

ANÁLISE PARAMÉTRICA EM UMA ANTENA PATCH RETANGULAR DE MICROFITA COM FENDAS

MACIEL A. OLIVEIRA¹, ELDER E. C. OLIVEIRA¹, ALFREDO G. NETO², MARCELO SILVA¹, JOSÉ J. P. GONÇALVES¹, JOSIEL N. CRUZ²

¹Universidade Estadual da Paraíba, UEPB
Rua Alfredo Lustosa Cabral, SN, Salgadinho, Patos-PB, CEP: 58706-560
maciellcorinthians@gmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, IFPB
Av. 1º de Maio, 720, Jaguaribe, João Pessoa – PB, CEP: 58015-430
alfredogomes@ieee.org

RESUMO. A área de comunicação sem fio teve expressivo crescimento nas últimas décadas e atualmente tem uma importância significativa no setor das telecomunicações. 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, etc. Quando comparado com antenas convencionais, antenas patch em microfita têm mais vantagens e melhores perspectivas. Neste trabalho é apresentada uma proposta de antena *patch* de microfita com fendas, projetada para operar na frequência 2,45 GHz que é a frequência padrão para Banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), no qual há aplicações em WLAN (*wireless LAN*). A análise inicial foi feita por simulações através do *software* Ansoft DesignerTM que implementa o método dos momentos (MoM) na análise precisa do comportamento eletromagnético da antena proposta. Tal análise foi realizada com o intuito de investigar o comportamento quanto à inserção de fendas no *patch* irradiante. Os protótipos das antenas foram excitados pela técnica de linha de microfita e posteriormente foram feitas medições em um analisador de rede vetorial. Os resultados demonstram que as antenas com fendas obtiveram melhores resultados em comparação com as antenas sem fendas em relação à perda de retorno e largura de banda.

PALAVRAS-CHAVE: Antenas de Microfita; Comunicações Móveis; Banda ISM; Fendas

ABSTRACT. The wireless communication area grew expressively in recent decades and currently it has significant importance in the telecommunications sector. The microstrip antenna is used commercially in many applications, such as direct broadcast satellite services, mobile communications, global positioning system, etc. When compared to conventional antennas, microstrip patch antennas have more advantages and better prospects. This paper presents a proposal for a microstrip patch antenna with slots, designed to operate in the frequency 2.45 GHz which is the standard for ISM frequency band (*Industrial, Scientific and Medical*), in which there are applications in WLAN (*wireless LAN*). The initial analysis was performed through simulations using the Ansoft DesignerTM software that implements the method of moments (MoM) in precise analysis of the electromagnetic behavior of the proposed antenna. This analysis was performed in order to investigate the behavior of the insertion of slots in the radiating patch. The antennas prototype were excited by microstrip line technique and then measurements were made using a vector network analyzer. The results show that the antennas with slots obtained better results in comparison to antennas without gaps regarding to the return loss and bandwidth.

KEYWORDS: Microstrip Antenna; Mobile Communications; ISM band; Slots

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização a comunicação

entre os seres humanos tem sido de fundamental importância na troca de informações. Um dos maiores recursos naturais na comunicação entre os seres humanos é o espectro eletromagnético, desse modo, a antena tem sido um dispositivo de

Submetido em 11/11/2014; revisado em 03/12/2014.
Artigo aceito sob recomendação do Editor-Chefe Prof. Dr.
Ginalber L. O. Serra.

fundamental importância para o aproveitamento desse 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. Esses sistemas de troca de informações sem fio necessitam de dispositivos portáteis e de baixo perfil, e isso, tem despertado bastante interesse dos pesquisadores da área de telecomunicação. 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.

Uma das desvantagens da antena *patch* de microfita é a sua largura de banda estreita, determinada pelas dimensões do *patch* metálico e pela constante dielétrica (ϵ_r) e altura do substrato (SILVA, 2005). Neste sentido, para melhorar a largura de banda (BW) é usada uma técnica para alargamento de banda que é a inserção de fendas como elemento parasita (SILVA, R. A. O. *et al.*, 2014).

As antenas *patch* em microfita são associadas com várias vantagens, dentre as quais se destacam: o baixo perfil, versatilidade, conformadas a superfícies onduladas e dispositivos de baixo custo (JAMES, 1989). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é uma análise paramétrica de uma antena *patch* em microfita com fendas, para operar na frequência 2,45 GHz, utilizando o *software Ansoft Designer™* para realizar simulações computacionais. Dois protótipos das antenas com fendas foram construídos e medidos 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 simulados e medidos das antenas

investigadas. 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).

