iteração fractal. O mesmo processo de construção é realizado para gerar a antena fractal de Koch de nível 2 (KFP-2) (ver Figura 3(c)). Os fatores de iteração ( $a = 1/4$  e  $b = 1/3$ ) foram escolhidos dentre uma variedade de valores investigados para maximizar o efeito de miniaturização. Quando o número de iterações é aumentado até o infinito, a geometria a curva fractal de Koch ideal é obtida. Contudo, devido às limitações impostas pelo processo de fabricação, neste trabalho consideraram-se apenas duas iterações fractais.

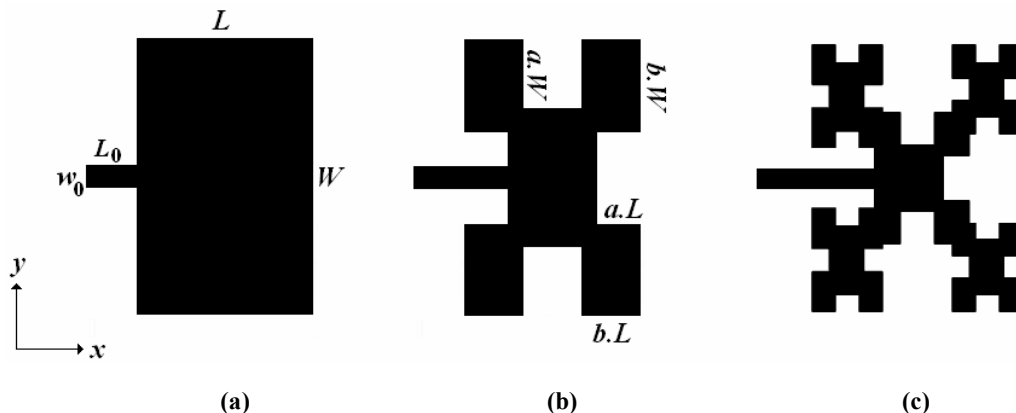


Figura 3. Estrutura das antenas fractais de Koch propostas: (a) KFP-0; (b) KFP-1; (c) KFP-2

A Figura 4 mostra dois protótipos construídos KFP-0 e KFP-2 para operação em 2,4 GHz. Neste caso, uma redução de área de 45,2% foi verificada para a antenna KFP-2 em relação à antenna KFP-0, SILVA NETO e SILVA (2007).

As antenas em microfitas foram projetadas com o auxílio do programa Ansoft Designer™ e SONNET Lite. O programa Matlab foi utilizado para a comparação dos resultados simulados e medidos. Por sua vez, o CorelDraw e o AutoCad serviram para elaboração precisa dos leiautes fractais das antenas projetadas. As medições foram realizadas com um analisador de rede vetorial modelo HP8757D.

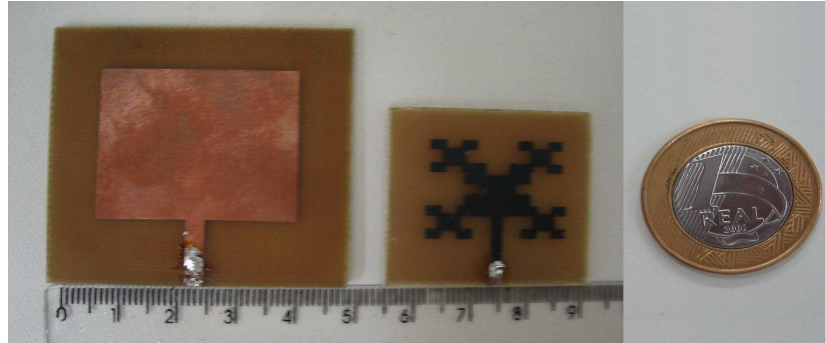


Figura 4 – Fotografia ilustrando a diferença de tamanho entre as antenas KFP-0 e KFP-2 para 2,4 GHz

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DAS ANTENAS PROPOSTAS

Aplicando diferentes fatores de iteração à antenna *patch* retangular, nós obtemos as antenas KFP de níveis 1 e 2. Para verificar a redução da área ocupada pelas antenas *patch*, nós começamos com um *patch* retangular 100% (em área) projetado para a frequência de operação de 2,4 GHz. Então nós reduzimos a área desta antenna com uma variação de 5% até atingir uma redução de 50%. A partir destas dez antenas KFP-0, e aplicando os fatores de iteração, as antenas KFP-1 e KFP-2 foram projetadas.

