

# Estudo paramétrico de antena patch retangular com anel fendido

Francisco José Dantas de Oliveira<sup>1</sup>, Idalmir de Souza Queiroz Júnior<sup>2</sup>, Humberto Dionísio de Andrade<sup>3</sup>, Bruno Rodrigues Fialho<sup>4</sup>, Xisto Lucas Travassos Junior<sup>5</sup>, Glauco Fontgalland<sup>6</sup>

**Resumo**—Este artigo apresenta uma antena *patch* retangular inicialmente projetada para a frequência de 5,8 GHz com plano de terra truncado e uma fenda retangular no *patch*, a fim de verificar as influências dessas alterações no comportamento de radiação da antena. O objetivo é analisar parametricamente o efeito da mudança nas larguras do anel, bem como comparar com uma antena *patch* retangular padrão. Foi demonstrando que a frequência de operação, a largura de banda das antenas foi alterada e, em alguns casos, a antena apresentou novos modos ressonantes.

**Palavras-Chave**—Antena *patch* retangular, Truncamento no plano de terra, Parametrização, Antena anel fendida.

**Abstract**—This article presents a rectangular patch antenna initially designed for the frequency of 5.8 GHz with truncated ground plane and a rectangular slot in the patch in order to verify the influences of these changes in antenna radiation behavior. The purpose is to parametrically analyze the effect of the change in ring widths as well as compare with a standard rectangular patch antenna. It was demonstrated that the frequency of operation, antennas bandwidth was altered and, in some cases, the antenna presented new resonant modes.

**Keywords**—Rectangular patch antenna, Ground plane truncation, Parametrization, Ring slot antenna.

## I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das telecomunicações, eletrônica e informática possibilitou avanços tecnológicos que aumentaram o atendimento às demandas de sistemas de comunicação. Novos estudos vêm sendo efetuados para aprimorar e diversificar os meios de aumentar a largura de banda e a taxa de transmissão de informação em sistemas de radiocomunicação e o desenvolvimento de novas antenas. Dispositivos portáteis exigem o projeto de antenas com dimensões miniaturizadas, baixo perfil e adaptável, além de características de radiação que proporcionem maiores ganhos, larguras de banda e utilização multifrequencial.

As antenas de microfita, por apresentarem características que aliam baixo custo, peso leve, dimensões reduzidas e facilidade de integração com circuitos integrados [1] são candidatas a aplicação nessas situações. Para melhorar os padrões de radiação, são efetuadas alterações nessas antenas, como a inserção de anéis de fenda ressoantes, como será discutido neste artigo [2] – [13].

Neste trabalho, são realizadas simulações de antenas para analisar os resultados de alterações paramétricas na fenda da antena em anel. Serão discutidas as interferências dessas alterações dimensionais efetuadas na referida antena.

## II. PROJETO DA ANTENA

Para projetar antenas *patch* retangulares padrão, podem ser usados vários métodos de análise, como o método de onda completa, o modelo da linha de transmissão e o método da cavidade [1]. Este último possui simplificações em relação ao método de onda completa e, devido à facilidade dos cálculos e apresentação de um erro aceitável, será utilizado neste artigo.

Definindo-se a frequência de ressonância da antena como  $f_r$ , a permissividade elétrica relativa (constante dielétrica) do substrato como  $\epsilon_r$  e a altura do dielétrico como  $h$ , projetaram-se as dimensões do *patch* da antena, largura  $W$ , e o comprimento  $L$ . A permissividade elétrica relativa efetiva do substrato ( $\epsilon_{r_{efetivo}}$ ) e seu comprimento elétrico adicional são importantes devido à consideração dos efeitos da heterogeneidade entre o substrato e a camada de ar, assim como os efeitos de franjamento.

As equações (1) – (5) possibilitam o cálculo da largura ( $W$ ) e comprimento ( $L$ ) do patch [1]:

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{r_{efetivo}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \quad (2)$$

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

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{r_{efetivo}} \mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (4)$$

$$L_{efetivo} = L + 2\Delta L \quad (5)$$

, onde:

$\mu_0$  = Permeabilidade magnética no vácuo

$\epsilon_0$  = Permissividade elétrica no vácuo

O comprimento da linha de transmissão ( $L_f$ ) foi baseado no modelo de  $\frac{1}{4}$  de onda ( $L_f = \lambda/4$ ) e, para modelagem de sua largura ( $W_f$ ), utiliza-se a seguinte variável auxiliar, definida por B [14], que é inversamente proporcional à impedância característica ( $Z_0$ ):

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

<sup>1,2,3,4</sup> Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação, Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil, E-mails: fjdoliveira@yahoo.com.br, idalmir@ufersa.edu.br, humbertodionisio@ufersa.edu.br e brunfialho@gmail.com, respectivamente.

