



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

ANTÔNIO CARLOS DE CARVALHO RODRIGUES

**PROPOSTA DE UMA ANTENA *PATCH* ANELAR PARA APLICAÇÕES EM REDES
MÓVEIS (2,4 GHZ)**

**CAMPINA GRANDE - PB
2022**

ANTÔNIO CARLOS DE CARVALHO RODRIGUES

**PROPOSTA DE UMA ANTENA *PATCH* ANELAR PARA APLICAÇÕES EM REDES
MÓVEIS (2,4 GHZ)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título em bacharel em Computação.

Área de concentração : Telecomunicações

Orientador: Prof. Dr. Wellington Candeia de Araújo

CAMPINA GRANDE - PB

2022

ANTÔNIO CARLOS DE CARVALHO RODRIGUES

**PROPOSTA DE UMA ANTENA PATCH ANELAR PARA
APLICAÇÕES EM REDES MÓVEIS (2,4 GHz)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
em Ciência da Computação da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção
do título de Bacharel em Ciência da
Computação.

Aprovada em 01 de Abril de 2022.



Prof. Dr. Wellington Carneira de Araujo (DC - UEPB)
Orientador(a)



Prof. Me. Francisco Anderson Mariano da Silva (CCEA/UEPB)
Examinador(a)



Prof. Vinicius Reuteman Feitoza Alves de Andrade (CCEA/UEPB)
Examinador(a)

É expressamente proibido 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 do trabalho.

R696p Rodrigues, Antonio Carlos de Carvalho.
Proposta de uma antena patch anelar para aplicações em redes móveis (2,4 GHz) [manuscrito] / Antonio Carlos de Carvalho Rodrigues. - 2022.
21 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Computação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.
"Orientação : Prof. Dr. Wellington Candeia de Araújo, Departamento de Computação - CCT."

1. Antenas de microfitas. 2. Redes móveis. 3. Antena anelar. I. Título

21. ed. CDD 621.385

*“Foco é dizer não.”
(Steve Jobs)*

PROPOSTA DE UMA ANTENA *PATCH* ANELAR PARA APLICAÇÕES EM REDES MÓVEIS (2,4 GHz)

Antônio Carlos de Carvalho Rodrigues*

RESUMO

Essa pesquisa teve como objetivo analisar, projetar e desenvolver uma antena *patch* de microfita, de tamanho reduzido, baixo custo, de fácil fabricação. Na qual, foi estabelecido em forma anelar para uma frequência de ressonância de 2,4 GHz. Nesta frequência, o padrão IEEE 802.11 define como uma tecnologia de redes locais sem-fio *WLAN* (*Wireless Local Area*), onde existem várias aplicações, como por exemplo, o *WI-FI* e *Bluetooth*. Esse tipo de rede tem como algumas de suas características: Baixo custo dos dispositivos, facilidade de utilização e boas taxas de transmissão em distâncias curta. A antena de microfita foi projetada via *software* que faz o uso do *Finite Element Method* (*FEM*). A antena proposta tem como estrutura um substrato dielétrico de fibra de vidro com permissividade elétrica de 4,4 e uma espessura de 0,782 mm sobre uma placa FR4 de fibra de vidro cobreada. O método de análise adotado foi o *TLM* (*Transmission Line Model*) que apesar de ser simples, mas produz resultados bastante relevantes. Por se tratar de um método aproximado, ele apresenta algumas simplificações nos mecanismos de radiação da antena, porém ele é preciso até determinada frequência. Os resultados obtidos demonstram uma antena funcional para os parâmetros de perda de retorno e eficiência. Além disso, consegue operar numa frequência de 2,4 GHz de acordo com o padrão IEEE 802.11.

Palavras-Chave: Antenas de microfita, Antena Anelar, Redes móveis.

1

¹ *Aluno de Graduação de Ciência da Computação na Universidade Estadual da Paraíba.
Email: antonio.rodrigues.0058@gmail.com

PROPOSAL FOR A RING PATCH ANTENNA FOR MOBILE NETWORK APPLICATIONS (2.4 GHz)

ABSTRACT

This research aimed to analyze, design and develop a microstrip antenna, of reduced size, low cost, easy to manufacture. In which, it was set in a ring shape for a resonant frequency of 2.4 GHz. In this frequency, the IEEE 802.11 standard defines WLAN (Wireless Local Area) as a wireless local area network technology, where there are several applications, such as WI-FI and Bluetooth. This type of network has as some of its characteristics: Low device cost, ease of use and good transmission rates over short distances. The microstrip antenna was designed via software that makes use of the Finite Element Method (FEM). The proposed antenna has as its structure a fiberglass dielectric substrate with electrical permittivity of 4.4 and a thickness of 0.782 mm on a copper-plated fiberglass FR4 plate. The analysis method adopted was the TLM (Transmission Line Model) which, despite being simple, produces very relevant results. As it is an approximate method, it presents some simplifications in the antenna radiation mechanisms, but it is accurate up to a certain frequency. The results obtained demonstrate a functional antenna for the parameters of return loss and efficiency. In addition, it can operate at a frequency of 2.4 GHz according to the IEEE 802.11 standard.