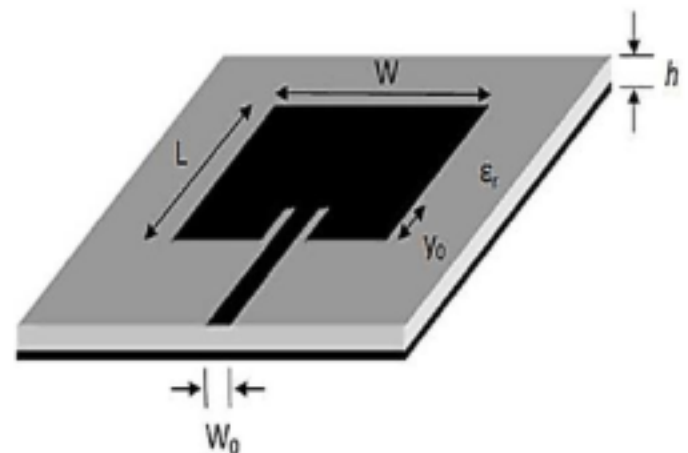


Figura 1: Modelo de uma antena *patch* de microfita

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 elemento *patch* irradiante da antena de microfita consiste de uma placa metálica de espessura t ($t \ll \lambda$) onde, λ é o comprimento de onda guiado pela estrutura de microfita, que é expresso pela equação (1):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

Em que, c é a velocidade da luz (m/s) e f é a frequência (Hz). 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 mostrado na Fig. 2.

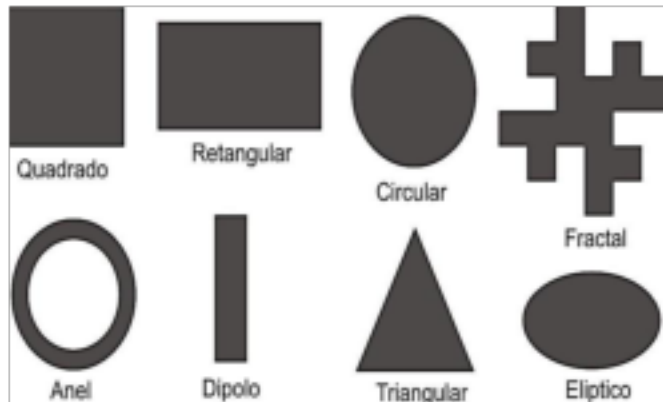


Figura 2: Diferentes tipos de formas de *patch* irradiante

Antenas *patch* em microfita vêm provocando um imenso interesse em diversas áreas das telecomunicações, 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;
- A capacidade de processamento de potência é baixa;
- Irradiação externa nas linhas e junções.

3 ESTRUTURA DA ANTENA EM MICROFITA COM FENDAS PROPOSTA

Inicialmente o projeto partiu de uma antena *patch* retangular (ver Fig. 1), 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 (2) – (5).

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

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

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-1/2} \quad (4)$$

$$L = \frac{c}{2 F_r \sqrt{\epsilon_r}} - 2 \Delta L \quad (5)$$

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 propagam através do *patch* e deparam-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 a 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 (6) e (7):

$$y_0(0) = \frac{L}{\pi} a \cos \left(\sqrt{\frac{50}{R_{in}(0)}} \right) \quad (6)$$

$$R_{in}(0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (7)$$

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 Designer™*, 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 .

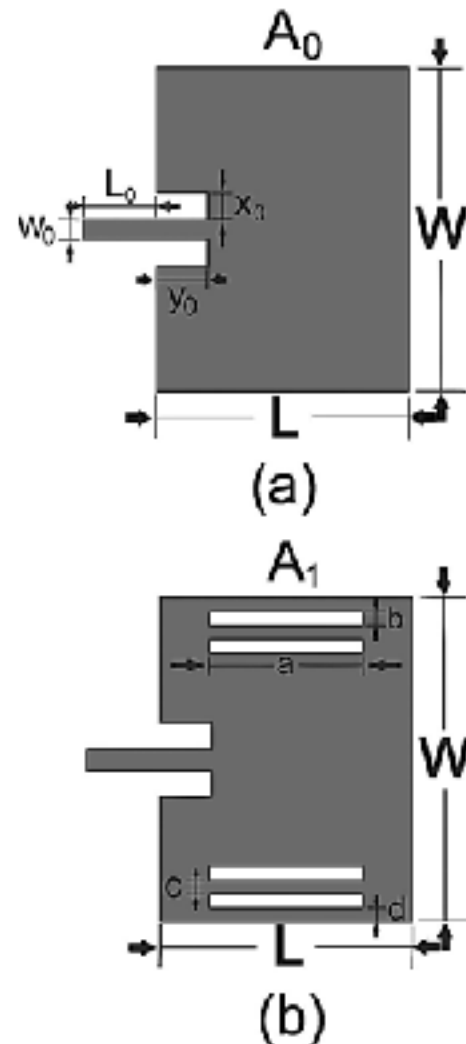


Figura 3: Estruturas das antenas *patch* propostas: (a) antena *patch* retangular e (b) antena *patch* com fendas duplas paralelas

A princípio nomeou-se o comprimento e a largura das fendas de variáveis a e b , respectivamente. As dimensões dessas variáveis foram variando em termos 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**, em que, 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 Tabela 1.