<sup>5</sup>Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Joinville-SC, Brasil, E-mail: lucas.travassos@ufsc.br.

<sup>6</sup>Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande-PB, Brasil, E-mail: fontgalland@dee.ufcg.edu.br.

Assim, a largura da linha de transmissão pode ser definida como:

$$W_f = \frac{2h}{\pi} [B - 1 - \ln(2B - 1)] + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \cdot \left( \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \quad (7)$$

Para efetuar o casamento de impedância [15], utilizou-se um *inset-feed*, cujas dimensões de largura ( $W_0$ ) e comprimento ( $Y_0$ ) são dadas pelas seguintes equações [16]:

$$W_0 = c \cdot \frac{4,65 \cdot 10^{-12}}{\sqrt{2 \cdot \epsilon_{r_{efetivo}} \cdot f_r \cdot 10^{-9}}} \quad (8)$$

$$Y_0 = \frac{L}{\pi} \text{acos}[2R_{in}(G_1 \pm G_{12})] \quad (9)$$

, onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo,  $R_{in}$  é a resistência de entrada,  $G_1$  e  $G_{12}$  são as condutâncias da antena, respectivamente. Elas são definidas a partir das seguintes equações:

$$R_{in} = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \quad (10)$$

$$G_1 = \int_0^\pi \frac{\left[ \sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right) \right]^2 \sin^3\theta}{120\pi^2} d\theta \quad (11)$$

$$G_{12} = \int_0^\pi \frac{\left[ \sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta\right) \right]^2 \sin^3\theta}{120\pi^2} J_0 k_0 L \sin\theta d\theta \quad (12)$$

$J_0$  é a função de Bessel de primeira ordem com argumento  $x = k_0 L \sin\theta$  e  $k_0$  é definido como o número de onda no espaço livre, representado por:

$$k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi v}{v_p} = \frac{\omega}{v_p} \quad (13)$$

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (14)$$

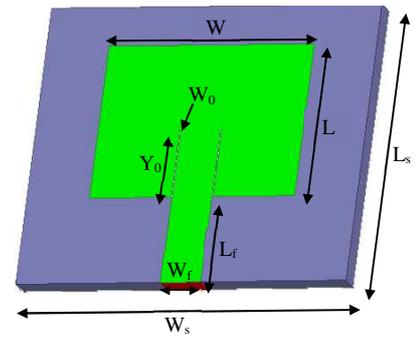
O parâmetro  $v_p$  indica a velocidade de fase da onda que, assume o valor da velocidade da onda no vácuo ( $c$ ), caso esteja nesse meio.

Para facilitar os cálculos, a dimensão da reentrância pode ser definida como:

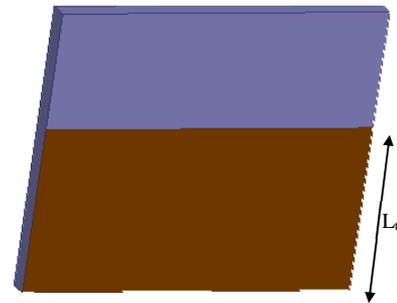
$$Y_0 = \frac{L}{\pi} \cdot 10^4 (0,001699 \cdot e_r^7 + 0,1376 \cdot e_r^6 - 6,1783 \cdot e_r^5 + 93,187 \cdot e_r^4 - 682,69 \cdot e_r^3 + 2561,9 \cdot e_r^2 - 4043 \cdot e_r + 6697) \quad (15)$$

### III. METODOLOGIA

Inicialmente, foi efetuado o projeto de uma antena *patch* retangular padrão com operação na faixa de 5,8 GHz utilizando FR4 como substrato dielétrico. Em seguida, truncou-se seu plano de terra para que seu comprimento ficasse com 12,4695

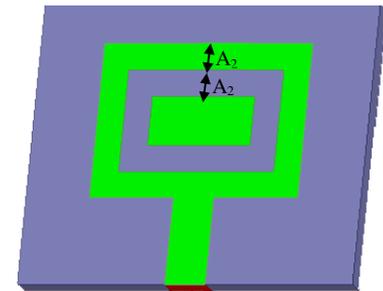


a) Visão frontal da antena padrão.

