



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VII – GOVERNADOR ANTÔNIO MARIZ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E SOCIAIS APLICADAS
CURSO DE LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO**

MACIEL ALVES DE OLIVEIRA

**ESTUDO PARAMÉTRICO DE UMA ANTENA PATCH EM MICROFITA COM
FENDAS DUPLAS PARALELAS**

**PATOS - PB
2014**

MACIEL ALVES DE OLIVEIRA

**ESTUDO PARAMÉTRICO DE UMA ANTENA PATCH EM MICROFITA COM
FENDAS DUPLAS PARALELAS**

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura Plena em Computação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de graduação em Licenciando em Computação.
Área de concentração: Licenciatura.

Orientador: Prof. Dr. Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira.

**PATOS - PB
2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano dissertação.

O48e Oliveira, Maciel Alves de
Estudo Paramétrico de uma Antena Patch em microfita com fendas duplas paralelas [manuscrito] : / Maciel Alves De Oliveira. -2014.
21p. : il. Color.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em COMPUTAÇÃO) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas, 2014.
“Orientador: Prof. Dr. Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira, CCEA”.

1. Antena de microfita. 2. Comunicações móveis. 3. Banda ISM. 4 Fendas em antenas. I. Título.

21.ed. CDD 004

MACIEL ALVES DE OIVEIRA

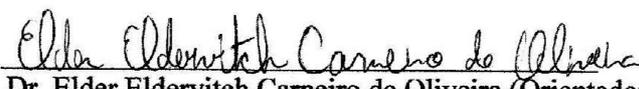
ESTUDO PARAMÉTRICO DE UMA ANTENA PATCH EM MICROFITA COM FENDAS
DUPLAS PARALELAS

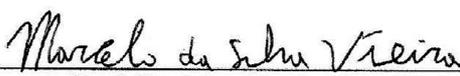
Trabalho de Conclusão de Curso em
Licenciatura Plena em Computação da
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
Licenciando em Computação.

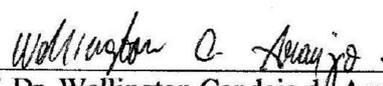
Área de concentração: Licenciatura.

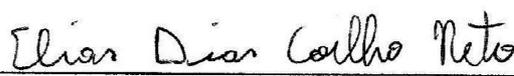
Aprovada em: 08/10/2014.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Marcelo da Silva Vieira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Wellington Candeia de Araújo
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Elias Dias Coelho Neto
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Aos meus pais Manoel Gomes de Oliveira e Maria do Socorro Alves de Oliveira onde, desde o dia que se uniram pelo voto matrimonial dedicam a suas vidas a formação de uma família estruturada materialmente e principalmente afetivamente, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

O Deus, sem a vontade do qual nada é possível. Por todas as oportunidades a mim dadas principalmente de evolução intelectual e moral.

A meu irmão (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio.

Ao meu professor orientador Elder Eldervitch, pela oportunidade dada e apoio para a realização desse trabalho.

Aos meus familiares que me encorajaram com incentivos e compreensão ou que de alguma forma contribuíram com esta realização.

Aos professores: colaboradores, supervisores e outros, por sua paciência e dedicação a minha vida acadêmica, me ajudando e orientado.

E também a todos os meus colegas por sempre ajudar e incentivar.

Enfim, sou grata a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização deste trabalho.

“Somente um principiante que não sabe nada sobre ciência diria que a ciência descarta a fé. Se você realmente estudar a ciência, ela certamente o levará para mais perto de Deus.”

James Clerk Maxwell

ESTUDO PARAMÉTRICO DE UMA ANTENA PATCH EM MICROFITA COM FENDAS DUPLAS PARALELAS

Maciel Alves de Oliveira*

Prof. Dr. Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira (Orientador)†

RESUMO

O estudo das antenas patch em microfita fez grande progresso nos últimos anos. A antena de microfita é comercialmente usada em muitas aplicações, tais como a transmissão direta em serviços de satélite, comunicações móveis, sistema de posicionamento global, o uso médico em hipertermia, etc. Quando comparado com antenas convencionais, antenas patch em microfita têm mais vantagens e melhores perspectivas. Neste trabalho é apresentada uma proposta de uma antena patch em microfita com fendas duplas paralelas, projetada para operar na frequência 2,4GHz que é a frequência padrão para Banda ISM, onde temos aplicações em IEEE 802.11. A análise inicial foi feita por simulações através do software Ansoft Designer™ que faz uso do método dos momentos (MoM). Um estudo paramétrico foi realizado com o intuito de investigar o comportamento quando da inserção de fendas no patch irradiante. A antena proposta foi excitada pela técnica de linha de microfita e posteriormente teve seus resultados simulados e validados através de medições em um analisador de rede vetorial. Os resultados demonstram que a antena com fendas obteve um melhor desempenho em comparação com a antena sem fendas em relação à perda de retorno e largura de banda.