Keywords: Microstrip antennas, Ring Antenna, Mobile networks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Antena de microfita com patch retangular | 11 |
| Figura 2 – Formas geométricas mais comuns de <i>patches</i> de microfita | 12 |
| Figura 3 – Antena <i>patch</i> anelar de microfita proposta | 15 |
| Figura 4 – Resultados da perda de retorno da antena proposta | 16 |
| Figura 5 – Ilustração da radiação 2D | 17 |
| Figura 6 – Ganho 3D | 18 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Materiais dielétricos mais utilizados e suas características | 13 |
|---|----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|-----------------------------------|
| WLAN | Wireless Local Area |
| FEM | Finite Element Method |
| TLM | Transmission Line Model |
| MEF | Método dos Elementos Finitos |
| MoM | Método dos momentos |
| ISM | Industrial Scientific and Medical |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1 | Antenas de microfita | 11 |
| 2.2 | Vantagens e limitações | 13 |
| 3 | ESTRUTURA DA ANTENA PATCH ANELAR PROPOSTA | 14 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 16 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 19 |
| | REFERÊNCIAS | 20 |

1 INTRODUÇÃO

As aplicações em telecomunicações vem avançando consideravelmente, cada vez mais, especialmente em sistemas de ondas. Assim sendo, são utilizadas em diversos aparelhos que utilizam redes de comunicação sem fio. Tendo como exemplo: *smartphones*, *smart tv*, *notebooks*, lâmpadas, geolocalizadores, serviços de *streaming* e entre outros (BALANIS, 2012).

A comunicação móvel multi bandas que são implementadas atualmente, precisam de amplas faixas de frequências e eficiência para cobrir a necessidade de antenas cada vez menores, reduzindo o volume nos dispositivos. Além disso, como resultado as antenas devem ser reconfiguráveis em frequência, para que com o auxílio de métodos possam estabelecer uma banda instantaneamente, com isso possibilitando mais eficiência (SAARINEN *et al.*, 2019).

As antenas sempre ocuparam um espaço grandioso no segmento das telecomunicações. Elas são um meio para irradiar ou receber ondas de rádio. Geralmente, são dispositivos metálicos (com uma haste ou fio). Aplicações de antenas de microfita, são várias, e encontradas em diversos sistemas de micro-ondas. As antenas de microfita se caracterizam por terem dimensões pequenas e por serem utilizadas em aplicações de alta frequência (BALANIS, 2015).

À vista disso, essa pesquisa teve como objetivo analisar, projetar e desenvolver uma antena *patch* anelar para a frequência de ressonância de 2,45GHz. Na qual, podem ser executadas diversas aplicações. De modo que, durante a análise dos requisitos proposto para a antena foi definido a frequência, a espessura do substrato e a constante dielétrica de permissividade. A partir disso, foi calculada, projetada e simulada a antena através do *software* para a análise e teste dos resultados obtidos.

Esta pesquisa está organizada com a seguinte configuração: a seção 2 descreve a fundamentação teórica com as abordagens referentes as antenas de microfita. Incluindo técnicas, conceitos e trabalhos correlatos. Na seção 3 são explanadas todas as metodologias aplicadas na pesquisa. A seção 4 mostra os resultados experimentais, sobretudo, as características da antena desenvolvida. A seção 5, a última, desenvolve as conclusões e considerações finais do trabalho.