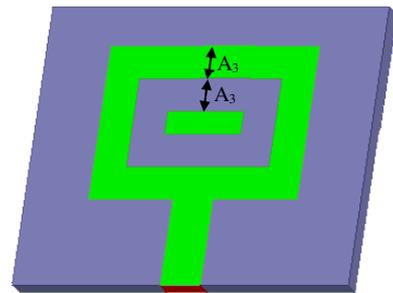


b) Visão traseira da antena padrão.

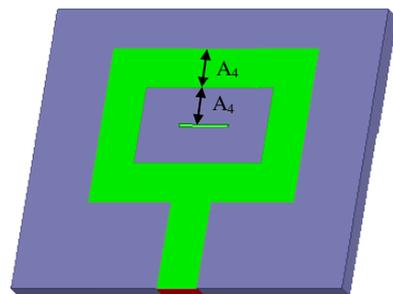
Fig. 1. Antena padrão.



a) Antena 2.



b) Antena 3.



c) Antena 4.

Fig. 2. Antenas modificadas.

mm, cujo limite coincide com a metade do comprimento do *patch*. Como resultado do truncamento, a frequência de ressonância da antena foi deslocada para 8,31 GHz e criou-se outro modo ressoante em 12,615 GHz.

Em seguida, foram retiradas partes metálicas do *patch*, de forma a criar uma região anelar fendida, cujas larguras e distância às bordas do elemento foram alteradas igualmente para verificar o comportamento de radiação nas antenas resultantes, sendo inicialmente definidas com o valor de 2 mm.

Foram efetuadas modificações na largura do anel, aumentando seu tamanho a cada 0,5 mm, e foram analisados os resultados obtidos entre a antena padrão e suas devidas alterações.

Foi desenvolvido um programa computacional utilizando FORTRAN para calcular as dimensões da antena padrão e, com os valores calculados por esse *software*, foi efetuada a simulação da antena através do ANSYS HFSS® (*High Frequency Structural Simulator*) [17].

O aspecto físico e as dimensões da antena são exibidas nas Fig. 1, Fig. 2 e TABELA I, respectivamente. Nas figuras, o substrato é representado pela cor azul, o *patch* está exibido na cor verde e o plano de terra, na cor marrom.

TABELA I  
DIMENSÕES DA ANTENA PADRÃO

	Descrição	Valor (mm)
$W_s$	Largura do substrato e Plano de terra	25,3390
$L_s$	Comprimento do substrato e do Plano de terra	21,3430
$L_t$	Comprimento do Plano de terra	12,4695
$W$	Largura do <i>patch</i>	15,7390
$L$	Comprimento do <i>patch</i>	11,7430
$W_0$	Largura do <i>inset-feed</i>	0,0868
$Y_0$	Comprimento do <i>inset-feed</i> (Reentrância)	5,1589
$W_f$	Largura da linha de transmissão	3,0612
$L_f$	Comprimento da linha de transmissão	6,5980

Foram criadas 3 antenas adicionais, que se diferenciam da antena padrão pela largura do anel e sua distância à borda do *patch*, cujas dimensões são apresentadas na TABELA II.

TABELA II  
LARGURAS DOS ANÉIS VAZADOS

	Descrição	Valor (mm)
$A_2$	Antena 2	2,0
$A_3$	Antena 3	2,5
$A_4$	Antena 4	3,0

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram avaliadas as características de radiação da antena (Ganho), coeficiente de reflexão, impedância de entrada (Carta de Smith) da antena padrão e feita a comparação com os resultados obtidos pelas antenas modificadas com o anel retangular fendido.

Inicialmente, foi efetuado o truncamento do plano de terra em relação à antena padrão de 5,8 GHz, que apresentou deslocamento de frequência e outros modos ressoantes.

A Fig. 3 exibe o gráfico com as perdas de retorno das antenas.

