

## Impactos do Aumento da Curvatura de Antenas Têxteis Sobre os Parâmetros de Operação da Antena

Éberte Valter da Silva Freitas<sup>1</sup>, Luann Georgy Oliveira Queiroz<sup>2</sup>, Jackson Angell Alves e Silva<sup>1</sup>, Juan Rafael Filguiera Guerra<sup>3</sup>, Samanta Mesquita de Holanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Engenharias – Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)  
Caixa Postal 137 – 59625-900 – Mossoró – RN – Brasil

<sup>2</sup>Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Elétrica  
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – 29075-910– Vitória – ES – Brasil

<sup>3</sup>Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) –  
59078-970– Natal – RN – Brasil

ebertefreitas@ufrn.edu.br, luann.queiroz@aluno.ufes.br, jacksonangell@gmail.com, juan\_fguerra@outlook.com, samanta\_holanda@hotmail.com

**Abstract.** *This study determined the operating parameters of a microfite antenna with textile substrate on curved surfaces. The Cavity and Transmission Line method was used to design a microfite antenna with textile substrate and then the antenna was simulated in four angulation conditions: flat and with curves of 40, 60 and 90 degrees. The results show the non-linear alteration of the antenna parameters as their curvature increases.*

**Resumo.** *Este estudo determinou os parâmetros de operação de uma antena de microfita com substrato têxtil em superfícies curvas. Foram empregados o método da Cavidade e da Linha de Transmissão para dimensionamento de uma antena de microfita com substrato têxtil e em seguida foi feita a simulação da antena em quatro condições de angulação: plana e com curvaturas de 40, 60 e 90 graus. Os resultados mostram a alteração não linear dos parâmetros da antena conforme o aumento de sua curvatura.*

### 1. Introdução

Apresentada por Deschamps em 1953, as antenas de microfita apresentam *layout* simples e, mesmo com tamanho reduzido, são capazes de transmitir dados no modo de banda larga (Balanis, 2009). Conforme a Figura 1, que ilustra através da geometria retangular as partes construtivas das antenas de microfita, o *patch*, o plano de terra, e o substrato são os elementos cujas propriedades materiais e dimensões causam alterações nos parâmetros operacionais da antena (perda de retorno, largura de banda, ganho, etc.) (Araújo, 2011).

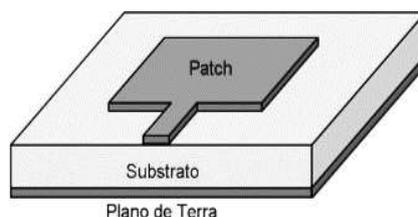


FIG. 1 – Antena de microfita com geometria retangular.

A aplicação de material flexível na constituição, seja do ressoador, plano de terra ou substrato, produz efeitos relevantes em comparação ao projeto de antenas rígidas convencionais. A antena de microfita flexível pode possibilitar maior facilidade de adaptação a sistemas embarcados em diversos tipos de aplicações, sobretudo nas que necessitem de flexibilidade, elasticidade e compressibilidade, como aplicações em fardamentos (Guerra, 2016). Dessa forma, a análise dos impactos causados pela curvatura da antena torna-se relevante para compreender o comportamento dos seus parâmetros operacionais e, conseqüentemente, o desempenho da mesma.

A atuação das antenas pode ser descrita através de parâmetros. A correlação entre alguns deles faz com que nem todos precisem ser especificados para uma completa caracterização de seu comportamento. Dentre os atributos mensuráveis, destacam-se: Diagrama de irradiação; Perda de retorno; e a Densidade de corrente (Holanda, 2016).

## 2. Objetivo

Utilização do *software* HFSS<sup>®</sup> para determinação das variações nos parâmetros de radiação de antena de microfita em decorrência do aumento da curvatura da antena.

## 3. Metodologia

As etapas estabelecidas como percurso metodológico foram:

- Etapa I: Modelagem matemática da antena;
- Etapa II: Simulação.

Foram empregados os métodos aproximados da Cavidade e da Linha de Transmissão para a determinação das dimensões da antena (Balanis, 2009). Os cálculos foram realizados com o auxílio do *software* MatLab<sup>®</sup>.

Inicialmente, considerando os valores da constante dielétrica ( $\epsilon'_r$ ) e do fator de perdas ( $\epsilon''_r$ ) encontrados na etapa de caracterização elétrica do substrato, foi determinada a permissividade relativa do substrato através da Equação 1.

$$\epsilon = (\epsilon'_r \pm j\epsilon''_r) \times \epsilon_0 \quad (1)$$

Sendo  $\epsilon$  é a permissividade relativa do substrato e  $\epsilon_0$  é a permissividade do vácuo cujo valor  $8,85418782 \times 10^{-12}$  F/m.