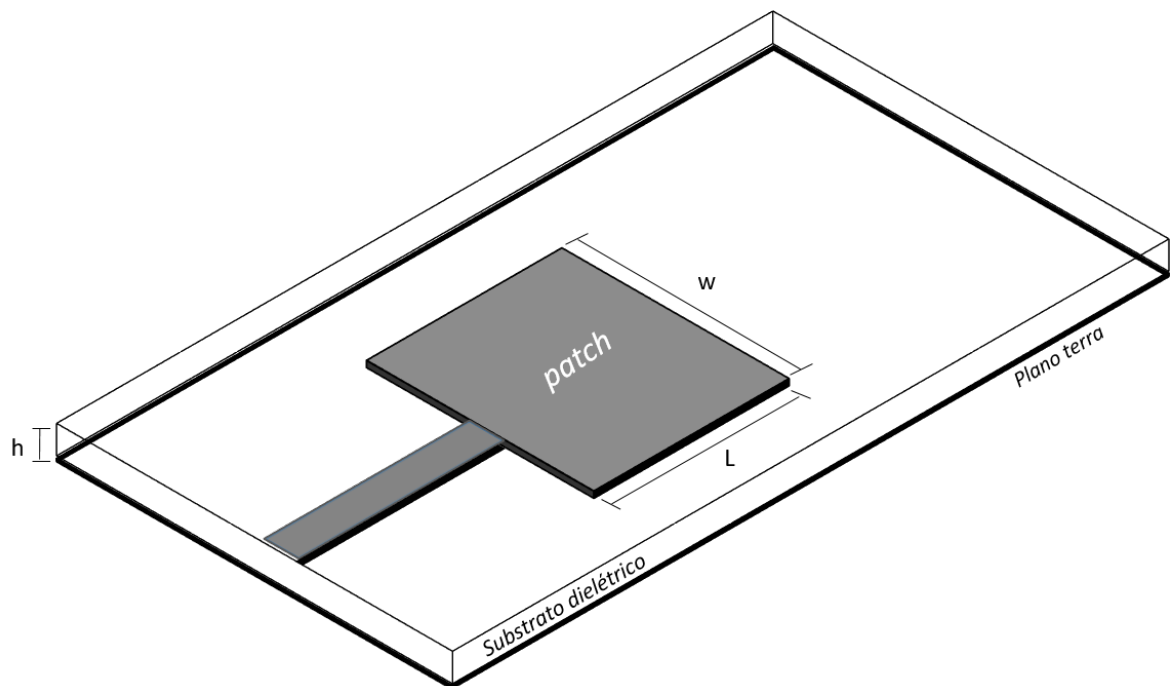
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Antenas de microfita

As antenas são dispositivos geralmente metálicos, na qual, são usadas para transmitir e receber ondas eletromagnéticas. Contudo, são projetadas para acentuar a radiação em algumas frequências e suprimir em outras. Senão existissem as antenas, a onda chegaria ao final da linha de transmissão e sofreria reflexão total. A antena de microfita foi proposta pela primeira vez por Deschamps em 1953 e uma patente de Gutton e Baissinot 1955. Contudo, a partir da década de 1970 tiveram grande destaque após a pesquisa de Munson 1973 (DESCHAMPS, 1953; GUTTON; BAISSINOT, 1955; MUNSON, 1973).

A antena de microfita é composta basicamente por um condutor irradiante ou *patch* e duas placas paralelas, uma de substrato dielétrico e um plano terra em outra extremidade, como é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Antena de microfita com patch retangular



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para a construção de uma antena de microfita são necessários alguns conhecimentos básicos sobre sua estrutura. Dessa forma, as antenas de microfita consistem em uma fita metálica (plaqueta ou *patch*) de uma espessura muito menor que o comprimento de onda no espaço livre (λ_0), posicionado sobre um substrato dielétrico a uma distância ($0,003\lambda_0 \leq h \leq 0,05\lambda_0$) acima de um plano terra (BALANIS, 2015). Desta

maneira, para conseguir encontrar a altura do substrato, necessita calcular primeiro o comprimento de onda, que é dado pela fórmula 2.1:

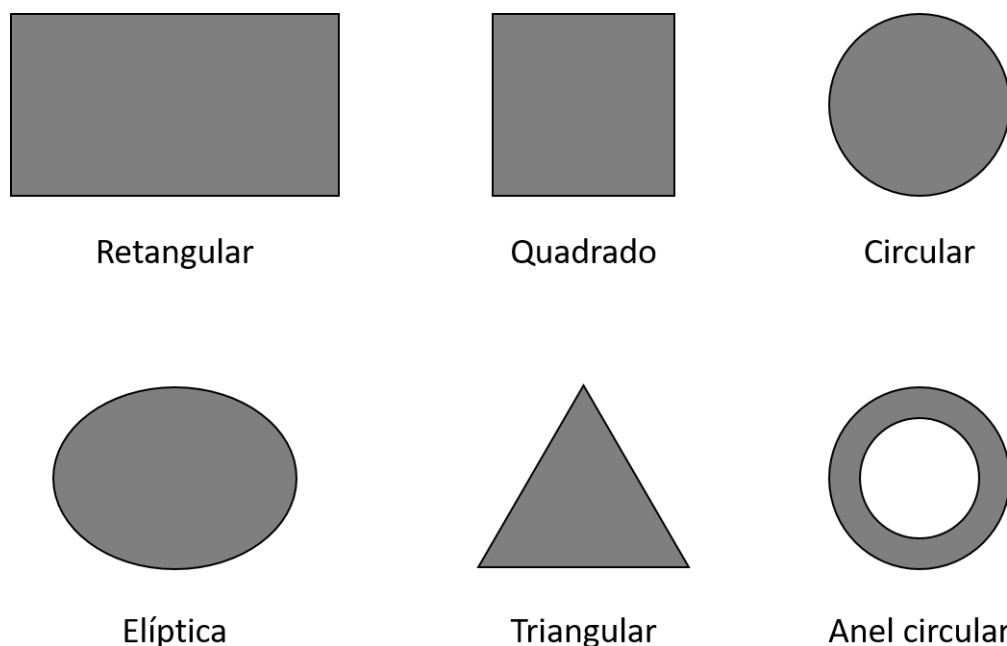
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