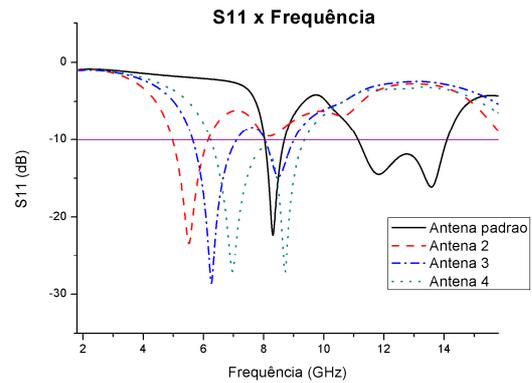


Fig. 3.  $S_{11}$  das antenas.

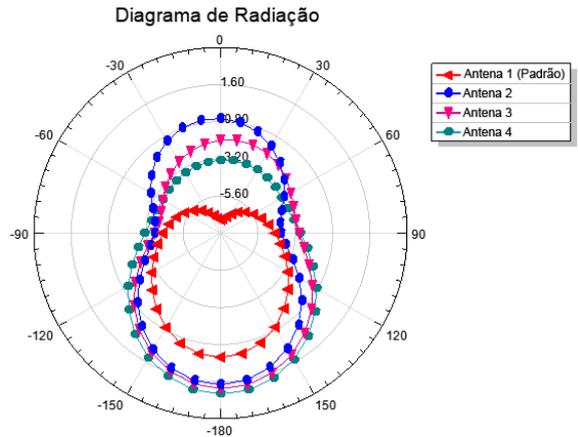


Fig. 4. Diagrama de radiação das antenas.

A TABELA III exibe as informações de frequência de ressonância, coeficiente de reflexão ( $S_{11}$ ) e largura de banda das antenas em estudo.

TABELA III  
FREQUÊNCIAS DE RESSONÂNCIA E LARGURA DE BANDA DAS ANTENAS

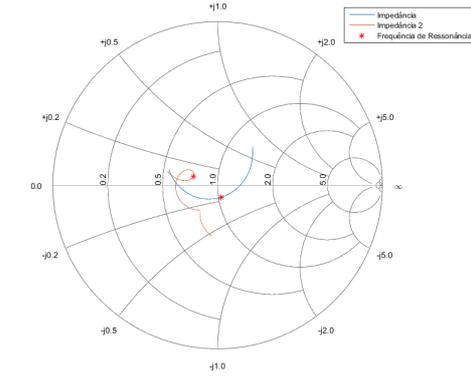
Antena	$f_r$ (GHz)	$S_{11}$ (dB)	Largura de banda (MHz)
Antena1 (Padrão)	8,31	-22,3482	650
Antena1 (Padrão)	13,59	-16,1145	2950
Antena2	5,52	-23,3852	1170
Antena3	6,26	-28,6102	1450
Antena3	8,49	-14,7985	960
Antena4	8,71	-27,2209	3110

Observa-se que, à medida que a largura do anel aumenta, a frequência de ressonância é deslocada para a direita, a largura de banda aumenta, com exceção da antena 3 na frequência de 8,49 GHz, e começam a ser apresentados outros modos ressoantes. Pelo diagrama de co-polarização na frequência de 5,8 GHz apresentado na Fig. 4, também é possível concluir que as antenas exibiram comportamentos *broadside*, pois parte da radiação é enviada para a face traseira da antena, onde está presente o plano de terra truncado.

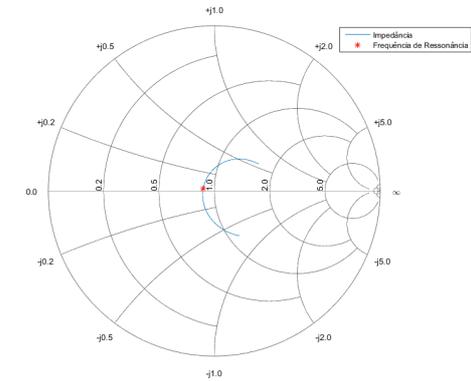
A frequência central das antenas 2 e 3 foi deslocada em relação a 5,8 GHz mas, devido à sua largura de banda, podem ser aplicadas nessa faixa de frequência. A antena 4 apresentou frequência de operação similar ao primeiro modo ressonante da antena padrão com plano de terra truncado, podendo ser utilizada para outros serviços de radiocomunicação licenciáveis junto à Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Na Fig. 5 são exibidas as cartas de Smith das quatro antenas. As impedâncias de entrada das antenas na frequência de ressonância estão representadas pelo marcador vermelho. Pode-se observar que a antena padrão e a antena 3 apresentaram 2