Palavras-Chave: Antenas de microfita. Comunicações móveis. Banda ISM. Fendas.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores recursos naturais na comunicação entre os seres humanos é o espectro eletromagnético e a antena tem sido um dispositivo de fundamental importância para o aproveitamento deste recurso. Nos últimos anos, tem havido um rápido crescimento na comunicação wireless (comunicação sem fio) (MUTIARA *et al.*, 2011). Existe um grande tráfego de troca de informações usando *smartphones*, *paggers*, telefones, *laptops*, vários tipos de assistentes digitais pessoais e outros produtos de comunicação sem fio. Estes sistemas de troca de informações necessitam de dispositivos portáteis de baixo perfil e tem despertado

* Graduando do Curso de Licenciatura em Computação, na Universidade Estadual da Paraíba – UEPB – Campos VII. Email - maciellcorinthians@gmail.com

† Possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal da Paraíba (2004). Tem experiência na área de Física, com ênfase em Ensino de Física. Possui graduação em Sistemas de Telecomunicações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba - CEFET-PB (2006). Possui mestrado (2008) e doutorado (2011) em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Estadual da Paraíba UEPB – Campos VII e líder/coordenador do Grupo de Eletromagnetismo e Matemática Computacional Aplicada (GEMCA). Email - elder2@ymail.com e Currículo Lattes <http://lattes.cnpq.br/0830785546690504>

bastante interesse dos pesquisadores. Neste mercado competitivo, o surgimento de novas tecnologias sem fio resulta em demandas crescentes por antenas com baixo custo, compactas/multibanda, que permitam, por exemplo, a união de diferentes tecnologias sem fio em um único dispositivo portátil (OLIVEIRA *et al.*, 2009). Uma estrutura de antena utilizada para atender as características acima é as antenas planares em microfita.

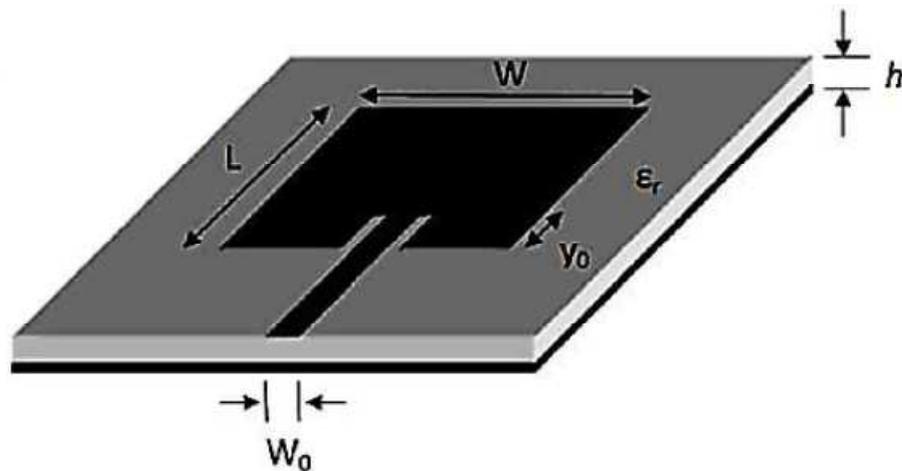
As antenas *patch* em microfita são associadas com várias vantagens de ser de baixo perfil, versátil, conformadas a superfícies onduladas e dispositivos de baixo custo (JAMES, 1989). Nesse sentido, nosso objetivo consiste em um estudo paramétrico de uma antena *patch* em microfita com fendas duplas paralelas, para operar na frequência 2,4GHz, através de simulações computacionais no software *Ansoft DesignerTM*. Um protótipo foi construído e medido em ensaios no laboratório de Telecomunicações da Universidade Federal do Rio Grande do Norte utilizando um analisador de rede vetorial modelo R&S ZVB14.

A seção 2 apresenta um estudo a respeito da antena *patch* retangular em microfita. A estrutura da antena analisada é descrita na seção 3. A seção 4 mostra os resultados experimentais e medidos da antena investigada. Por fim a seção 5 apresenta as conclusões finais desse trabalho.