Tabela 1: Dimensões das antenas em milímetros (mm)

ANTENAS	A0	A1	A2
L	29,094	29,094	29,094
W	37,2343	37,2343	37,2343
L_0	8.3803	8.3803	8.3803
W_0	2,8707	2,8707	2,8707
y_0	6,19	6,19	6,19
a	-	17,4574	17,4574
b	-	1,4893	1,117
c	-	1,4893	1,117
d	-	1,4893	1,117

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. Nesse primeiro momento, os primeiros resultados numéricos foram obtidos através de simulações, no qual variou-se o comprimento da fenda (parâmetro **a**), fixando a largura das fendas (**b**), o espaçamento entre elas (**c**) e a distância entre elas e a margem da antena (**d**).

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). A Fig. 5 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**).



Figura 4: Protótipo da antena com fendas construídas, denominada de antena A1

Com base nos resultados simulados observa-se que quando o parâmetro **a** é alterado há 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 e foi a única que se mostrou multibanda para a faixa de frequência compreendida entre 2,0 GHz e 3,0 GHz.

Os demais resultados com o parâmetro **a** menor ou maior a 60% de **L** obtiveram resultados inferiores em relação à perda de retorno.

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 propícia a funcionamento e posterior aplicação na faixa de frequência analisada.

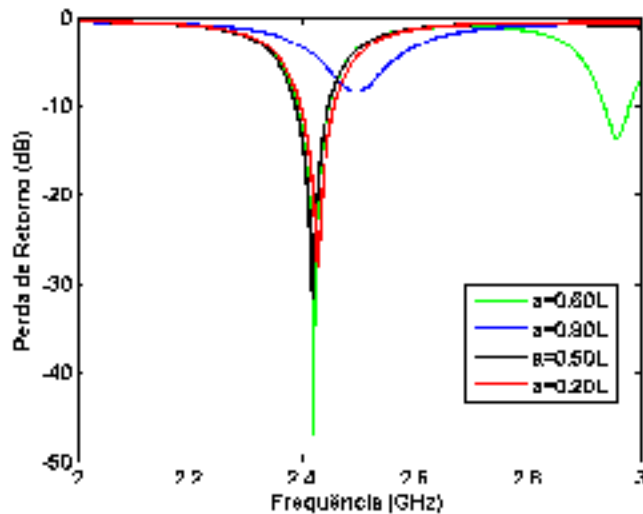


Figura 5: Resultados de perda de retorno obtidos por simulação variando o parâmetro a .

O resultado da Fig. 6 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 simulado e experimental, com baixa perda de retorno.

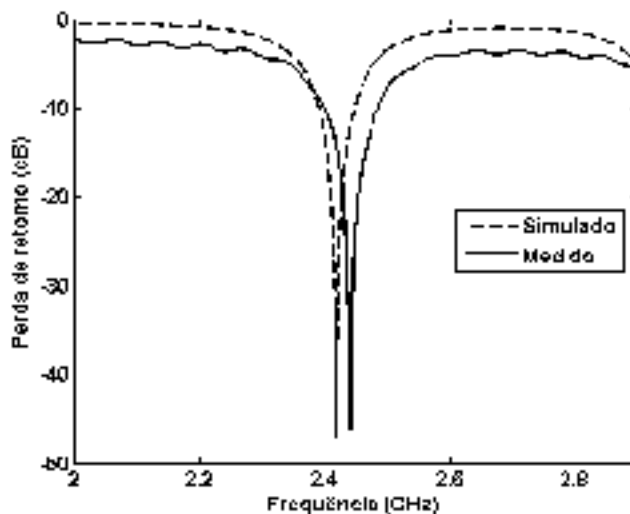


Figura 6: Resultado comparativo de medição e simulação para a antena com fendas construída com o valor de a igual a $0,60L$.

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) e melhor até que o resultado da antena patch retangular apresenta em OLIVEIRA *et al.*, (2009), onde a

largura de banda obtida foi de 60 MHz, sendo dessa forma propícia a aplicações na faixa investigada de frequência analisada. A baixa perda de retorno obtida ($RL = -46,94$ dB) para a antena 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. 7), onde se obteve o valor de impedância de $44,92 \Omega$.