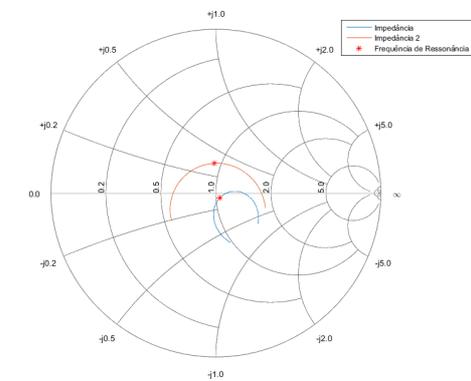
faixas de frequência de operação, indicando que 2 modos ressoantes surgiram nas antenas.



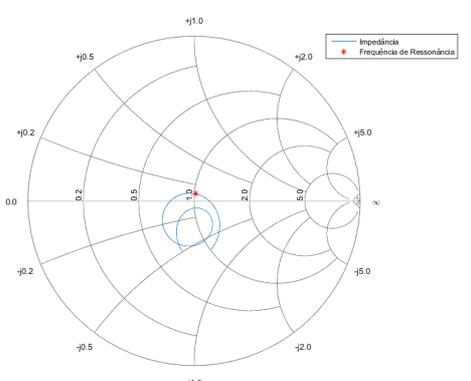
a) Carta de Smith da antena 1 (padrão).



b) Carta de Smith da antena 2.

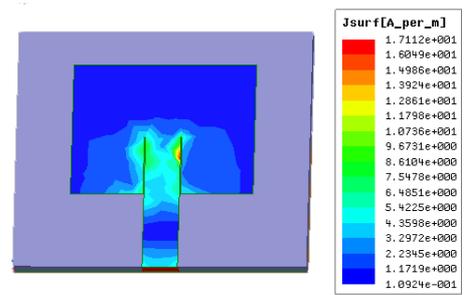


c) Carta de Smith da antena 3.

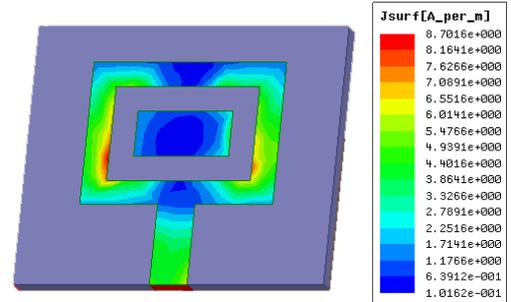


d) Carta de Smith da antena 4.

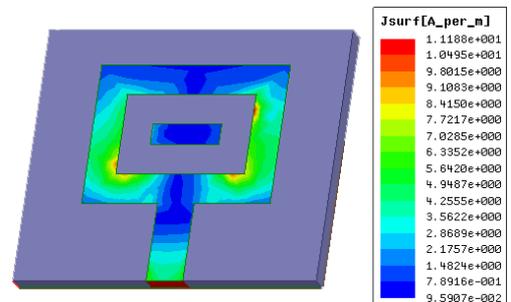
Fig. 5. Carta de Smith das antenas em análise



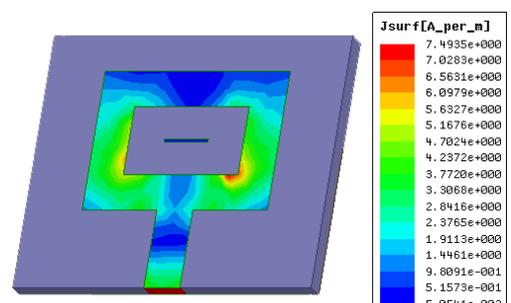
a) Densidade de corrente da antena 1 (Padrão).



b) Densidade de corrente da antena 2.



c) Densidade de corrente da antena 3.



d) Densidade de corrente da antena 4.

Fig. 6. Densidade de corrente das antenas em análise

As densidades de corrente na superfície do *patch* em relação ao substrato para a frequência de 5,8 GHz são apresentadas na Fig. 6. Percebe-se que ocorrem alterações na distribuição de densidade de corrente elétrica na superfície dos *patches*, sendo as mesmas reduzidas, à medida em que se retira mais material metálico do *patch*.