2 ANTENA PATCH RETANGULAR EM MICROFITA

Antenas são estruturas metálicas projetadas para irradiar e receber energia eletromagnética (BALANIS, 1997). Na sua forma mais fundamental, uma antena *patch* em microfita consiste basicamente de duas placas metálicas condutoras, paralelas, ligadas a um substrato dielétrico isolador, tal como uma placa de circuito impresso, sendo uma das placas o elemento irradiador (*patch*) e a outra camada de metal ligado ao lado oposto do substrato formando um plano de terra (BALANIS, 1997), como demonstra a FIG. 1.

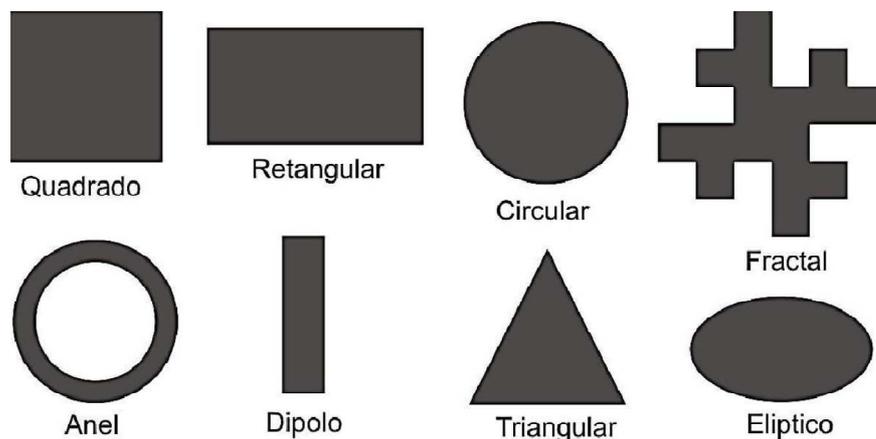
A ideia de antena de microfita foi proposta pela primeira vez por Deschamps et al. (1953), mas tornou-se popular, sendo utilizadas em diversas aplicações, na década de 1970, quando foi desenvolvido por pesquisadores como Robert E. Munson (MUNSON, 1974).

FIGURA 1 - Modelo de uma antena *patch* de microfita

Fonte: Próprio autor

Projetar um *patch* irradiante (comprimento, largura, tipo de alimentação, etc.) e característica do substrato dielétrico (constante dielétrica, a altura do substrato), esses parâmetros determinam o comportamento da antena. Um dos métodos de alimentação mais simples, de fácil construção e que apresenta resultado satisfatório é o modelo da linha de transmissão (TLM) conforme descrito em BALANIS et al. 1997.

O material e forma do *patch* irradiante são outros fatores que influenciam no resultado da antena, geralmente o *patch* é feito de materiais como cobre ou ouro e pode assumir qualquer forma possível (COHEN, 1997), conforme FIG. 2.

FIGURA 2 - Diferentes tipos de formas de *patch* irradiante

Fonte: Próprio autor

Antenas *patch* em microfita vêm provocando um imenso interesse em diversas áreas da telecomunicação, isso se deve as suas inúmeras vantagens sobre as antenas de micro-ondas convencionais (GARG *et al.*, 2001; BAHL & BHARTIA, 2001; AQUINO, 2008). Algumas das suas principais vantagens são listadas:

- Compatível com circuitos integrados;
- Peso leve, baixo volume e conformidade a vários tipos de estruturas;
- Prontamente passíveis de produção em massa;
- Antenas em microfita podem se ajustar a superfícies onduladas, o que torna possível aplicação em fuselagens de aviões e mísseis;
- Baixo custo de fabricação;
- Antenas de duplas ou triplas frequências;
- Suporta tanto, linear, bem como a polarização circular.

Contudo, as antenas em microfita também possuem algumas limitações, em comparação com as antenas convencionais (GARG *et al.*, 2001; BAHL & BHARTIA, 2001; AQUINO, 2008), tais como:

- Largura de banda estreita;
- Baixa eficiência e ganho;
- Excitação de ondas de superfície;
- Capacidade de processamento de potência é baixa;
- Irradiação externa nas linhas e junções.

3 ESTRUTURA DA ANTENA EM MICROFITTA COM FENDAS PROPOSTA

Inicialmente o projeto partiu de uma antena *patch* retangular (FIG. 1), tal antena foi projetada para ser aplicável na faixa de frequência central de operação de sistemas de comunicação sem fio (IEEE 802.11b/g), com frequência de ressonância (F_r) padronizada em 2,45 GHz. O substrato dielétrico usado foi o FR-4 (fibra de vidro) de espessura (h) igual a 1,5 mm e permissividade elétrica (ϵ_r) de 4,4. A linha de alimentação em microfita foi projetada para um sistema de 50 Ω .