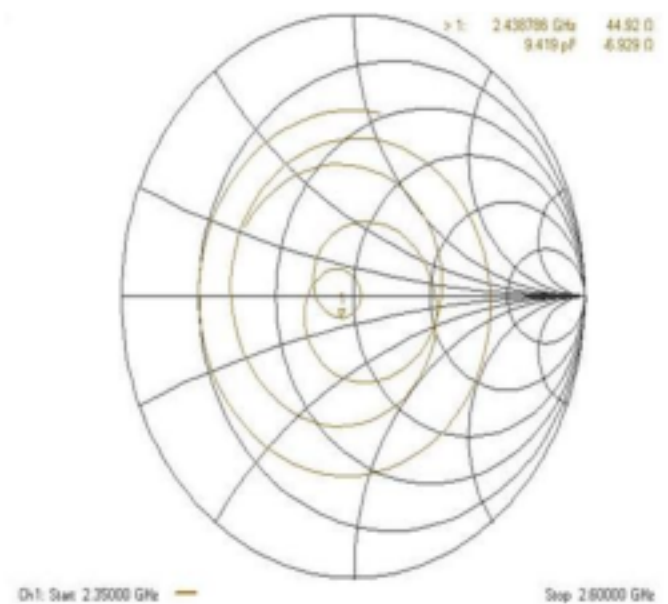


Figura 7: Impedância de entrada medida na carta de Smith para a antena A1

O resultado do coeficiente de onda estacionária (VSWR) medido e simulado para a antena com fendas propostas é mostrado na Fig. 8, em que o resultado medido aponta para um valor de VSWR igual 1,02 bem abaixo da condição limite para um bom funcionamento da antena que é de um VSWR igual a 2, o que corresponde a uma perda de retorno de -10 dB.

A Fig. 9 ilustra os resultados simulados dos diagramas de radiação 2D (plano H) normalizado e 3D para a antena proposta. Observa-se um diagrama de radiação semelhante ao de uma antena patch retangular convencional (OLIVEIRA, 2008), a princípio sem perdas e/ou deformação em seu formato, em que o máximo da radiação na direção de campo distante ocorre na direção perpendicular ao elemento radiante (direção *broadside*).

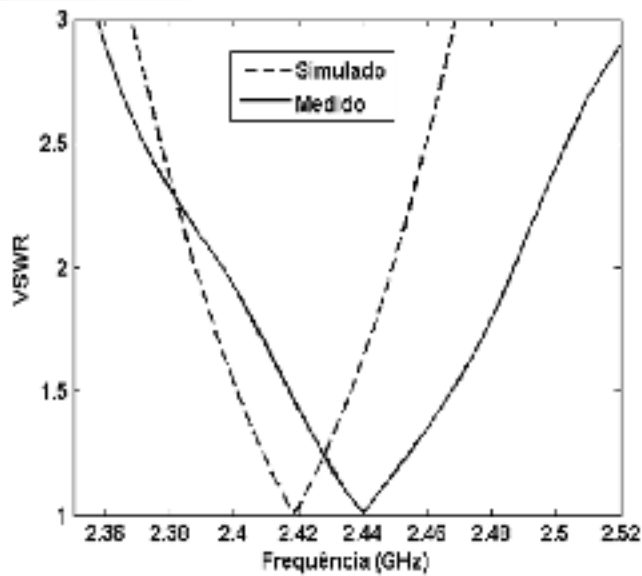


Figura 8: Resultado medido de VSWR para a antena A1

A distribuição de corrente no patch irradiante para a antena com fendas analisada é mostrado na Fig. 10, onde podemos observar uma distribuição simétrica da energia no patch irradiante, com alguma concentração de energia nas fendas em 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.

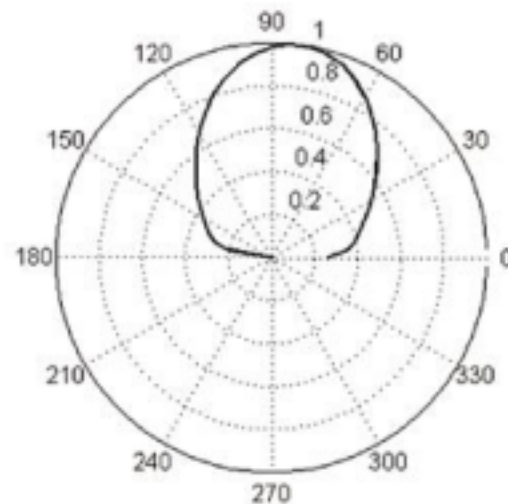
A Tabela 2 resume os resultados simulados e medidos para a antena proposta **A1**.