Os resultados de simulação destas antenas indicam o comportamento da frequência de ressonância em função do tamanho destas antenas. Quando a área ocupada pela antenna aumenta a frequência de ressonância diminui. Por outro lado, para uma mesma área ocupada, a frequência de ressonância diminui quando o nível do fractal aumenta. A Figura 5 mostra os resultados de simulação obtidos. Podemos verificar que os fatores de iteração ( $a = 1/4$  e  $b = 1/3$ ) resultaram na maior redução de área ocupada pelas antenas KFP-1 e KFP2.

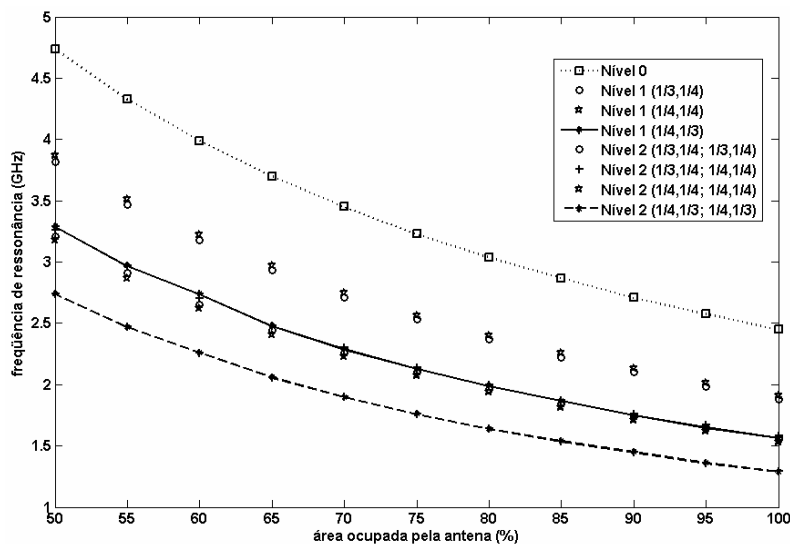
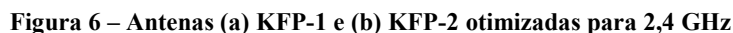


Figura 5 – Frequência de ressonância em função da área ocupada pela antenna, do número de iteração fractal e do fator de iteração.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As antenas fractais demonstraram ser a primeira ruptura fundamentalmente importante na tecnologia de antenas, desenvolvida nos últimos 20 anos, alterando radicalmente as relações entre largura de banda, ganho e tamanho – possibilitando antenas mais eficientes, versáteis e compactas. Neste trabalho, um tipo de antena fractal Koch foi projetado para se obter dimensões reduzidas e operação na faixa de frequência alta de RFID (2.4 GHz). Para esta faixa de frequência de interesse a antena obteve boas características. A perda de retorno na frequência de operação ficou abaixo dos – 15dB. As antenas KFP-1 e KFP-2 construídas apresentaram dimensões bastante reduzidas, esta última tornou possível uma redução de 45,2% em relação ao *patch* retangular original projetado para 2,4 GHz ocupando uma área de 35 x 35 mm. Essas dimensões reduzidas mostram que a antena fractal Koch pode ser também uma boa escolha para aplicações a dispositivos RFID portáteis. A utilização de elementos de sintonia permitiu controlar a frequência de ressonância das antenas propostas, resultando uma excelente concordância entre os resultados simulados e medidos. Por outro lado, verificou-se que a aplicação dos contornos fractais de Koch aumentam o comprimento elétrico das antenas KFP, modificando a distribuição de corrente, mas mantendo quase inalterado o diagrama de radiação.