As dimensões da antena patch (denominada de A0) foram calculadas com base na literatura (BALANIS, 1997; KUMAR, 2003), em que, foram obtidos os valores de $W = 37,2343$ mm (comprimento) e $L = 29,094$ mm (largura). Algumas das expressões analíticas de projeto são descritas segundo as Equações (1) – (4).

$$W = \frac{c}{2F_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{w}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0,258) \left(\frac{w}{h} + 0,8 \right)} \quad (2)$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (3)$$

$$L = \frac{c}{2F_r \sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (4)$$

Em que, c é a velocidade da luz, ϵ_{reff} é a permissividade elétrica efetiva e ΔL é o comprimento *fringe*, devido aos campos eletromagnéticos ultrapassarem os limites físicos do *patch* formando campos de franja nas bordas do *patch*, isso ocorre quando os campos eletromagnéticos se propagarem através do *patch* e depara-se com uma descontinuidade nas dimensões finitas do *patch* (AQUINO, 2008).

Para um melhor casamento de impedância entre o *patch* irradiante e a linha de alimentação são inseridos *inset-fed* (reentrâncias, y_0) (RAMESH, 2003). A largura da reentrância (x_0) foi considerada à largura da linha de microfita (w_0), enquanto o valor de seu comprimento (y_0) foi calculado através de fórmulas aproximadas (BALANIS, 1997), segundo as equações (5) e (6):

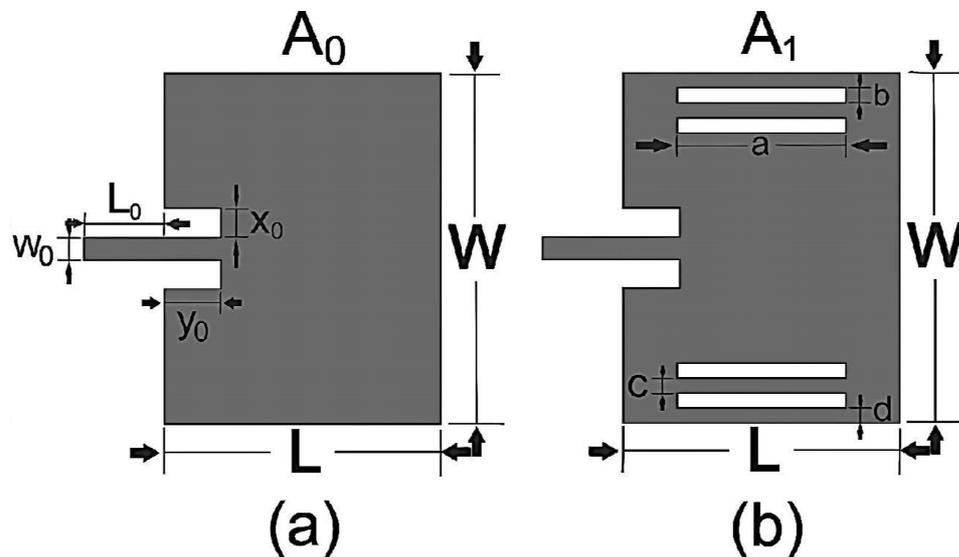
$$y_0(0) = \frac{L}{\pi} a \cos \left(\sqrt{\frac{50}{R_{\text{in}}(0)}} \right) \quad (5)$$

$$R_{\text{in}}(0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (6)$$

Em que, $R_{in}(0)$ é a resistência de Entrada na Frequência de Ressonância, G_1 é a condutância na abertura radiante, G_{12} é a condutância entre os *slots* de radiação.

A FIG. 3(b) ilustra o protótipo da antena com fendas proposta neste trabalho. O *patch* A0 (FIG. 3(a)) e as demais antenas foram simulados com o auxílio do *software Ansoft DesignerTM*, que implementa o método dos momentos (MoM), para a análise do comportamento eletromagnético dessas estruturas. Com base na antena inicial (A0) foram inseridas fendas duplas paralelas ao elemento de *patch* condutor. Em que, as dimensões das fendas foram calculadas em relação aos parâmetros L e W.

FIGURA 3 - Estruturas das antenas *patch* propostas: (a) antena *patch* retangular e (b) antena *patch* com fendas duplas paralelas



Fonte: Próprio autor

A princípio nomeou-se o comprimento e a largura das fendas de variáveis **a** e **b**, respectivamente, as dimensões dessas variáveis foram variando em forma de porcentagem em relação a L e W. Por exemplo, a antena com as fendas, denominada A1 (FIG. 3b), o parâmetro, **a**, é igual a 0,60L, ou seja, 60 % do tamanho de L o parâmetro, **b**, é fixo e igual a 0,04W. Outra dimensão considerada foi o espaçamento entre as fendas, dimensão essa chamada de **c**, assim, como **b** ela teve seu valor fixado em relação a W. Por fim o parâmetro **d** que é a distância entre a fenda e a margem da antena.