O padrão IEEE 802.15.6 *Wireless Body Area Networks* é um padrão empregado em sistemas de comunicação sem fio em regiões próximas ao corpo humano que atende a faixas de frequência regulamentadas por unidades médicas e de telecomunicações (IEEE *Computer Society*, 2012). Dessa forma, para atender tal padrão, a frequência de ressonância ( $f_r$ ) escolhida foi de 2,45 GHz com largura de banda de 83,5 MHz (de acordo com a banda ISM), sendo empregada a Equação 2 para o cálculo da largura do *patch* ( $W$ ).

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

Em que  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$  são a permissividade no espaço livre e permeabilidade no espaço livre.

Conhecendo-se a largura do *patch* e a altura do substrato, foi encontrada a permissividade relativa efetiva do meio ( $\varepsilon_{ef}$ ), determinada pela Equação 3.

$$\varepsilon_{ef} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-0,5} \quad (3)$$

Onde  $h$  é a altura do substrato têxtil.

Em seguida, considerando  $\varepsilon_{ef}$  e os efeitos de borda do *patch*, encontrou-se a extensão  $\Delta L$  através da Equação 4.

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\varepsilon_r+0,300)\left(\frac{W}{h}+0,264\right)}{(\varepsilon_{ef}+0,258)\left(\frac{W}{h}+0,800\right)} \quad (4)$$

Conhecendo-se o  $\varepsilon_{ef}$  e  $\Delta L$ , foi determinado o comprimento do *patch* ( $L$ ) por meio da Equação 5.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\varepsilon_{ef}} \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} - 2\Delta L \quad (5)$$

Finalizadas as dimensões do *patch*, para o dimensionamento da largura e comprimento da linha de transmissão foi considerado  $50 \Omega$  como impedância de entrada ( $Z_0$ ), mediante a impedância do conector, e aplicadas as Equações 6 e 7.

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_r} \left( \frac{W_m}{h} + 1,393 + 0,677 \ln \left( \frac{W_m}{h} + 1,44 \right) \right)} \quad (6)$$

$$L_m = \frac{c}{4f_r \sqrt{\varepsilon_{ef}}} \quad (7)$$

Sendo  $W_m$  e  $L_m$  correspondem a largura e comprimento, respectivamente, da linha de transmissão.

O projeto inicial necessitou de ajuste fino, o qual foi feito através do cálculo do fator de compressão (CF), dado na Equação 8, através da qual as dimensões  $W$  e  $L$  do *patch* foram redimensionadas em busca da maior proximidade a frequência 2,45 GHz.  $F_r$  corresponde a frequência de ressonância antes do ajuste (Morais et. al, 2016).

$$CF = \left( \frac{F_r}{2,45} \right) \times 100\% \quad (8)$$

As antenas curvas foram feitas inicialmente em duas dimensões no *software* AutoCAD® aplicando a Equação 9 para determinação de seu raio de curvatura.

$$\alpha = \frac{\ell \times 180}{R \times \pi} \quad (9)$$

Em que  $\alpha$  de curvatura,  $\ell$  e  $R$  são o comprimento e o raio do arco, respectivamente.

#### 4. Resultados

As três condições de curvatura foram desenvolvidas mantendo-se as mesmas propriedades dos materiais e valores dimensionais. A Figura 2 apresenta em detalhes as

dimensões da antena, enquanto a Figura 3 mostra os diferentes ângulos de curvatura analisados.

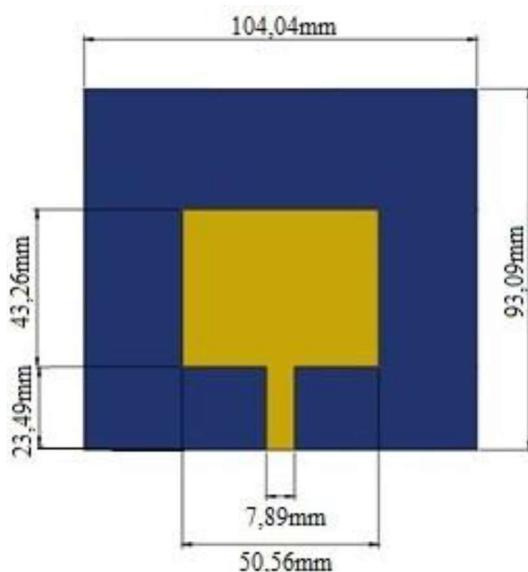


Figura 2 – Dimensões da antena têxtil CO e PES após fator de compressão no *patch*