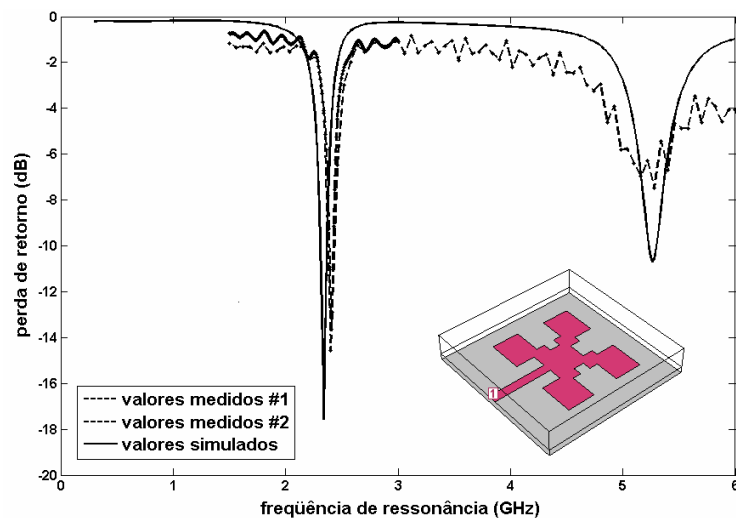


Figura 7 – Comparação entre os resultados medidos e simulados para a antena KFP-1

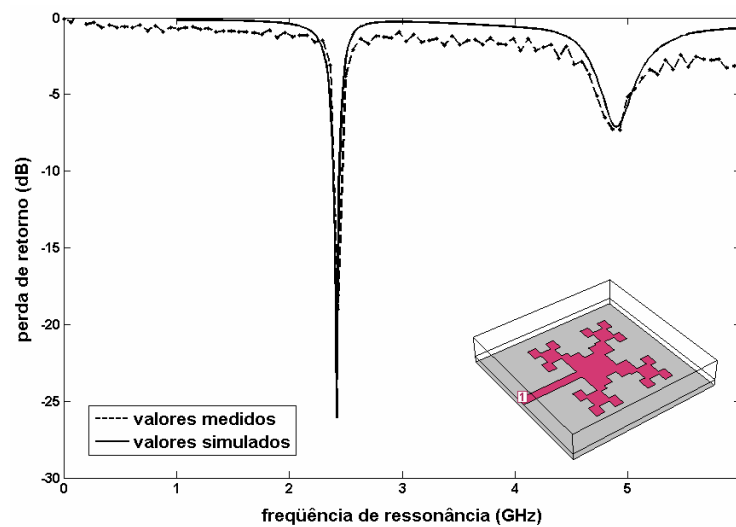


Figura 8 – Comparação entre os resultados medidos e simulados para a antena KFP-2

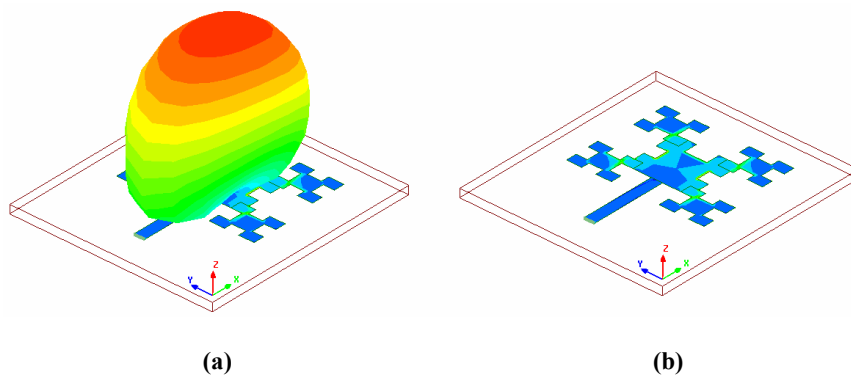


Figura 9 – Antena KFP-2 (a) Diagrama de irradiação 3D (b) distribuição de corrente

