

# Estudo da curvatura de antenas com substratos flexíveis biodegradáveis para aplicação em 5G

João Vitor M. de O. Silva, Samanta M. de Holanda, Humberto D. de Andrade, Isaac B. T. da Silva, Idalmir de S. Queiroz Júnior  
Departamento de Engenharia e Tecnologia - DET  
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Mossoró, Brasil

joao.silva01481@alunos.ufersa.edu.br, samanta.holanda@ufersa.edu.br, humbertodionisio@ufersa.edu.br,  
isaac.barros@ufersa.edu.br, idalmir@ufersa.edu.br

**Resumo**— Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de antenas de microfita com substrato têxtil biodegradável para aplicações na tecnologia 5G, analisando o comportamento dessas antenas em superfície curva. Foram simuladas e medidas três antenas com substratos têxteis de algodão e poliéster. Os resultados apresentados mostraram que mesmo após curvadas as antenas ressoaram dentro da faixa de 3,5 GHz com coeficiente de reflexão abaixo de -22 dB, havendo ainda uma diminuição de até 50% na largura de banda após curvar a antena.

**Palavras-Chave**— *antena de microfita, substrato flexível, tecnologia 5G.*

**Abstract**— This work aims to study the behavior of microstrip antennas with biodegradable textile substrate for applications in 5G technology, analyzing the behavior of these antennas on a curved surface. Three antennas with cotton and polyester textile substrates were simulated and measured. The results showed that even after bending the antennas resonated within the 3.5 GHz band with a reflection coefficient below -22 dB, with a decrease of up to 50% in bandwidth after bending the antenna.

**Keywords**— *microstrip antenna, flexible substrate, 5G technology.*

## I. INTRODUÇÃO

A antena de microfita é um dispositivo que está há muitas décadas presentes no meio acadêmico e profissional, sendo estudada desde 1950, mas somente em 1970 que houve uma forte atenção dada para o estudo e desenvolvimento dessa tecnologia [1]. Essas antenas vêm sendo aprimoradas e diversificadas ao decorrer dos anos, onde na atualidade é encontrado diversas aplicações sobre o uso desse dispositivo em inúmeras áreas, destacando principalmente nos sistemas *Wireless Body Area Network* (WBAN). A antena de microfita para sistemas WBAN é utilizada próxima ao corpo humano e deve ser projetada de forma que não precise de fios para a transmissão de dados e seja compacta para evitar o desconforto da antena em contato com a pele [2].

A antena de microfita flexível apresenta-se como um dispositivo com maior variedade de aplicações, em termos de corpos com formatos diferentes, quando comparada às antenas com estrutura rígida. Um dos principais problemas das antenas de microfita convencionais (geralmente feitas de FR4, devido ao baixo custo do material para fabricação da antena [3]) é sua estrutura rígida, que limita sua aplicação em superfícies que apresentam uma curvatura. Com isso, o uso de antenas flexíveis se torna um meio de contornar esse problema. Além disso, segundo Wang, Zhang e Wu [4], foram realizados estudos de como antenas de microfita aplicadas ao corpo humano sofrem

variações em seus parâmetros, principalmente quando estão em contato direto com o corpo e sofrem de deformações para adaptar-se à superfície aplicada. Portanto, o uso de materiais específicos, que consigam se adequar ao contato com o corpo humano e não sofrer grande variação em seus parâmetros quando submetê-las a uma curvatura é muito importante.

O uso de aparelhos de telecomunicações operando na frequência do 5G tem aumentado nos últimos anos, tornando necessária o desenvolvimento de dispositivos que operam nas faixas de frequências utilizadas nesta tecnologia [5, 6]. As vantagens do 5G em comparação com seus antecessores são diversas, como em sua velocidade de resposta, número de usuários conectados e largura de banda maior.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é estudar aplicação das antenas de microfita flexíveis, operando na frequência de 3,5GHz, em superfícies curvas, visando uma futura aplicação no corpo humano para fins medicinais de acordo com a tecnologia WBAN (*Wireless Body Area Network*).