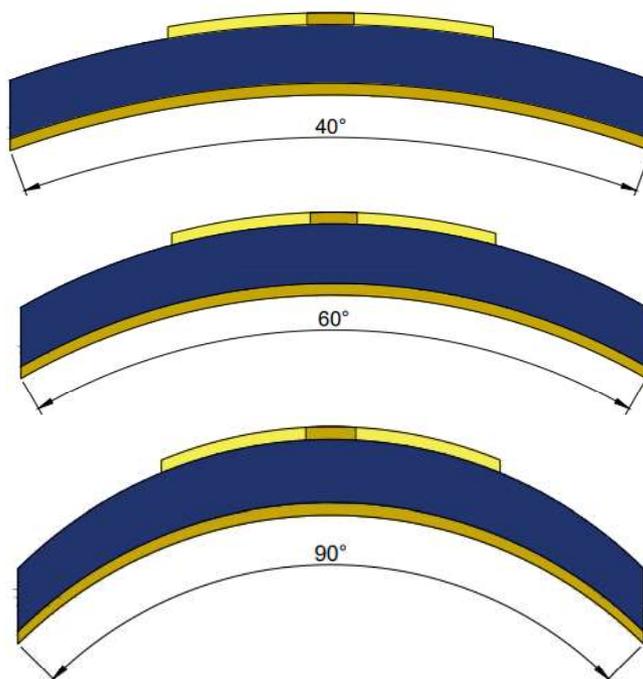
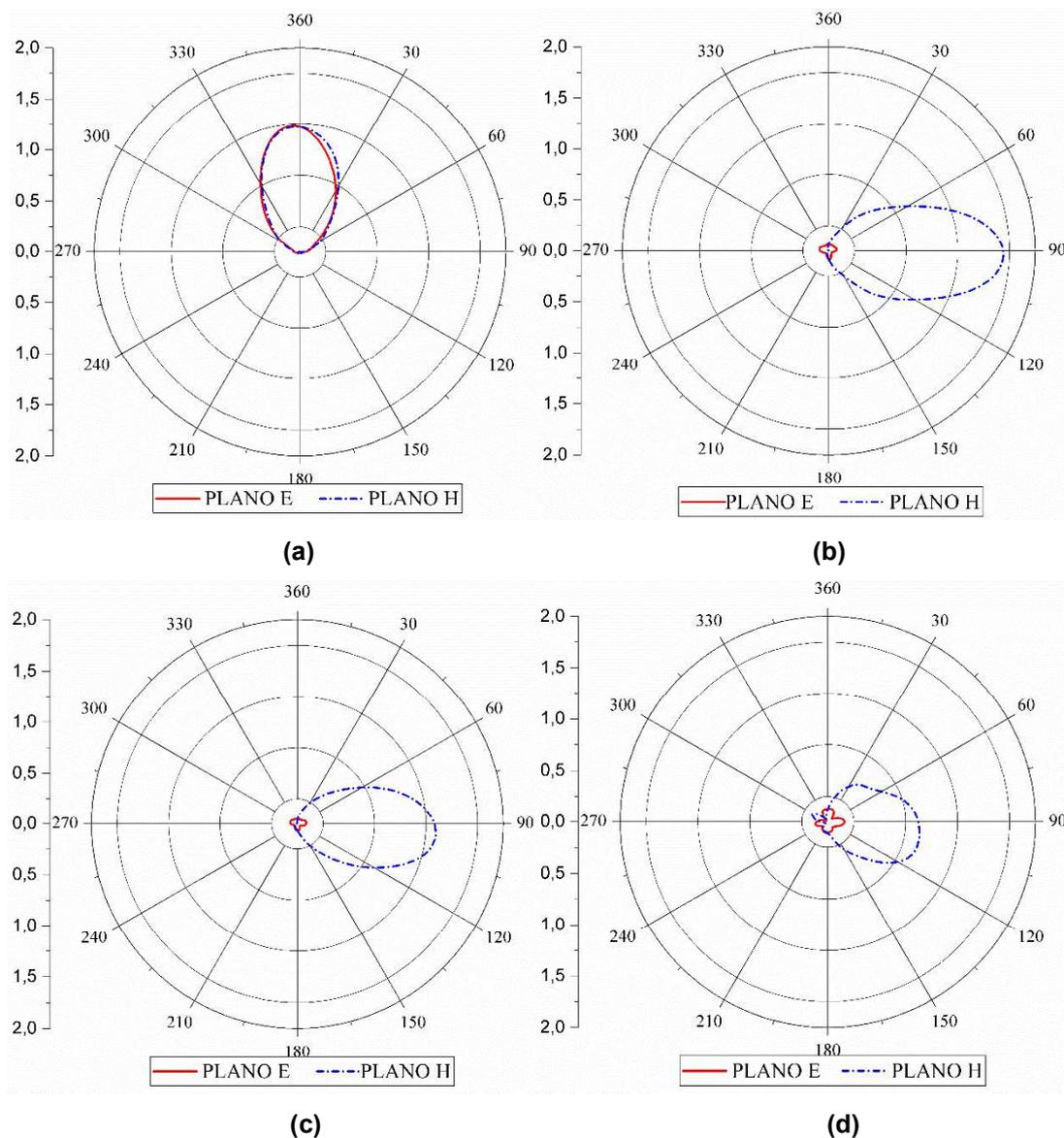