## REFERÊNCIAS

- COHEN, N. **Fractal Antenna Applications in Wireless Telecommunications**. Proceedings of Electronics Industries Forum of New England, p. 43-49, 1997.
- CUNHA, Rodrigo P. **Uso da tecnologia RFID no gerenciamento de uma cadeia de suprimentos**. Projeto de Graduação Engenharia da Computação. Faculdade de Engenharia de Sorocaba. Sorocaba. São Paulo. 2005.
- BATANETE, Ana; CASTRO, Andréa; LAGO, Hirllany. **Fractais: Natureza, Caos ou Ordem**. In: Fundamentos e Ensino de Álgebra. Univ. de Coimbra. Portugal. 2004.
- BORJA, C.; ROMEU, J. **On the behavior of Koch island fractal boundary microstrip patch antenna**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v. 51, n. 6, p. 1281-1291, jun. 2003.
- FALCONER, K., **Fractal Geometry - Mathematical Foundations and Applications**, John Wiley & Sons, New York, 1990.
- FINKENZELLER, Klaus. **RFID Handbook – Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification**. Inglaterra. 2. Ed. Wiley. 2003.
- GLOVER, Bill; BHATT, Himanshu. **Fundamentos de RFID**. Rio de Janeiro. Alta Books. p. 1 - 64. Rio de Janeiro 2007.
- KIM, I.; YOON, J.; PARK, H. **Fractal-shape small size microstrip patch antenna**. Microwave and Optical Technology Letters, v. 34, n. 1, p. 15-17, jul. 2002.
- LEE, J. Y., R. MITTRA, S. G., and TENBARGE, J. **Fractal and Multiband Communication Antennas**, IEEE TOPICAL CONFERENCE ON WIRELESS COMMUNICATION TECHNOLOGY, pp. 273 – 274, 2003.
- OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, M. F. **Estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência - RFID**. Projeto de Graduação Engenharia Elétrica. Faculdade de Tecnologia. Depto. de Engenharia Elétrica. Universidade de Brasília. Dezembro 2006.
- PUENTE, C. ROMEU, J. POUS, R. CARDAMA, A. **On the Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna**. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 46, No. 4, p. 517-524, 1998.
- TEIXEIRA, F. M. S. G.; PIÇARRA, S. M. M.; PALMA, T.; CAETANO, A. S. **Estado da arte em RFID**. Sybase. Califórnia. Estados Unidos. Outubro 2007, v.1.3. Disponível em < [www.portalrfid.net](http://www.portalrfid.net) > acessado em 15/03/08.
- THORNTON, F. et al. **RFID Security: Protect the Supply Chain**. EUA. Syngress. p. 3-51. Rockland. Massachusetts. EUA. 2006.
- SILVA, P. H. F. **Projetos em Microfita de Antenas Fractais Para a Banda ISM Utilizando Ferramentas de CAD e de Inteligência Computacional**. GTEMA – Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado. Centro Federal de Ensino Tecnológico da Paraíba. João Pessoa. Abril 2008.
- SILVA NETO, L. B.; SILVA, P. H. F. **Projeto, análise e medição de uma antena fractal com aplicação para leitores de RFID**. GTEMA – Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado. Centro Federal de Ensino Tecnológico da Paraíba. João Pessoa. Novembro 2007.
- GIANVITTORIO, J. P.; SAMII, Y. R. **Fractal antennas: A novel miniaturization technique and applications**. IEEE Antennas and Propagation Magazine, v. 44, n. 1, p. 20–36, fev. 2002.