Para chegar à estrutura modelada da antena A1 foram feitas inúmeras simulações, variando os parâmetros **a**, **b**, **c** e **d**, onde neste trabalho foi levado em conta apenas variações

no parâmetro **a**, fixando os demais parâmetros. As dimensões da antena e das fendas são mostradas na TAB. 1.

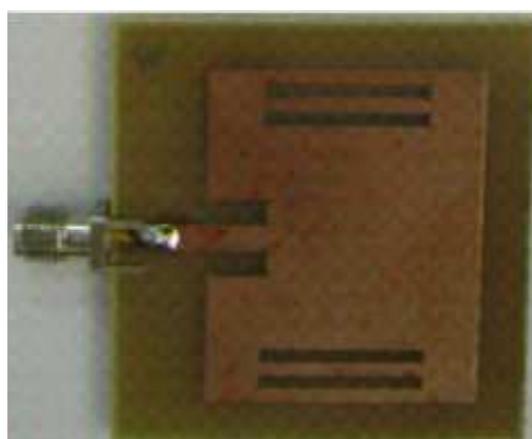
TABELA 1 - Dimensões das antenas em milímetros (mm)

ANTENAS	L	W	L ₀	W ₀	y ₀	a	b	c	d
A0	29,094	37,2343	8.3803	2,87	6,19	-	-	-	-
A1	29,094	37,2343	8.3803	2,87	6,19	17,4574	1,4893	1,4893	1,4893

4 RESULTADOS SIMULADOS E MEDIDOS

A FIG. 4 ilustra um protótipo construído da antena com fendas a qual foi projetado para a frequência de 2,45 GHz. Os primeiros resultados numéricos foram obtidos através do software comercial *Ansoft DesignerTM*, onde variou-se o comprimento da fenda (parâmetro **a**), fixando a largura das fendas, o espaçamento entre as fendas e a distância entre a fenda e a margem da antena, parâmetros **b**, **c** e **d**, respectivamente. O comportamento em frequência dessa antena foi analisado, em que foi possível investigar a influência da inserção de fendas duplas paralelas no patch irradiante sobre a frequência de ressonância (F_r), perdas de retorno (RL) e largura de banda (BW).

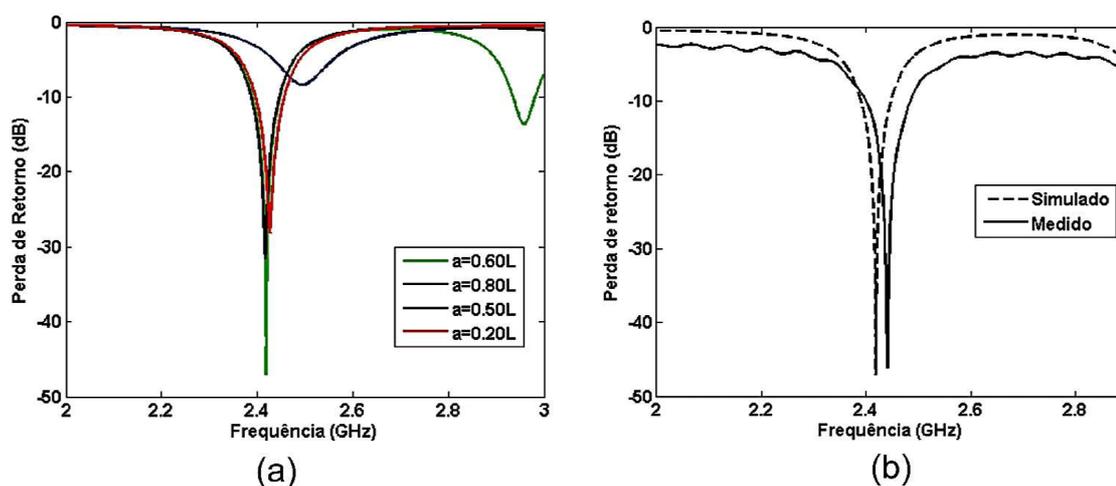
FIGURA 4 – Protótipo da antena com fendas construída



Fonte: Próprio autor

A FIG. 5(a) mostra o resultado de perda de retorno em função da frequência para a antena com quatro diferentes comprimentos da fenda (variação do parâmetro **a**), fixando os demais parâmetros (**b**, **c** e **d**). Com base nos resultados simulados observa-se que quando alteramos o parâmetro **a**, houve uma influência direta no resultado da perda de retorno (RL). Pode-se observar que o resultado simulado para a antena com o parâmetro **a** igual a $0,60L$ obteve a melhor perda de retorno para a frequência de projeto, os outros resultados com o parâmetro **a** menor ou maior a 60% de L obtiveram resultados inferiores em relação à perda de retorno.