4.1 Resultados da Antena A2

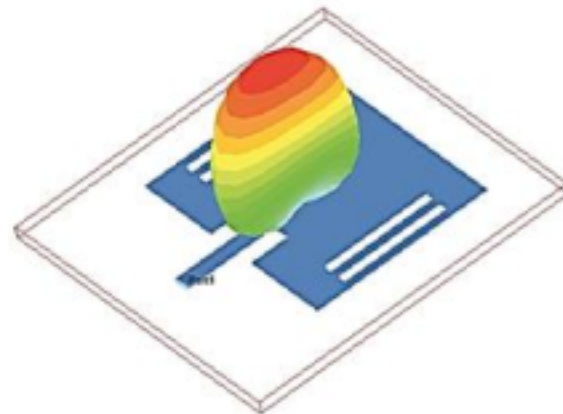
A Fig. 11 ilustra um protótipo construído da antena **A2** com fendas.

Nessa antena o comprimento da fenda (parâmetro **a**) tem o mesmo valor da antena **A1** com **a** igual 60% de **L**, fixando **b**, **c** e **d** em 0,03% de **W**, lembrando que a largura das fendas, o espaçamento entre elas e a distância entre a elas e a margem da antena são os parâmetros **b**, **c** e **d**, respectivamente.

Nessa segunda situação, os parâmetros variados foram a espessura da fenda, o espaçamento entre elas, a distância entre as fendas e a margem da antena, conforme mostrado na Fig. 11.



(a)



(b)

Figura 9: Diagrama de radiação para a antena A1: (a) diagrama 2D normalizado (Plano H) e (b) diagrama 3D

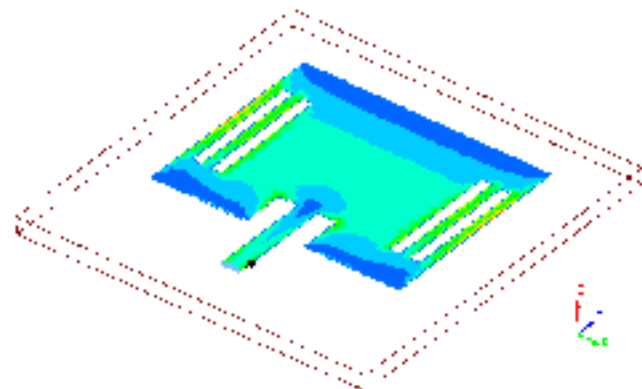
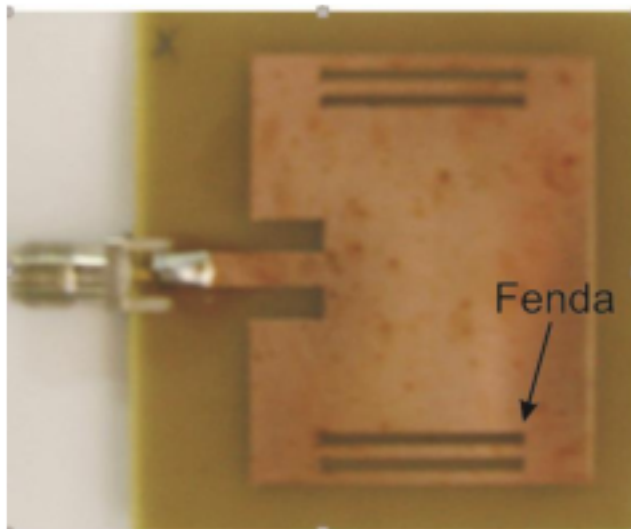


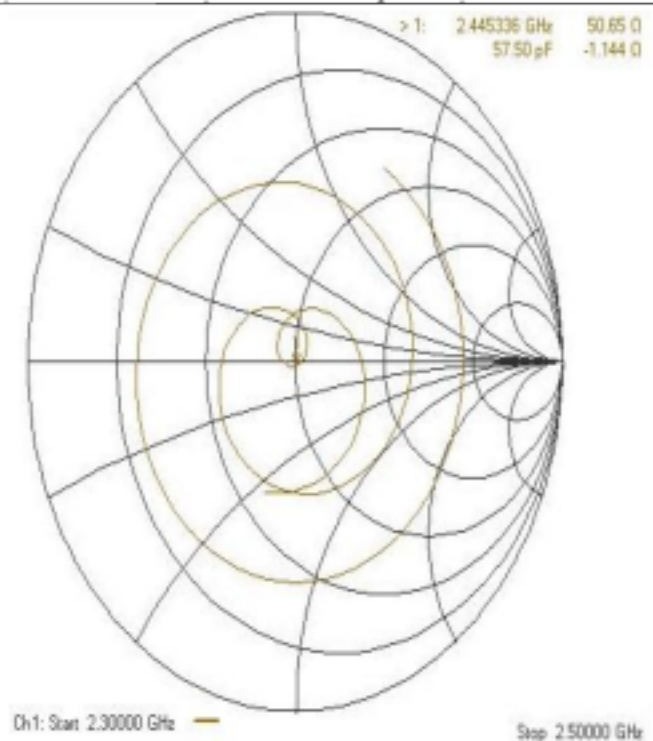
Figura 10: Distribuição de corrente no patch irradiante para a antena A1