Onde,

- λ – Comprimento de onda;
- c – Velocidade da luz (3×10^{11});
- f – Frequência de ressonância de operação.

As antenas de microfita consistem em um patch metálico em um substrato aterrado. E que, por sua vez, podem ter diversas configurações. O *patch*, elemento irradiador, é capaz de assumir diversas formas geométricas como quadrada, circular, elíptica, triangular, entre outras (BALANIS, 2015). Algumas das principais formas que o *patch* pode assumir são demonstradas na Figura 2:

Figura 2 – Formas geométricas mais comuns de *patches* de microfita



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O elemento radiador, geralmente, é feito de cobre. No *patch* também pode ser utilizado ouro para sua construção, porém, na maioria das vezes ele é feito de cobre por causa da acessibilidade e pelo baixo custo (SILVA, 2008).

No que se refere ao substrato dielétrico é indispensável que tenha uma baixa tangente de perdas (Quanto menor a tangente de perdas, menores as perdas de potência à medida que a onda se propaga), para que a potência seja de fato radiada e

não consumida como forma de calor pelo substrato. Existem vários materiais dielétricos que podem ser usados para o projeto de antenas de microfita, normalmente, a constante dielétrica varia entre $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Os substratos mais comuns são: FR4 (fibra de vidro + resina de epóxi), Alumina (Cerâmica, óxido de alumínio) e Teflon. A Tabela 1 apresenta alguns dos substratos com suas constantes dielétricas e suas tangentes de perdas:

Tabela 1 – Materiais dielétricos mais utilizados e suas características

| MATERIAIS | CONSTANTE DIELÉTRICA (ϵ_r) | TANGENTE DE PERDAS ($\tan\delta$) |
|-----------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Alumina | 9,2 | 0,008 |
| Duróide | 2,2 | 0,0009 |
| Ferrite | 12 | 0 |
| FR4 | 4,4 | 0,02 |
| Teflon | 2,1 | 0,001 |

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

2.2 Vantagens e limitações

As antenas de microfita têm diversas vantagens em comparação com as antenas micro-ondas convencionais e, por isso, muitas aplicações cobrem uma ampla faixa de frequência (GARG *et al.*, 2001; KUMAR; RAY, 2003). Algumas das vantagens são:

- Baixo custo de fabricação;
- Diversidade de formas;
- Tamanho e peso reduzidos;
- Fácil integração com diversos dispositivos;
- Podem usar multibanda (duas ou três faixas de frequências);
- Versatilidade de polarização.

Por outro lado, pode-se destacar algumas limitações em relação as antenas micro-ondas convencionais (GARG *et al.*, 2001; KUMAR; RAY, 2003). Algumas das desvantagens são:

- Largura de banda estreita;
- Baixa eficiência e ganho de radiação;
- Irradiação em apenas um hemisfério;
- Possibilidade de excitação por ondas de superfície.

3 ESTRUTURA DA ANTENA PATCH ANELAR PROPOSTA

Para projetar a antena *patch* anelar precisa, primeiramente, especificar a **Constante dielétrica** (ϵ_r), que nesse projeto foi utilizado um substrato dielétrico FR-4 (fibra de vidro) com permissividade elétrica (ϵ_r) de 4,4. Outro ponto importante é a **Espessura do substrato** (h) que foi especificada como 0,782 mm. E a **Frequência de ressonância** (F_r) como 2,4 GHz. Esses foram os três parâmetros pelos quais, foi projetado a antena proposta.