## II. METODOLOGIA

As antenas de microfita com três diferentes tipos fibras têxteis em seu substrato foram simuladas e medidas em superfície plana e, posteriormente após construídas, as antenas foram curvadas com o intuito de verificar a influência dessa curvatura nos parâmetros de operação da antena. Cada antena foi nomeada de acordo com o material do seu substrato da seguinte forma: “Antena CO” (substrato 100% algodão), “Antena PES” (substrato 100% Poliéster). Por último, a “Antena COPES” (substrato composto de 67% CO e 33% PES).

### A. Materiais Utilizados

Os substratos das antenas estudadas foram tecidos planos comerciais compostos por fibras de Algodão (CO) e Poliéster (PES). Esses substratos foram escolhidos por serem materiais flexíveis e amplamente utilizados na área médica, visando uma possível aplicação na tecnologia WBAN. Já o material utilizado para o patch, plano de terra e GCPW (*Grounded Coplanar Wave Guide*) foi uma folha de cobre flexível, condutor amplamente utilizado na eletrônica. A permissividade elétrica e a tangente de perdas dos três materiais utilizados nos substratos das antenas estão dispostas na Tabela I.

Todas as antenas possuem patch com geometria retangular e substratos com dimensões máximas de 80 mm × 80 mm, como

ilustra a Figura 1. As dimensões das antenas de acordo com o material do substrato encontram-se dispostas na Tabela II, onde  $h$  representa a altura do substrato. É importante salientar que foi utilizado o GCPW (*Grounded Coplanar Waveguide*) como técnica de casamento impedância adicional ao *inset feed* apenas nas antenas com substrato de algodão (CO) e de poliéster (PES).

TABELA I. Dados da média e desvio padrão da permissividade elétrica e tangente de.

| Substrato                 | $\epsilon_r$ |              | $\tan \delta$ |              |
|---------------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
|                           | $\bar{X}$    | $\sigma$     | $\bar{X}$     | $\sigma$     |
| Algodão (CO)              | 1,5786       | $\pm 0,0309$ | 0,0328        | $\pm 0,0158$ |
| Poliéster (PES)           | 1,4234       | $\pm 0,0252$ | 0,0013        | $\pm 0,0020$ |
| Algodão+Poliéster (COPEs) | 1,5798       | $\pm 0,0345$ | 0,0237        | $\pm 0,0201$ |

FONTE: Adaptado de [7].

TABELA II. Dimensões em milímetros (mm) as antenas com diferentes substratos têxteis.

| Dimensão (mm) | Substrato |       |       |
|---------------|-----------|-------|-------|
|               | PES       | CO    | COPEs |
| $W_s$         | 80,00     | 80,00 | 80,00 |
| $W_p$         | 37,86     | 39,44 | 39,29 |
| $W_{lt}$      | 2,50      | 2,50  | 2,50  |
| $W_{if}$      | 1,00      | 2,60  | 1,00  |
| $W_{gcpw}$    | 35,75     | 35,75 | -     |
| $L_s$         | 80,00     | 80,00 | 80,00 |
| $L_p$         | 33,91     | 34,63 | 34,84 |
| $L_{lt}$      | 26,31     | 24,50 | 25,17 |
| $L_{if}$      | 7,92      | 7,61  | 7,60  |
| $L_{gcpw}$    | 6,00      | 6,00  | -     |
| $h$           | 1,36      | 1,24  | 1,72  |

FONTE: Adaptado de [7].