FIGURA 5 – Resultados de perda de retorno: (a) simulação variando o parâmetro **a** e (b) comparação entre simulação e medição para a antena construída com o valor de **a** igual a $0,60L$



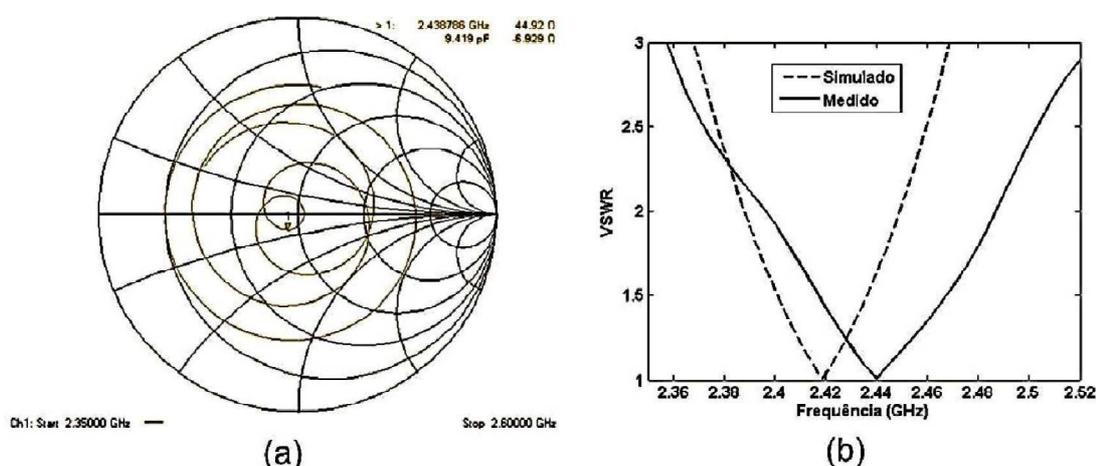
Fonte: Dados da pesquisa

É possível observar ainda que para um valor de **a** igual 80% do comprimento L , houve um deslocamento na frequência de ressonância para um valor superior a frequência de projeto que foi de 2,45 GHz, apresentando uma baixa perda de retorno (< -10 dB), mostrando-se dessa forma, não propicia a funcionamento e posterior aplicação.

O resultado da FIG. 5(b) mostra uma comparação entre simulação e medição para o protótipo de antena construído ($a = 0,60L$), em que é possível observar uma boa concordância entre os resultados numérico e experimental, com baixa perda de retorno. Essa antena apresentou um resultado experimental de largura de banda de 85,0 MHz, superior a condição limite para aplicações em sistemas de comunicação sem fio que é de 83,5 MHz (ANATEL, 2005), sendo dessa forma propicia a aplicações nessa faixa.

A baixa perda de retorno obtida ($RL = -46,94$ dB) para a antenna construída com um valor de a igual 60% de L caracteriza um ótimo casamento de impedância para essa estrutura, conforme mostrado em medição realizada na carta de Smith (ver FIG. 6a). O resultado do coeficiente de onda estacionária (VSWR) medido e simulado para a antenna com fendas propostas é mostrado na FIG. 6(b), em que o resultado medido aponta para um valor de VSWR igual 1,02 bem abaixo da condição limite para um bom funcionamento da antenna que é de $VSWR = 2$, o que corresponde a uma perda de retorno de -10 dB.