Tabela 2: Resultados simulados e medidos para a antena A1

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	44,98 Ω	44,92 Ω

**Figura 11:** Protótipo da antena com fendas construídas (A2)

Pela medição realizada na carta de Smith (Fig. 12) pode-se perceber que a antena está casada em impedância de entrada, com a curva se aproximando do numerador um, no centro do diagrama, indicando um bom casamento de impedância para a estrutura proposta, muito próxima ao caso ótimo que é de 50 Ω .

**Figura 12:** Impedância de entrada medida na carta de Smith para a antena A2

A Fig. 13 mostra uma comparação entre perda de retorno (parâmetro S11) em função da frequência de operação, simulado e medido para a antena A2, observando-se uma boa concordância entre os resultados simulado e experimental.

Essa antena apresentou um resultado experimental de largura de banda de 80,0 MHz, pouco abaixo do mínimo necessário que é de 83,5 MHz para aplicações em sistemas de comunicação sem fio. Tanto na simulação quanto na caracterização experimental foi considerado uma perda de retorno de -10 dB como limite para determinação da largura de faixa.

Observa-se que as frequências ficaram abaixo de -30 dB, dessa forma, os resultados do parâmetro S11 tanto para o caso simulado quanto o medido apresentam valores satisfatórios, abaixo do critério -10 dB adotado como limite de funcionamento da antena.

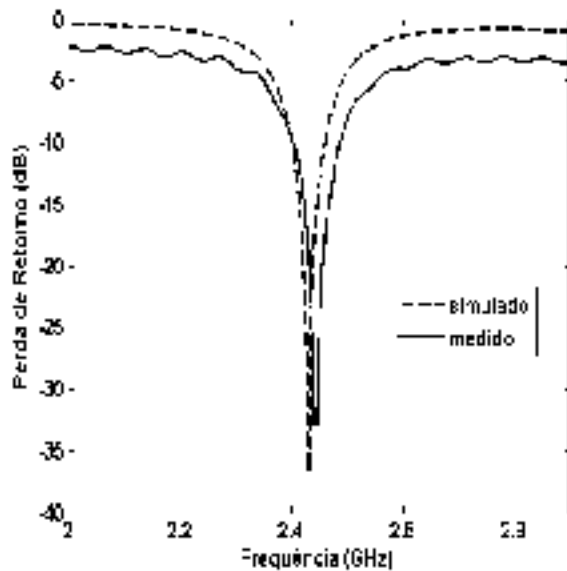


Figura 13: Resultado comparativo de perda de retorno para a antena A2

A Fig. 14 apresenta o resultado VSWR (coeficiente de onda estacionária) simulado e experimental sobrepostos da antena com fendas proposta A2. Novamente uma boa concordância foi observada entre os resultados, como resultado medido apresentando um VSWR igual a 1,05.

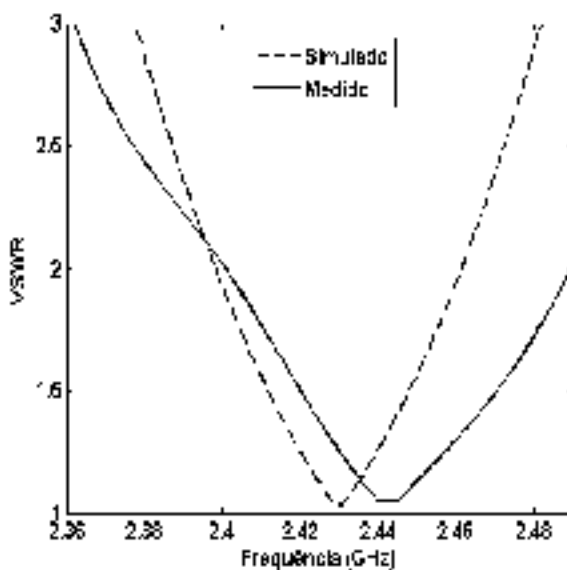


Figura 14: Resultado medido de VSWR para a antena A2

Nos diagramas de radiação, Fig. 15 e Fig. 16, pode-se observar que a antena por possuir plano terra, apresenta radiação apenas na direção contrária ao plano terra (direção *broadside*), a priori sem nenhuma degradação em seu formato. O diagrama apresenta um comportamento direcional com máxima concentração de energia na região de campo distante da antena.