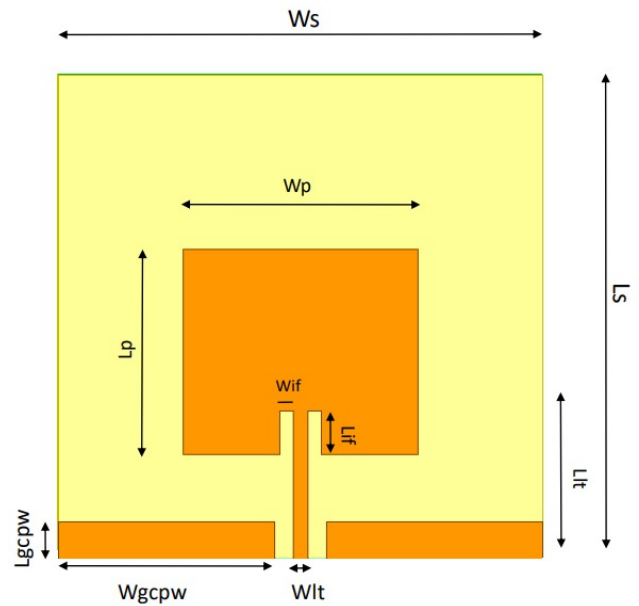


Fig. 1. Geometria das antenas de microfita com diferentes substratos têxteis. FONTE: Adaptado de [7].

### B. Simulações e Medições

O processo de simulação e medição foi feito em duas etapas, sendo a primeira etapa a simulação e medição das três antenas ainda retas, sem nenhuma curvatura. Já na segunda etapa, as antenas foram simuladas e medidas utilizando como base de raio de curvatura um cano PVC de 100 milímetros de diâmetro, para estabelecer uma curvatura padrão para todas as antenas. O cilindro utilizado foi escolhido com base na espessura média de um braço humano, visando à futura aplicação dessas antenas na tecnologia WBAN.

As simulações das antenas foram realizadas no software Ansys HFSS 2019, onde foram obtidos parâmetros de operação como: coeficiente de reflexão, largura de banda, ganho e diagrama de radiação. Na etapa de medições das antenas construídas utilizou-se o equipamento LiteVNA 64 e o software NanoVNA-App, como ilustra a Figura 2, para exibição de seus resultados de coeficiente de reflexão e largura de banda.

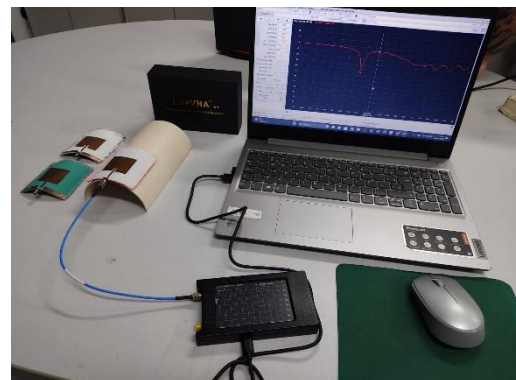


Fig. 2. Setup utilizado para medições das antenas.

As antenas construídas e o cilindro são apresentados na Figura 3 para uma melhor visualização da estrutura dessas antenas após a curvatura. Os detalhes da construção dessas antenas podem ser vistos em [4].



Fig. 3. Cilindro de PVC e antenas utilizadas para medições.

### III. RESULTADOS E ANÁLISE

#### A. Frequência de ressonância, coeficiente de reflexão e largura de banda

As Figuras 4 e 5, apresentam os gráficos das três antenas numa superfície plana, tanto suas simulações como as medições

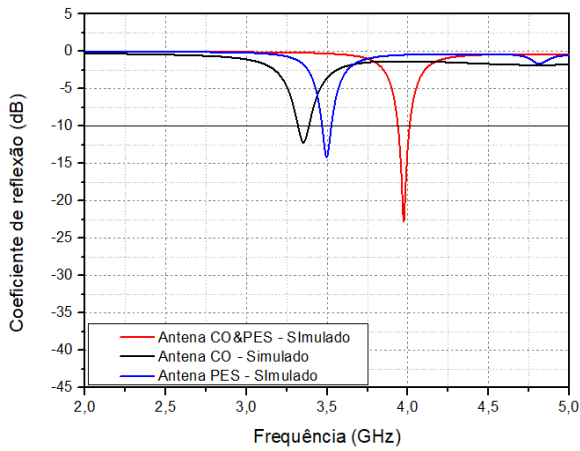


Fig. 6. Gráfico das simulações das antenas planas.