Contudo, a alimentação da antena projetada é feita por uma linha de microfita com as seguintes dimensões: Comprimento (L) 8 mm e Largura (W) 2,46 mm e Altura (H) 0,782. Ambos foram obtidos de forma empírica. Para que a antena funcione de maneira funcional, para isso o comprimento do *patch* deve ser inferior $\lambda_g/2$. Para encontrar o comprimento de onda guiada, necessita usar a seguinte fórmula 3.1:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{rf}}} \quad (3.1)$$

Onde,

- λ_g – Comprimento de onda no meio dielétrico;
- λ_0 – Comprimento de onda no espaço livre;
- ϵ_{rf} – Constante dielétrica efetiva.

Após isso, é necessário determinar o **raio** (a) do *patch*. Para definir o valor do raio (a) que permite ter uma boa eficiência de radiação, é usado a fórmula 3.2:

$$a = \frac{F}{\left\{ 1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F [\ln(\frac{\pi F}{2h}) + 1,17726]} \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (3.2)$$

Onde,

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.3)$$

Para definir as dimensões do **Comprimento** (L) e da **Largura** (W) do plano terra com base na literatura (BALANIS, 2015). O cálculo é dado através das fórmulas 3.4 e 3.5:

$$L = 6h + a \quad (3.4)$$

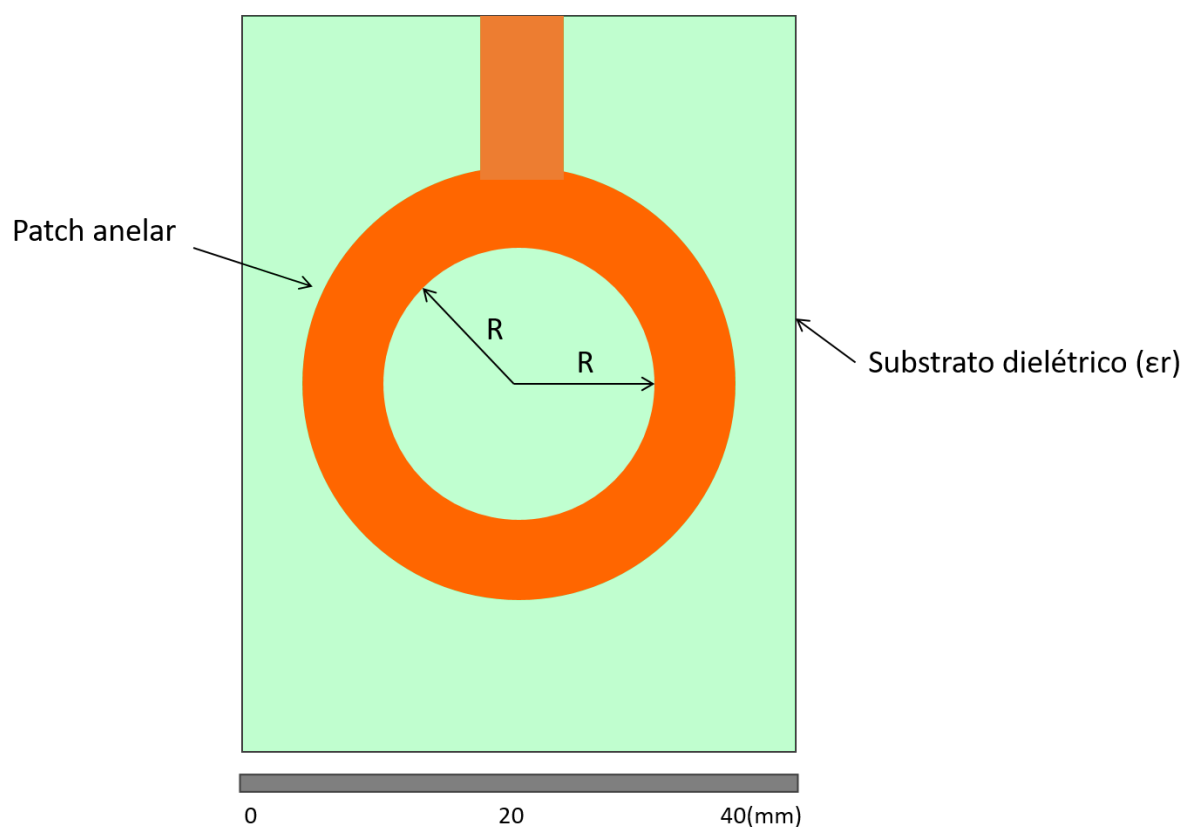
$$W = 6h + a \quad (3.5)$$

Para a criação de um projeto bem elaborado é necessário também o auxílio de programas de simulação que resolvem as equações de Maxwell, que utilizam o Método

dos Elementos Finitos (MEF) ou Método dos Momentos (MoM). A simulação dessa antena de microfita foi feita em um programa que faz o uso do Método dos Elementos Finitos. Através do programa pode-se, avaliar alguns parâmetros eletromagnéticos importantes da antena, como por exemplo: Ganho, diretividade, largura de banda, perda de retorno e entre outros.