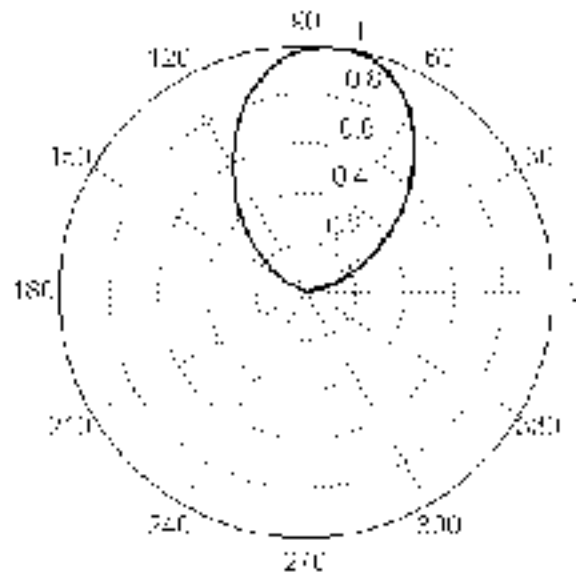


Figura 15: Diagrama de radiação 2D normalizado (Plano H) para a antena A2

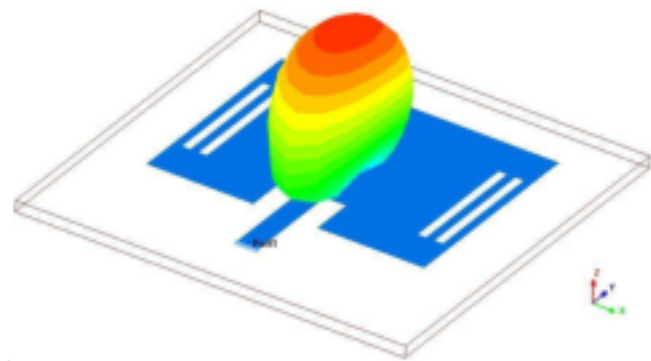


Figura 16: Diagrama de radiação 3D para a antena A2

A presença das fendas como elementos parasitas de certa forma apresenta alguma influência nas características de radiação das antenas A1 e A2, conforme observado pela distribuição de corrente

no patch irradiante da antena **A2**, onde observamos uma maior concentração de energia nessas fendas, sendo responsável pela radiação da antena. A Fig. 17 demonstra o comportamento da densidade de corrente superficial sobre o patch irradiador para a antena **A2**. Assim, como na antena **A1**, pode-se observar uma distribuição simétrica da energia no patch irradiante, com alguma concentração de energia nas fendas em ambos os lados.

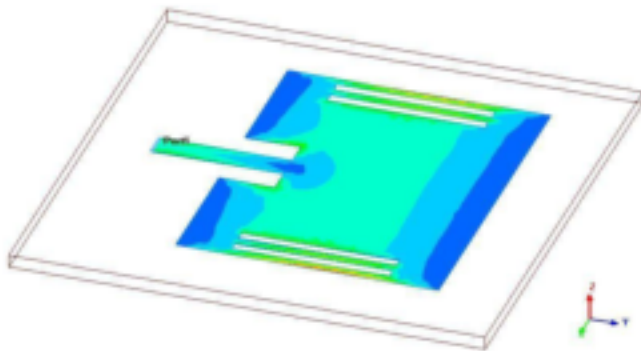


Figura 17: Distribuição de corrente no *patch* irradiante para a antena **A2**

Os valores das perdas retorno, das frequências de operação e das larguras de bandas absolutas para a antena **A2**, simulados e medidos, e demais configurações são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados simulados e medidos para antena **A2**

RESULTADOS	ANTENA A2	
	Simulado	Medido
Frequência de ressonância (F_r)	2,43 GHz	2,43 GHz
Perda de retorno (RL)	-36,72 dB	-32,52 dB
VSWR	1,06	1,05
Largura de banda (BW)	60 MHz	80 MHz
Largura de banda percentual (BW%)	2,46%	3,29%
Impedância de Entrada	—	50,65 Ω

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Nesse trabalho foi proposta uma antena patch retangular com fendas duplas paralelas projetadas para a frequência de 2,45 GHz com aplicação em WLAN. No primeiro momento, 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 elas e a distância entre as fendas 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 dos diagramas de radiação apresentados.