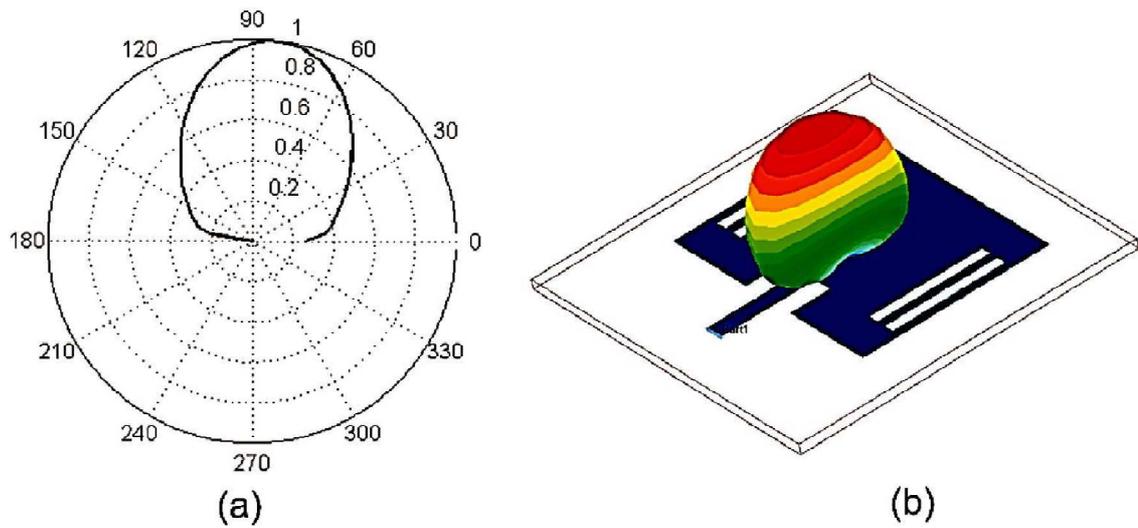
FIGURA 6 – (a) Impedância de entrada medida na carta de Smith e (b) Resultado medido de VSWR



Fonte: Dados da pesquisa

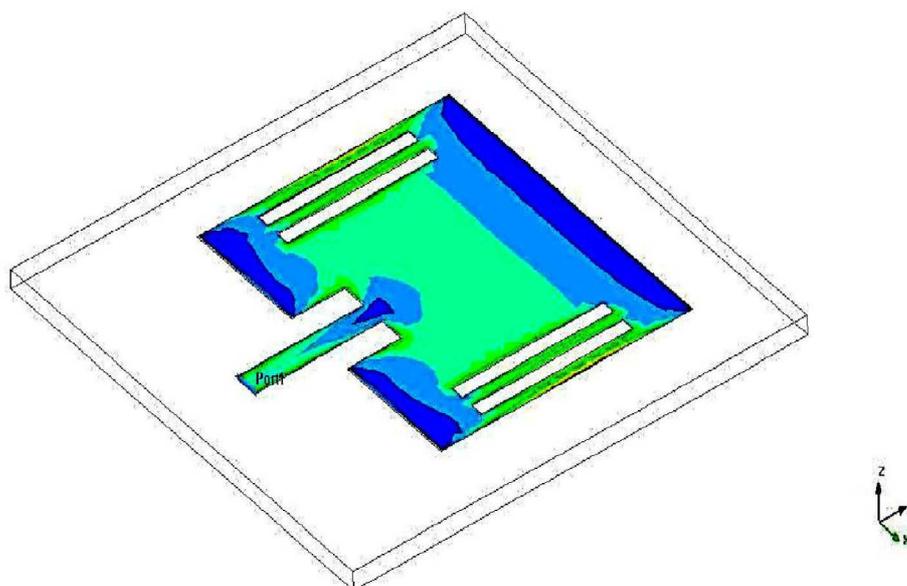
A FIG. 7 ilustra os resultados simulados do diagrama de radiação 2D (plano H) e 3D para a antenna proposta. Observa-se um diagrama de radiação semelhante ao de uma antenna patch retangular convencional (OLIVEIRA, 2008), a principio sem perdas e/ou deformação em seu formato, em que o máximo da radiação no campo distante ocorre na direção perpendicular ao elemento radiante (direção broadside).

FIGURA 7 - Diagrama de radiação: (a) 2D – Plano H e (b) 3D



Fonte: Dados da pesquisa

A distribuição de corrente no patch irradiante para a antena com fendas analisada é mostrado na FIG. 8, onde podemos observar uma distribuição simétrica da energia no patch irradiante, com alguma concentração de energia nas fendas de ambos os lados, dessa forma constatamos que há alguma influência nas características de radiação da antena devido à presença das fendas, porém sem grandes modificações no formato de seu diagrama de radiação, tendendo a um feixe direcional. A TAB. 2 resume os resultados simulados e medidos para a antena proposta.

Figura 8 – Distribuição de corrente no *patch* irradiante

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 2 - Resultados simulados e medidos

RESULTADOS	ANTENA A1	
	Simulado	Medido
Frequência de ressonância (F_r)	2.42 GHz	2.43 GHz
Perda de retorno (RL)	-46.94 dB	-41.56 dB
VSWR	1,01	1,02
Largura de banda (BW)	60 MHz	85 MHz
Largura de banda percentual (BW%)	2,47%	3,49%
Impedância de Entrada	–	44,92 Ω

Fonte: Dados da pesquisa

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta uma antena patch retangular com fendas dupla paralela projetada para a frequência de 2,45 GHz com aplicação na banda ISM (IEEE 802.11 b/g). O projeto consistiu ainda de um estudo paramétrico realizado sobre a variação do comprimento da fenda (parâmetro a), com o intuito de investigar a influência dessa variação nas características de radiação da antena, quando comparado a uma antena patch retangular

convencional. O parâmetro variado na fenda foi o parâmetro a , fixando a largura das fendas, o espaçamento entre as fendas e a distância entre a fenda e a margem da antena, parâmetros b , c e d , respectivamente.