A Figura 3 ilustra a antena *patch* anelar proposta nesta pesquisa. Na qual, foi simulada via *software*. Ela é baseada em uma antena circular, em que foi retirado uma parte do interior *patch* com o intuito de oferecer informações relevantes sobre desempenho de frequência, parâmetros e restrições típicas do projeto.

Figura 3 – Antena *patch* anelar de microfita proposta



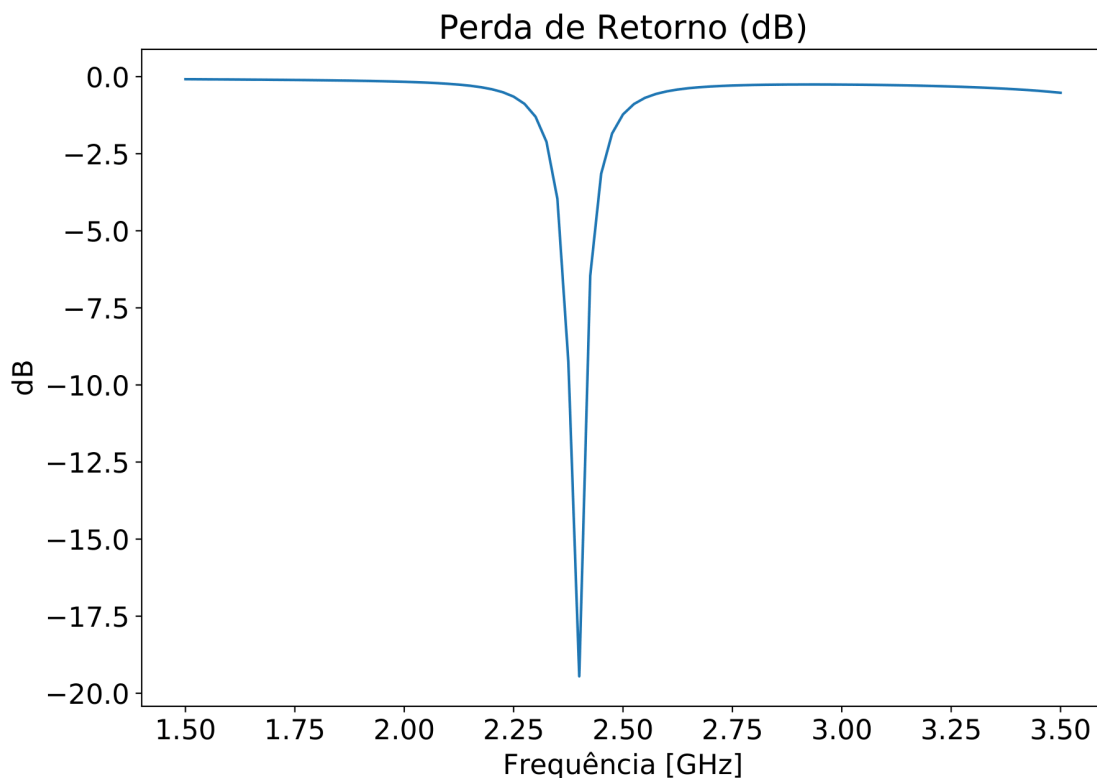
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo da pesquisa, na construção da antena anelar são dois círculos um maior e outro menor, a medida que, aumentava o raio do círculo menor, diminuía a frequência de operação da antena. E o inverso também foi constatado, conforme ia diminuindo o raio do círculo maior, aumentava a frequência de ressonância da antena.

A Figura 4 demonstra a perda de retorno da antena em relação a frequência de ressonância. Como a frequência adotada foi 2,40 GHz, nota-se que a antena está atuando com uma baixa perda de retorno (<-10 dB), para uma antena quanto menor a perda de retorno, melhor é para a antena. Para o funcionamento de uma antena é recomendado que tenha uma perda de retorno abaixo de -10 dB, isso significa que a antena vai ter pelo menos 10% de reflexão da potência.