Figura 3 – Diferentes situações de curvatura simuladas

#### 4.1. Diagrama de Radiação

Para avaliar a diretividade e ganho das antenas têxteis simuladas, foram plotados através do *software* HFSS<sup>®</sup> os diagramas de radiação 2D de cada uma delas, estando os resultados dispostos na Figura 4.



**Figura 4 – Resultados fundamentais da simulação da antena plana (a), curva em 40° (b), 60°(c) e 90°(d) quanto ao padrão de radiação 2D.**

De acordo com a Figura 4, todas as antenas apresentam comportamento diretivo com radiação semelhante a antenas de microfita convencionais com características *broadside*, não havendo variações significativas entre as condições de curvatura simuladas. Todavia, os lóbulos secundários das antenas curvas apresentam distorções consideráveis em relação a sua condição plana, o que está associada à sua distribuição espacial uma vez que se trata de uma mesma antena e, portanto, a tangente de perdas do material é a mesma em todos os casos. Por fim, verifica-se que, em comparação com a antena plana, as

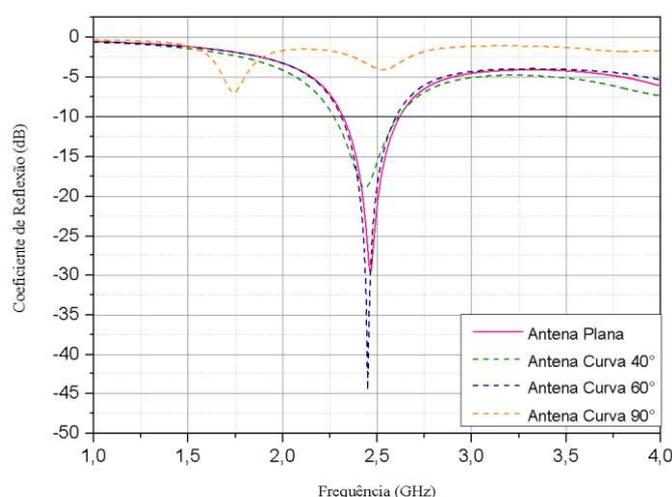
antenas curvas apresentam uma alteração do plano E justificada pela distorção, deformação e descaracterização das dimensões da antena em sua condição plana.

O padrão de radiação da antena curva em  $90^\circ$  é o mais distinto e apresenta redução da diretividade e baixo ganho, isso pode ser decorrente do aumento da sua curvatura em relação as demais.

A antena curva em  $40^\circ$  obteve o maior ganho máximo, igual a 1,69 dBi, seguida da plana com 1,23 dBi, curva em  $60^\circ$  com 1,33 dBi e, por fim, pela de menor ganho, a de  $90^\circ$  com 0,9 dBi. Destaca-se a não linearidade entre os valores do ganho e a condição de curvatura da antena.

#### 4.2. Coeficiente de Reflexão

Através das dimensões obtidas, as antenas foram desenhadas e simuladas e os resultados de coeficiente de reflexão para as quatro antenas encontram-se dispostos na Figura 5.