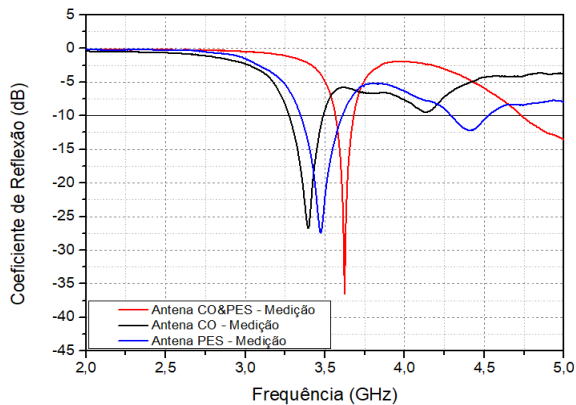


Fig. 7. Gráfico das medições das antenas planas.

É perceptível que a maior diferença entre a simulação e medição ocorreu no coeficiente de reflexão, onde as antenas medidas apresentaram um coeficiente menor que suas respectivas simulações. Isso pode ser justificado devido à imprecisão das dimensões reais das antenas testadas, tendo em vista a técnica de construção artesanal. Contudo, as antenas medidas ressoaram dentro da faixa de frequência para aplicação proposta, que vai de 3,4 GHz a 3,8 GHz. A Figura 8 apresenta o gráfico das medições das antenas curvadas.

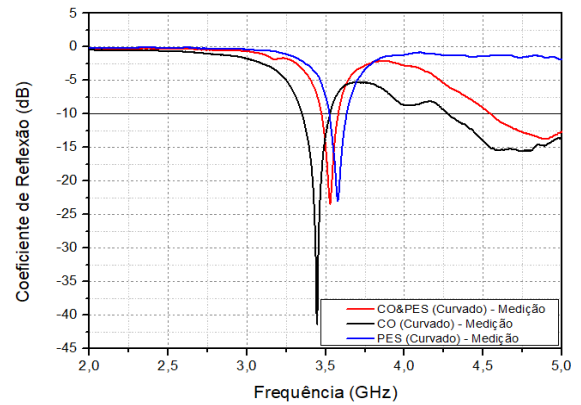


Fig. 8. Gráfico das medições das antenas curvadas.

Para uma melhor comparação dos parâmetros, como Frequência de Ressonância ( $f_r$ ), Coeficiente de Reflexão (S(1,1)) e Largura de Banda (BW), as Tabelas III e IV, apresentam de forma concisa os resultados para as antenas medidas de forma plana e curvada.

TABELA III. Parâmetros medidos das antenas planas.

|              | $f_r$ [GHz] | S(1,1) [dB] | BW [GHz] |
|--------------|-------------|-------------|----------|
| Antena CO    | 3,40        | -26,74      | 0,21     |
| Antena PES   | 3,47        | -27,45      | 0,26     |
| Antena COPES | 3,62        | -36,47      | 0,11     |

TABELA IV. Parâmetros medidos das antenas curvadas.

|              | $f_r$ [GHz] | S(1,1) [dB] | BW [GHz] |
|--------------|-------------|-------------|----------|
| Antena CO    | 3,44        | -41,37      | 0,18     |
| Antena PES   | 3,57        | -22,94      | 0,10     |
| Antena COPES | 3,53        | -23,43      | 0,10     |

A largura de banda foi menor em todos os casos nas antenas medidas, com destaque para antena de poliéster que apresentou uma diminuição de 61,5% em relação ao simulado. Essa discrepância pode ser atribuída a uma diminuição da espessura do substrato curvado quando comparado a dimensão quando a antena estava em sua forma plana.

Em relação da frequência de ressonância, não houve mudanças drásticas quando se compara as antenas curvadas e planas. Na antena de algodão (CO), houve um aumento de 0,04 GHz na  $f_r$  (sendo 1,17% o aumento em porcentagem) e na antena de poliéster (PES) de 0,10 GHz (2,88%). Entretanto, na antena de algodão e poliéster (COPEs), houve uma redução em sua frequência, que foi de 0,09 GHz (2,5%).