Figura 4 – Resultados da perda de retorno da antena proposta

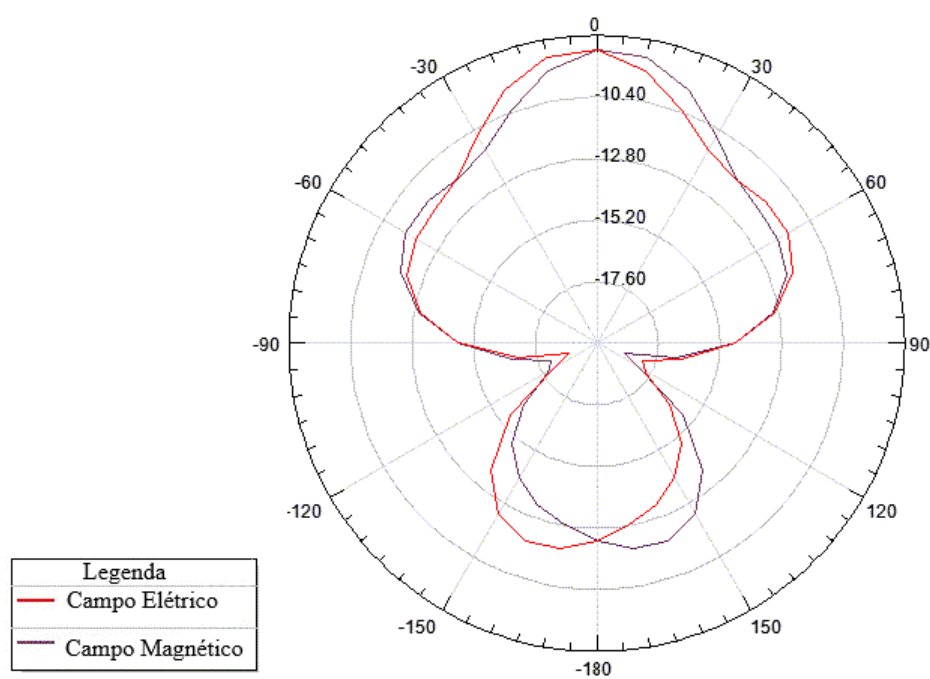


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ao analisarmos a Figura 4, é notório que a antena projetada atingiu cerca de 19,45 dB na frequência de 2,40 GHz, mostrando-se assim que é adequada para a aplicação em redes móveis. E, admitindo-se a perda de retorno de pelo menos (<-10 dB), traz uma faixa útil de banda de 40 MHz. Apesar de ter uma faixa de largura de banda estreita, pode-se transmitir muitas informações.

Através da Figura 5 pode-se observar o padrão de radiação da antena em um plano 2D. Bem como, o campo elétrico e magnético se comportam. Além disso, que a antena tem um ganho total máximo na direção perpendicular ao *patch*.

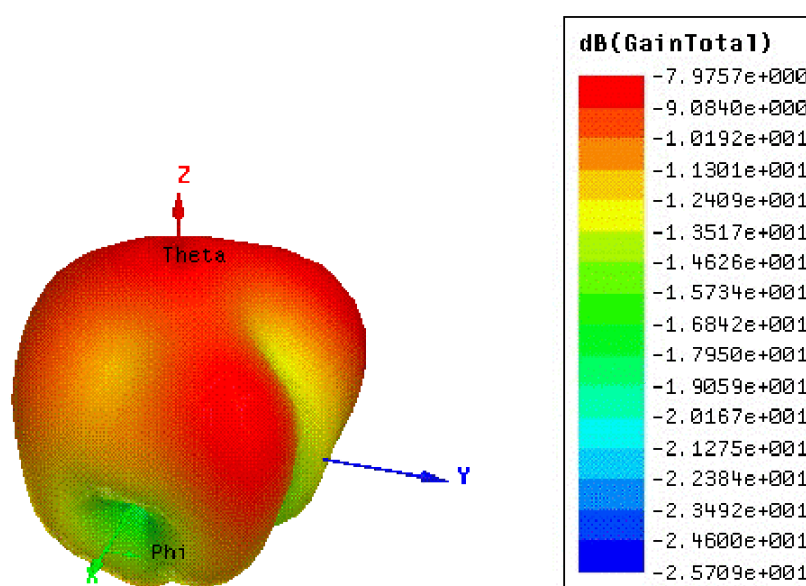
Figura 5 – Ilustração da radiação 2D



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A figura 6 apresenta o ganho máximo da antena que foi de 9 dB. As antenas de microfitas, geralmente, tem um ganho de 6 ou 7 dB. Portanto, a antena projetada encontra-se com uma modesta vantagem, ou seja, ela irradia maior potência. Pois, sistemas que estão operando na faixa de 2.400 a 2.483,5 MHz e exclusivamente em aplicações ponto-a-ponto podem fazer o uso de antenas com um ganho direcional superior a 6 dBi (ANATEL, 2017).