## V. CONCLUSÕES

Com este artigo, puderam-se verificar as influências do plano de terra e da retirada de material metálico em uma antena *patch* retangular com anel fendido. Observou-se que, à medida que o comprimento a largura do anel e da distância entre este e a borda da antena tinha suas dimensões aumentadas, a frequência de ressonância se deslocava para a direita, a largura

de banda aumentou, com exceção da antena 3 na frequência de 8,49 GHz, e novos modos ressoantes eram exibidos pela antena. Além disso, verificou-se que a antena assumiu um comportamento mais *broadside*, de forma que parte dos campos eletromagnéticos eram direcionados para o sentido do plano de terra, devido ao truncamento no plano de terra. Foi observado que a densidade de corrente era maior nas redondezas da parte externa às fendas.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2<sup>a</sup> ed., Nova Iorque, Arizona: John Wiley & Sons, INC., 1997.
- [2] R. Azadegan e K. Sarabandi, "A novel approach for miniaturization of slot antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, pp. 421-429, 2003.
- [3] D. Peroulis, K. Sarabandi e L. P. B. Katehi, "Design of reconfigurable slot antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, pp. 645-654, 2005.
- [4] N. Behdad e K. Sarabandi, "A wide-band slot antenna design employing a fictitious short circuit concept," *IEEE Trans. Antennas*, vol. 53, pp. 475-482, 2005.
- [5] N. Behdad e K. Sarabandi, "Bandwidth enhancement and further size reduction of a class of miniaturized slot antennas," *IEEE Trans. Antennas*, vol. 52, pp. 1928-1935, 2004.
- [6] M. Bektas, K. O. Akbal, P. Guzekin, E. Tarakoglu, T. Imeci e T. Durak, "Dual-Fed Rectangular Ring Slotted Patch Antenna," *Wireless Information Technology and Systems and Applied Computational Electromagnetics International Conference on*, 2016.
- [7] K. C. Gupta, J. Li, R. Ramadoss e C. Wang, "Design of Frequency-Reconfigurable Rectangular Slot Ring Antennas," *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2000.
- [8] M. Kumar e K. Ray, "Design and Performance of a Compact Broadband Circularly Polarized Rectangular Ring Antenna," *International Journal of Electromagnetics and Applications*, pp. 49-55, 2014.
- [9] S. Maci, B. B. Gentili, P. Piazzesi e C. Salvador, "Dual band slot-loaded patch antenna," *Proc. Inst. Elect. Eng. Microw. Antennas*, vol. 142, n<sup>o</sup> 3, pp. 225-232, 1995.
- [10] H. A. Majid, M. K. A. Rahim, R. Dewan e M. F. Ismail, "Frequency Reconfigurable Square Ring Slot Antenna," *IEEE International RF and Microwave Conference*, pp. 147-150, 2015.
- [11] T. Morioka, S. Araki e K. Hirasawa, "Slot antenna with parasitic element for dual band operation," *Electron. Lett.*, vol. 33, p. 2093-20 944, 1997.
- [12] B. S. Nugroho, F. Y. Zulkifli e E. T. Rahardjo, "Lossy-Transmission-Line Analysis of Frequency Reconfigurable Rectangular-Ring Microstrip Antenna," *International Journal of Microwave Science and Technology*, vol. 2014, 2014.
- [13] J.-F. Tsai e J.-S. Row, "Reconfigurable Square-Ring Microstrip Antenna," *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, vol. 61, n<sup>o</sup> 5, 2013.
- [14] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4<sup>a</sup> ed., Hoboken, Nova Jérsei: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [15] S. M. WENTWORTH, *Eletromagnetismo Aplicado: Abordagem Antecipada das Linhas de Transmissão*, Porto Alegre, RS: Bookman, 2009.
- [16] S. M. d. Holanda, *Estudo e Desenvolvimento de Antenas de Microfita utilizando tecido de malha a base de fibra têxteis compostas*, Mossoró: Dissertação (Mestrado em Sistemas de Comunicação e Automação) - Universidade Federal Rural do Semiárido, 2016.
- [17] ANSYS, Inc., *Ansoft HFSS® versão 18.0: Software de planejamento de projetos eletromagnéticos*, Estados Unidos, 2015.