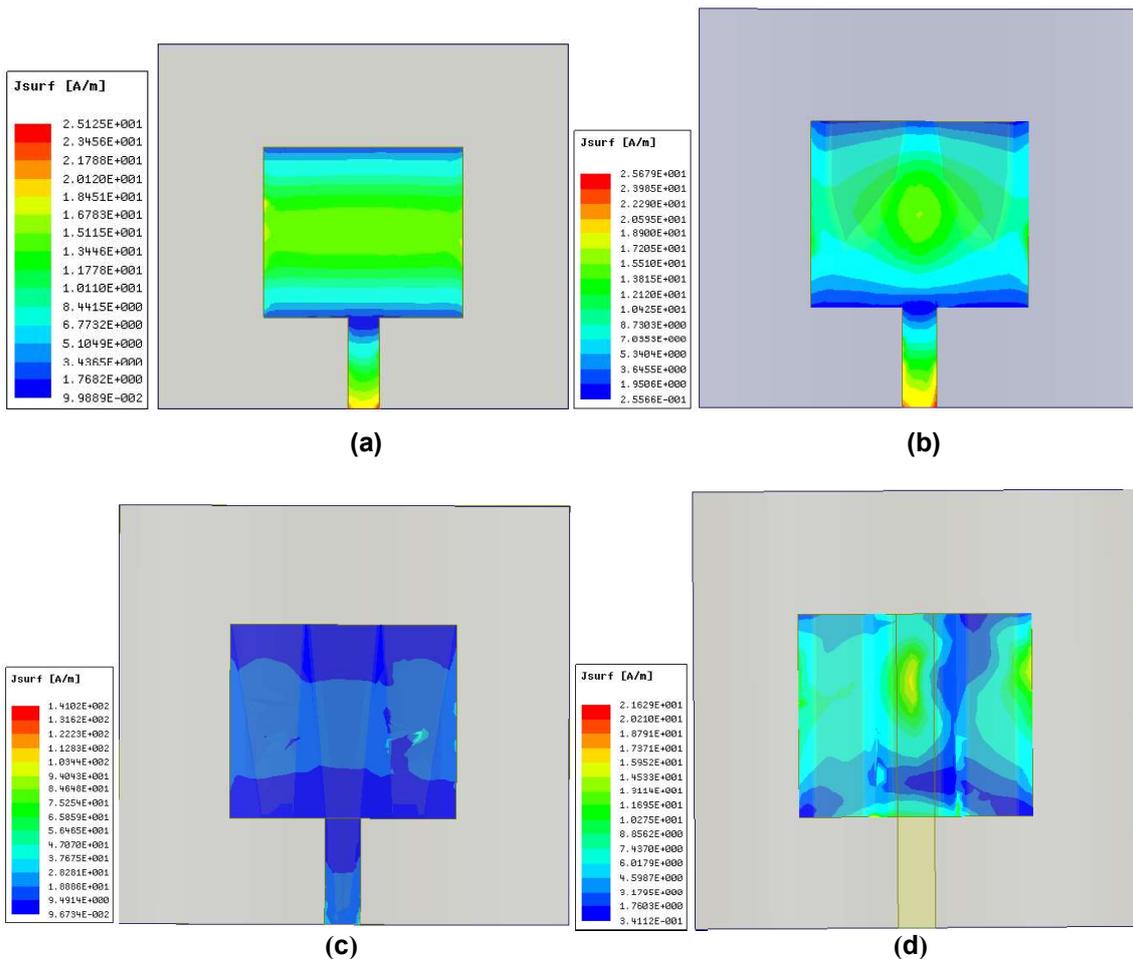
**Figura 5 – Coeficiente de Reflexão das antenas simuladas na faixa de frequência de 1 a 4 GHz.**

Por meio da análise da Figura 5 é possível aferir que a antena curvatura de  $90^\circ$  foi a única que não ressoou na faixa de frequência estipulada, apresentando seu primeiro modo para 1,7407 GHz (-6,9106 dBi). Esse resultado pode ser atribuído aos cálculos de dimensionamento e ao *software*, que não apresenta precisão no trato de superfícies curvas. A aplicação de técnicas de casamento de impedância poderia aumentar esse coeficiente de reflexão, contudo, já que não foi apresentado um comportamento linear desse parâmetro de acordo com o aumento da curvatura, o dimensionamento para aplicação WBAN da antena deva ser centrado na localização corporal e conseqüente curvatura da aplicação específica.

O pico da primeira frequência de ressonância da antena em sua condição plana ocorre em de 2,465 GHz (-29,5927 dBi) com largura de banda de 296,3 MHz, para a curva em  $40^\circ$  ocorre em 2,4414 GHz (-18,8778 dBi) com largura de banda de 336,3 MHz, para a curva em  $60^\circ$  ocorre em 2,4496 GHz (-44,5544 dBi) com largura de banda de 284,3 MHz. Assim, com exceção da condição de  $90^\circ$  de curvatura, todas ressoaram abaixo de -10 dBi, estando dentro da faixa de aplicação para o padrão IEEE 802.11b da banda ISM.