O S(1,1) na antena CO decaiu em -14,63 dB (54,71%), o que significa uma melhora da antena, neste parâmetro quando ela é submetida a uma curvatura. Entretanto, nas outras duas antenas, o S(1,1) foi elevado o dB, sendo uma elevação de 4,51 dB (16,43%), na antena PES, e 13,04 dB (35,76%) para a antena COPEs. Apesar da antena CO ter sofrido essa melhora no seu coeficiente de reflexão quando curvada, a antena PES que apresentou uma mudança mais suave, concluindo que possivelmente o substrato 100% poliéster (PES) possui uma estabilidade melhor em relação aos outros para aplicações em diferentes superfícies.

Na última coluna, o que apresenta a largura de banda, percebe-se que a antenas que sofreu uma maior mudança devido a mudança física, foi a antena de poliéster (PES), que teve uma redução de 0,16 MHz, de forma percentual, uma perda de 61,5%. A largura de banda da antena CO foi reduzida em 0,03 MHz (14,3%), já a antena COPEs, teve uma perda de apenas 0,01 MHz (9,1%). Logo, é concluído que quando a antena é submetida a uma curvatura, a largura de banda dela será estreitada, interferindo na quantidade de dados por vez que chega ou sai da antena.

**B. Diagrama de radiação**

Para o diagrama de radiação das antenas e seus ganhos (G) máximos, foram feitos apenas os experimentos simulados. As Figuras 6, 7 e 8 mostram o diagrama das antenas CO, PES e COPEs, respectivamente, sendo a imagem do lado esquerdo da antena plana e do lado direito a antena curvada

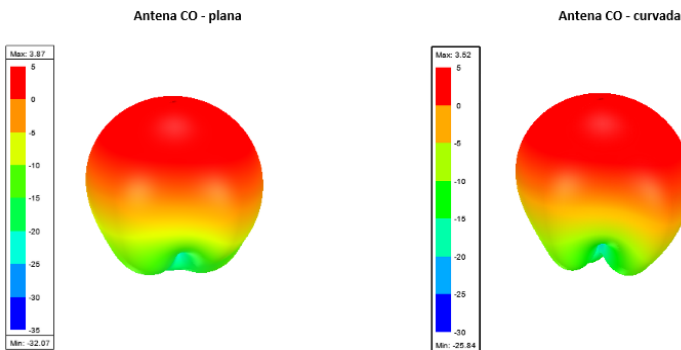


Fig. 9. Diagrama de radiação 3D da antena de algodão (CO) plana e curvada.

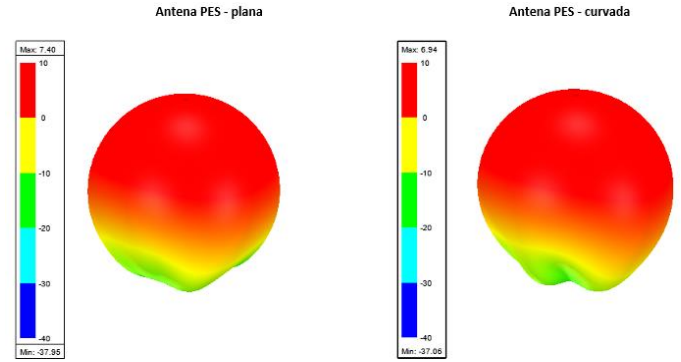


Fig. 10. Diagrama de radiação 3D da antena de poliéster (PES) plana e curvada

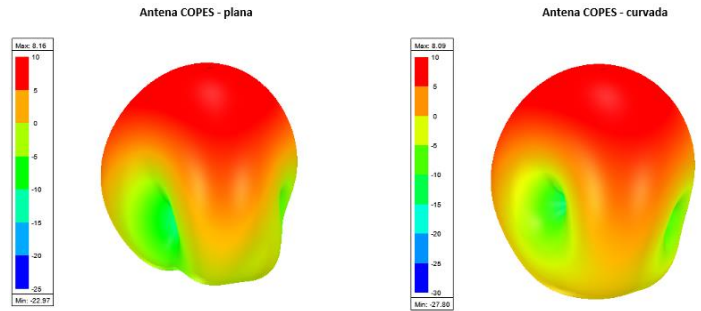


Fig. 11. Diagrama de radiação 3D da antena de algodão e poliéster (COPEs) plana e curvada.