A antena proposta apresentou uma largura de banda de 85,0 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 frequências analisada (banda ISM).

O estudo realizado, tanto na antena **A1** quanto **A2** mostra ainda que as fendas influenciam na irradiação da antena, conforme observado pela distribuição de corrente no *patch* irradiante (ver Fig. 9 e Fig. 16), porém sem grandes mudanças na sua forma de irradiar.

A antena **A2** apresentou boas características de radiação, conforme os resultados apresentados, porém mostrou uma largura de banda de 80 MHz pouco inferior à antena **A1** e abaixo dos 83,5 MHz exigidos para aplicações em sistemas de comunicação sem fio.

5.2 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, pretende-se investigar mais a fundo a influência da variação de dois ou mais parâmetros (**a**, **b**, **c** e **d**) nas características de radiação da antena com fendas, bem como a distribuição de corrente no patch irradiando com a introdução mais elementos parasitas na estrutura analisada.

AGRADECIMENTOS

O autor do trabalho agradece ao CNPq sob o convênio 472098/2013-6, como também ao Grupo de Eletromagnetismo e Matemática Computacional Aplicada (GEMCA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

REFERÊNCIAS

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.

AQUINO, M. B. L. *Antenas de microfita com substrato Metamaterial*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

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 Microstrip 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. *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.

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.

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

SILVA, J. C. *Análise dos Modos Ressonantes em Antenas de Microfita Sobre Substratos ISSO/Anisotrópicos por Técnicas da Ressonância Transversa*. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do

Norte, Natal, 2005.

SILVA, R. A. O. *et al.* Aplicação de Técnicas de Alargamento de Banda em uma Antena *Patch* Circular em 2,45 GHz. In. MOMAG 2014: 16º SBMO - Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 11º CBMag - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo. *Anais...* Curitiba: MOMAG, 2014. p. 717-722.

BIOGRAFIA DOS AUTORES



Maciel Alves de Oliveira

Graduado no Curso de Licenciatura em Computação, na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Tem experiência na área de Telecomunicações, mas, especificamente, em Antenas de Microfita. Atualmente é membro do Grupo de Pesquisa GEMCA (Grupo de Eletromagnetismo e Matemática Computacional Aplicada), atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Antenas de Microfita, (ii) Arranjos de Antenas de Microfita, (iii) antenas monopolo e (iv) antenas bow-tie.



Dr. Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

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) e líder/coordenador do Grupo de Eletromagnetismo e Matemática Computacional Aplicada (GEMCA).



Alfredo Gomes Neto

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba (UEPB, 1986). A pós-graduação, mestrado (UEPB, 1989), e doutorado (UEPB, 1994) é em Engenharia Elétrica, na área de micro-ondas. Em 1993 realizou parte do seu doutorado (doutorado sanduíche) no ENSEEIHT, INPT, Toulouse, França, para onde retornou em 2005, realizando o estágio pós-doutorado. Desde 1989 é professor do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Paraíba, IFPB, onde foi um dos fundadores do Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado, GTEMA. Atuou como professor colaborador no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação da UFRN de 2004 até 2010. É membro da Sociedade Brasileira de Micro-ondas e Optoeletrônica, SBMO, e do Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, IEEE. Atuou até 2008 como colaborador do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais, INEP, na área de avaliação da educação superior. Coordenou em 2000 o Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e em 2012 o MOMAG 2012. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em teoria eletromagnética, micro-ondas, propagação de ondas, antenas atuando principalmente nos seguintes temas: circuitos em microfita, antenas, telecomunicações e estruturas planares. Desde 2009 é o Tutor do Grupo PET de Engenharia Elétrica do IFPB, do qual foi o fundador.



Marcelo da Silva Vieira

É Bacharel em Física pela Universidade Federal da Paraíba (2004), tem mestrado (2006) e doutorado (2010) em Física pela Universidade Federal da Paraíba. Atualmente é professor Adjunto da Universidade Estadual da Paraíba,

atuando nas áreas de Física com ênfase na dinâmica de sistemas fotônicos e em telecomunicações na modelagem computacional de sistemas de micro-onda.



José Jefferson Pires Gonçalves é graduando em Bacharelado em Ciência da Computação pela Universidade Estadual da Paraíba. Também é aluno de iniciação científica, vinculado ao Grupo GEMCA.



Josiel do Nascimento Cruz Possui graduação em Tecnologia em Telemática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (2012), tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Metodologia e Técnicas da Computação. Atualmente é mestrando em Engenharia Elétrica pelo IFPB, também é membro do grupo de pesquisa GEMCA (Grupo de Eletromagnetismo e Matemática Computacional Aplicada).