### 4.3. Densidade de Corrente Superficial

A limitação do *software* HFSS® no tocante a precisão de superfícies curvas, resulta na dificuldade de obtenção e análise dos diagramas de densidade superficial e corrente no *patch*. O gradiente de cor representa as variadas intensidades do ganho em dbi. Os menores valores apresentam coloração azul enquanto os maiores valores coloração vermelha, conforme a Figura 6.



**Figura 6 - Densidade linear de corrente superficial na frequência de 2,45 GHz para a antena plana (a), curva em  $40^\circ$ (b),  $60^\circ$ (c) e  $90^\circ$ (d).**

A partir da Figura 6, observa-se que apesar de todas as antenas simuladas apresentarem mesmo valor de constante dielétrica e tangente de perdas, sua curvatura atuou de forma significativa no comportamento da densidade linear de corrente. Na antena plana este parâmetro concentra-se mais no início da linha de transmissão e no centro do *patch*, apresentando densidade máxima de corrente igual a 25,12 A/m.

Conforme a Figura 6 (c), a corrente distribui-se de forma quase uniforme sobre a superfície da antena quando curva em  $60^\circ$ , concentrando-se em alguns poucos pontos, justificando seu elevado valor máximo de densidade de corrente.

A antena curva em  $90^\circ$ , Figura 6 (d), foi a única que ressoou abaixo de -10 dbi e apresenta os menores valores de densidade de corrente superficial. Como o HFSS utiliza

o método dos elementos finitos, não realizando precisamente superfícies curvas, mostrou-se incapaz de determinar a corrente na superfície da linha de transmissão da antena nessa curvatura, discriminando apenas os valores no *patch*.

A Tabela 1 apresenta em resumo os parâmetros da antena de microfita flexível analisada nas quatro condições de curvatura.

**TABELA 1. PARÂMETROS DA ANTENA NAS QUADRO CONDIÇÕES ANALISADAS**

<b>Parâmetro</b>	<b>Plana</b>	<b>40°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>
Ganho máximo (dbi)	1,23	1,69	1,33	0,9
Frequência de ressonância (GHz)	2,46	2,44	2,33	1,74
Coefficiente de Reflexão (dbi)	-29,59	-18,87	-44,55	-6,91
Largura de banda (MHz)	296,3	336,3	284,3	-
Corrente superficial media (A/m)	25,12	25,67	141,02	21,62

## 5. Conclusão

Na modelagem matemática, os métodos da Cavidade e da Linha de Transmissão mostraram-se eficazes, embora tenha sido necessário o cálculo do fator de compressão para alcance mais preciso da faixa de frequência ISM. A combinação dos *softwares* AutoCAD® e HFSS® mostrou-se eficaz na construção e simulação de antenas curvas, mesmo com algumas limitações gráficas de simulação, sendo os resultados obtidos fundamentais para a avaliação do comportamento da antena.

Sugere-se para trabalhos futuros a simulação de novas condições de curvatura em busca da observação de padrões das propriedades das antenas; utilização de outros materiais têxteis para o substrato; e simulação física da antena nas curvaturas deste estudo.

## Referências

- Araújo, G. L. R. "Efeito da Inclinação do Plano de Terra para Antenas de Microfita Multicamadas com Elementos Parasitas Fractais". Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2011.
- Balanis, C. A. Teoria das antenas: análise e síntese. vol. 1 e 2. 3ª ed. Grupo Gen-LTC, 2009.
- Guerra, J. R. F. "Projeto de antena de microfita flexível utilizando de tecido malha a base de fibras naturais e sintéticas," 2016.
- Holanda, S. M. "Estudo e Desenvolvimento de Antenas de Microfita Utilizando Tecido de Malha a Base de Fibras Têxteis Compostas". Universidade Federal Rural do Semiárido, 2016.
- IEEE Computer Society. (2012). IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks. New York: IEEE Standards Association.

Morais, R. R. d. Oliveira, E. E. C. d. Silva, R. C. F. d. Oliveira, M. A. d. e Silva, P. H. d. F. 2016. "Projeto e Análise de um Arranjo Pré Fractal de Antenas Tipo Patch em Microfita", Universidade Estadual da Paraíba.