A antena projetada com fendas apresentou um bom funcionamento, com uma boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais (com erro estimado em 0,5%), apresentando baixas perdas de retorno e boas características de radiação, conforme observado pelo comportamento do diagrama de radiação. A antena proposta apresentou uma largura de banda de 85 MHz, superior aos 83,5 MHz exigidos para aplicações em sistemas de comunicação sem fio, apresentando-se dessa forma propícia a possíveis aplicações nessa faixa de frequência.

Foi observado ainda que as fendas influenciam na irradiação da antena, conforme observado pela distribuição de corrente no patch irradiante (ver Fig. 8), porém sem grandes mudanças na sua forma de irradiar. Para trabalhos futuros, pretende-se investigar a influência da variação dos demais parâmetros (b , c e d) nas características de radiação da antena com fendas.

PARAMETRIC STUDY OF A MICROSTRIP PATCH ANTENNA WITH DOUBLE SLOTS IN PARALLEL

ABSTRACT

The study of microstrip patch antennas has made great progress in recent years. The microstrip antenna is used commercially in many applications, such as direct broadcast satellite services, mobile communications, global positioning system, medical use in hyperthermia, etc. When compared to conventional antennas, microstrip patch antennas on has more advantages and better prospects. This work presents a proposal of a microstrip patch antenna with double slots in parallel, designed to operate in the frequency of operation of WiFi systems (ISM Band - 2.45 GHz). The initial analysis was performed simulations using the Ansoft Designer software that makes use of the method of moments (MoM). A parametric study was performed in order to investigate the behavior of double slots in the radiating patch. The proposed antenna was excited by the technique of microstrip line and subsequently had his numerical results validated by measurements on a vector network analyzer. The results show that the slotted antenna obtained a better performance compared to the antenna without cracks in relation to the return loss and bandwidth.

Keywords: Microstrip antenna. Mobile communication. ISM band. Slots.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, M. B. L. **Antenas de microfita com substrato Metamaterial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- ANATEL. Anexo à resolução N0 397, de 6 de abril de 2005 - **Regulamento sobre condições de uso de radiofrequências da faixa de 2.400MHz a 2.483,5MHz por equipamentos utilizando tecnologia de espalhamento espectral ou tecnologia de multiplexação ortogonal por divisão de frequência**. Brasil: Anatel, 2005.
- Ansoft Designer (part of ANSYS Inc.) {Online}. Available: www.ansoft.com.
- BAHL, I. J.; BHARTIA, P. **Microstrip Antennas**. Dedham MA: Artech House, 2001.
- BALANIS, C. A. **Antenna Theory-Analysis and Design**. 2 ed. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1997.
- COHEN, N. Fractal Antenna Applications in Wireless Telecommunications. **Proceedings of Electronics Industries Forum of New England**, p. 43-49, 1997.
- DESCHAMP, G. A. Microfita Microwave Antenas. In: **III USAF Symposium on Antennas**, 1953.
- GARG, R. *et al.* **Microstrip Antenna Design Handbook**. London: Artech House, 2001.
- JAMES, J. R.; HALL, P. S. **Handbook of Microstrip Antennas**. London: Peter Peregrinus Ltd., 1989.
- KUMAR, G.; RAY, K. P. **Broadband Microstrip Antennas**. USA: Artech House, 2003.
- MUNSON, R. E. Conformal Microstrip Antena and Micostrip Phased Arrays. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. v. AP-22, n. 1, p. 74-78, jan. 1974.
- MUTIARA, A. B.; REFLANTI, R.; RACHMANSYAH. Design of Microstrip Antenna For Wireless Communication at 2.4GHz. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**. v. 33, p. 184-192, nov. 2011.

OLIVEIRA, E. E. C.; SILVA, P. H. F.; CAMPOS, A. L. P.S. Overall Size Antenna Reduction Using Fractal Elements. **Microwave and Optical Technology Letters**. v. 51, p. 671-675, 2009.

OLIVEIRA, E. E. C. **Antenas de Microfita com Patch Quase-fractal para Aplicações em redes WPAN/WLAN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

RAMESH, M. KB, Y., Design Formula for Inset Fed Microstrip Patch Antenna. **Journal of Microwaves and Optoelectronics**. v. 3, p. 5-10, 2003.