Figura 6 – Ganho 3D



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desta pesquisa é possível afirmar que a antena *patch* com sua geometria anelar pode, perfeitamente, operar numa frequência de 2,4 GHz de acordo com o padrão IEEE 802.11. Com base nisso, pode-se desenvolver diversas aplicações com essa geometria, inclusive, para faixas de frequência ISM (Industrial Scientific and Medical) para o desenvolvimento de aplicações industriais, científicas e médicas. Pois, o espectro de frequência de 2,4 GHz é de grande importância para o ramo das telecomunicações, pois é nele que operam aplicações como *Bluetooth* e *WI-FI*.

A antena projetada possui materiais de baixo custo e apresentou resultados interessantes como, por exemplo, a baixa perda de retorno de -19,45 dB, uma largura de banda de 40 MHz e um ganho de 9 dB. Portanto, ao construir essa antena, tem grande potencial de desempenhar-se bem ao radiar o sinal recebido.

As maiores dificuldades desse trabalho estão associadas ao processo de simulação da antena, as dimensões da antena são extremamente pequenas, às vezes, um erro ao inserir um valor já muda totalmente o funcionamento da antena. Por isso, as propriedades com a frequência e perda de retorno são profundamente relevantes e podem sofrer com essas alterações no processo de construção da antena.

Como trabalho futuro, pretende-se construir a antena projetada, com a finalidade de poder comparar os valores da antena construída com a antena projetada para corroborar o projeto proposto. Podendo assim, aperfeiçoar ainda mais a antena e impulsionar novas pesquisas sobre antenas de microfita com a geometria anelar.

REFERÊNCIAS

- ANATEL. **Agência Nacional de Telecomunicações**. 2017. Disponível em: <https://www.anatel.gov.br>. Nenhuma citação no texto.
- BALANIS, C. A. **Antenna theory: analysis and design**. [S.l.]: John wiley & sons, 2012. Nenhuma citação no texto.
- BALANIS, C. A. **Antenna theory: analysis and design**. [S.l.]: John wiley & sons, 2015. Nenhuma citação no texto.
- DESCHAMPS, G. A. Microstrip microwave antennas. In: **Proceedings of the Third Symposium on the USAF Antenna Research and Development Program, Oct.** [S.l.: s.n.], 1953. p. 18–22. Nenhuma citação no texto.
- GARG, R. *et al.* **Microstrip antenna design handbook**. [S.l.]: Artech house, 2001. Nenhuma citação no texto.
- GUTTON, H.; BAISSINOT, G. Flat aerial for ultra high frequency. **Patente Francesa**, n. 703113, 1955. Nenhuma citação no texto.
- KUMAR, G.; RAY, K. P. **Broadband microstrip antennas**. [S.l.]: Artech house, 2003. Nenhuma citação no texto.
- MUNSON, R. Microstrip phased array antennas. In: IEEE. **1973 EIC 11th Electrical Insulation Conference**. [S.l.], 1973. p. 281–283. Nenhuma citação no texto.
- SAARINEN, T. O. *et al.* Combinatory feeding method for mobile applications. **IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters**, 2019. Nenhuma citação no texto.
- SILVA, M. R. d. **Novas configurações de monopólios planares quase-fractais para sistemas de comunicações móveis**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008. Nenhuma citação no texto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde, força e determinação para enfrentar as dificuldades encontradas ao longo dessa jornada.

Agradeço a minha avó Maria Rodrigues, guerreira, exemplo de pessoa, que sempre apoiou-me, incentivou nas horas mais difíceis e que fez tudo para ver-me feliz.

Ao meu avô Antônio Martinho, homem de caráter, batalhador, que apesar de todas as dificuldades sempre fortaleceu-me e ajudou-me.

Ao meu pai Luis Carlos, por ensinar-me o caminho da vida, homem trabalhador e que me ajudou dando coragem para enfrentar as batalhas da vida.

E a minha mãe Gardênia (in memoriam), embora fisicamente ausente, sentia sua presença ao meu lado, dando-me força para continuar.

Ao meu padrinho Antônio Rodrigues e minha madrinha Maria dos Remédios que sempre foram uma grande base de apoio, sempre me aconselhando e direcionando-me para o caminho certo.

Ao meu professor orientador, Wellington Candeia, pela oportunidade de desenvolver esse trabalho com suas orientações. Agradeço pela confiança, pelas dicas e instruções que foram essenciais para a realização desta pesquisa.

A todos os familiares e amigos, que sempre torceram por mim e me ajudaram nessa caminhada, em especial Glécia Carvalho, Galdêncio Carvalho, Luan Lima, Luis Fernando, Ayrton Carvalho, Luis Paulo, Lincoln Kevin, Plínio, Nelson, Guilherme França e Rogers.