Para uma melhor visualização dos dados dos ganhos máximos das antenas, as Tabelas VII e VIII apresentam os resultados dessas simulações.

TABELA VII. Ganho máximo das antenas planas simuladas.

|                    | Antena CO | Antena PES | Antena COPEs |
|--------------------|-----------|------------|--------------|
| <b>G máx. (dB)</b> | 3,87      | 7,40       | 8,16         |

TABELA VIII. Ganho máximo das antenas curvadas simuladas.

|                    | Antena CO | Antena PES | Antena COPEs |
|--------------------|-----------|------------|--------------|
| <b>G máx. (dB)</b> | 3,52      | 6,94       | 8,09         |

Em relação a comparação dos ganhos, a antena CO teve uma redução de 0,35 dB (9,05%) quando curvada, a mesma redução também acontecendo para a antena PES, que foi de 0,46 dB (6,22%), e para a antena COPEs, onde seu ganho foi reduzido em 0,07 dB (0,86%). É possível notar que a redução foi mais acentuada nas antenas que possuem o GCPW. Essa redução pode ser atribuída a uma possível dispersão do campo elétrico e aumento do efeito de franjamento nas proximidades do substrato devido a deformação atribuída pela curvatura das camadas que compõem o dispositivo (patch, GCPW, substrato e plano de terra).

É notório que todas as antenas sofreram reduções em seus ganhos quando curvadas, porém, não de forma significativa, tendo uma redução menor que 10% em relação ao seu ganho original.

#### IV. CONCLUSÃO

Até o momento que essa pesquisa está sendo feita, foi observado que a curvatura da antena muda seus parâmetros, mas não de forma prejudicial a ponto da antena se tornar inoperável, tornando possível sua aplicação em superfícies curvas na faixa de frequência da tecnologia 5G. Entre os parâmetros afetados pela curvatura, destaca-se a largura de banda, que em todos os casos sofreu uma diminuição quando comparada as antenas planas. Como pesquisas futuras para esta pesquisa estão a utilização destas antenas na tecnologia WBAN, como foi mencionado, e o estudo aprofundado sobre o SAR desses dispositivos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] POZAR, D. M. Microstrip antennas. *Proceedings of the IEEE*, v. 80, n. 1, p. 79–91, 1992.
- [2] M ALLI, S. et al. Design of compact microstrip patch antenna for WBAN applications at ISM 2.4 GHz. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, v. 15, n. 3, p. 1509, 1 set. 2019.
- [3] HONARBAKHSI, B. High-gain low-cost microstrip antennas and arrays based on FR4 epoxy. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, v. 75, p. 1–7, maio 2017.
- [4] WANG, C.; ZHANG, L.; WU, X. A wearable flexible microstrip antenna based on the floating-ground backplane. *International Journal of Rf and Microwave Computer-aided Engineering*, v. 31, n. 1, 16 nov. 2020.
- [5] QUEIROZ, S. K. S. S. et al. Estudo para aplicação na Tecnologia 5G em 3,5 GHz com arranjo de patch retangular e circular e inserção de EBG em antenas de microfita. *Anais do Encontro de Computação do Oeste Potiguar ECOP/UFERSA (ISSN 2526-7574)*, n. 4, 25 dez. 2020.
- [6] SHOAIB, N. et al. MIMO Antennas for Smart 5G Devices. *IEEE Access*, v. 6, p. 77014–77021, 2018.
- [7] HOLANDA, S. M. Estudo de metamaterial têxtil para aplicação em substrato de antenas planares para tecnologia WBAN. Tese de doutorado. PPGEEC / UFRN – Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/33969>. Acesso em: 10 jun. 2023.