



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDRÉ LUIZ DA SILVA ARANHA

**PRIMEIRAS MEDIÇÕES EM ANTENAS EM MICROFITA REALIZADAS NO
CAMPUS DE TUCURUÍ UFPA**

TUCURUÍ
2024

ANDRÉ LUIZ DA SILVA ARANHA

**PRIMEIRAS MEDIÇÕES EM ANTENAS EM MICROFITA REALIZADAS NO
CAMPUS DE TUCURUÍ UFPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Dra. Andrécia Pereira da Costa

Coorientador(a): Dr. Alfrêdo Gomes Neto

TUCURUÍ

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

A662p Aranha, Andre Luiz da Silva.
Primeiras Medições em Antenas em Microfita Realizadas no
Campus de Tucuruí UFPA / Andre Luiz da Silva Aranha. — 2024.
26 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Andrécia Pereira da Costa
Coorientador(a): Prof. Dr. Alfrêdo Gomes Neto
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de
Engenharia Elétrica, Tucuruí, 2024.

1. Antena. 2. baixo custo. 3. LiteVNA-64. 4. Microfita. 5.
Tucuruí. I. Título.

CDD 621.384135

ANDRÉ LUIZ DA SILVA ARANHA


**PRIMEIRAS MEDIÇÕES EM ANTENAS EM MICROFITA REALIZADAS NO CAMPUS DE
TUCURUÍ UFPA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data de aprovação: 20/08/2024


Conceito: Excelente

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **ANDRECIA PEREIRA DA COSTA**
Data: 20/08/2024 17:50:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Orientador (a)

Dra. Andrécia Pereira da Costa – UFPA

Documento assinado digitalmente
 **ALFREDO GOMES NETO**
Data: 21/08/2024 14:35:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Coorientador (a)

Dr. Alfrêdo Gomes Neto – IFPB

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE FELIPE SOUZA DA CRUZ**
Data: 21/08/2024 15:05:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador (a) interno


Dr. André Felipe Souza da Cruz – UFPA

Documento assinado digitalmente
 **JULIETE DA SILVA SOUZA**
Data: 21/08/2024 08:43:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador (a) externo

Ma. Juliete da Silva Souza – UFCG

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
---	--

TÍTULO DO TRABALHO PRIMEIRAS MEDIÇÕES EM ANTENAS EM MICROFITA REALIZADAS NO CAMPUS DE TUCURUÍ UFPA


DISCENTE ANDRÉ LUIZ DA SILVA ARANHA	MATRÍCULA 201833940018
---	----------------------------------


BANCA EXAMINADORA	CONDIÇÃO
1. Profa. Dra. Andrécia Pereira da Costa – UFPA	Orientador
2. Prof. Dr. Alfrêdo Gomes Neto – IFPB	Coorientador
3. Prof. Dr. André Felipe Souza da Cruz – UFPA	Membro interno
4. Profa. Ma. Juliete da Silva Souza – UFCG	Membro externo

Data da Defesa: 20/08/2024	Hora Início: 14:30h	Hora do Término: 15:50h
-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------

Critérios	Nota dos Avaliadores			
	1	2	3	4
Trabalho Escrito (0 a 10 pontos por critério)				
Formatação	8,0	8,0	7,5	7,0
Linguagem (gramática e semântica)	8,8	8,0	8,5	8,0
Conteúdo técnico	9,8	9,7	9,25	9,0
Defesa Oral (0 a 10 pontos por critério)	1	2	3	4
Seqüência lógica de apresentação	10	10	10	9,5
Administração do tempo	10	10	10	10
Expressão oral	10	9,5	10	9,5
Domínio do tema	10	9,0	9,0	9,5
Média por avaliador	9,51	9,17	9,18	8,93
Média Final	9,20			
Conceito Final	EXCELENTE			


Tucuruí-Pará, 20/08/2024


Documento assinado digitalmente
 **ANDRECIA PEREIRA DA COSTA**
Data: 20/08/2024 17:35:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **ALFREDO GOMES NETO**
Data: 21/08/2024 14:35:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador

Coorientador

Documento assinado digitalmente
 **ANDRE FELIPE SOUZA DA CRUZ**
Data: 21/08/2024 15:05:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **JULIETE DA SILVA SOUZA**
Data: 21/08/2024 08:42:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro

Membro

Dedico este trabalho aos meus familiares, minha namorada e amigos pelo suporte financeiro e emocional durante minha trajetória de formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, Socorro e Aluízio, e a minha namorada Jessica, por todo amor, apoio e incentivo incondicional. Sem vocês, este sonho jamais teria sido possível. Vocês sempre acreditaram em mim, e isso me deu a força necessária para seguir em frente.

Agradeço à minha orientadora, Andrécia Costa, pela oportunidade de fazer parte do projeto de pesquisa, pela orientação precisa, paciência e apoio incondicional. Sua expertise e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também pelos momentos de incentivo e pelas valiosas sugestões que enriqueceram significativamente a pesquisa.

Em especial, gostaria de agradecer ao meu coorientador, Alfrêdo Gomes, por sua inestimável contribuição ao longo deste processo. Agradeço por compartilhar seu conhecimento de maneira tão generosa e por todas as sugestões valiosas que enriqueceram significativamente este trabalho de conclusão de curso.

Aos professores do curso de Engenharia Elétrica do Campus Universitário de Tucuruí, agradeço pelas aulas inspiradoras e pelo conhecimento compartilhado ao longo dos últimos anos. As discussões em sala de aula e os debates acadêmicos foram essenciais para o meu crescimento intelectual e pessoal.

Não posso deixar de agradecer aos meus colegas de classe Matheus Gama e Cascio Batista, pelo companheirismo e pelas trocas de experiência. As amizades e os momentos compartilhados foram imprescindíveis para minha jornada acadêmica.

A conclusão deste trabalho é um marco importante na minha vida acadêmica e pessoal. Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este Trabalho de Conclusão de Curso se tornasse realidade.

Muito obrigado!

“O futuro pertence àqueles que acreditam na
beleza dos seus sonhos.” (Eleanor Roosevelt)

RESUMO

Neste trabalho, é apresentado um artigo científico intitulado “Primeiras Medições em Antenas em Microfita Realizadas no Campus de Tucuruí UFPA”, desenvolvido durante o período de maio a outubro de 2023, obtido com resultados a partir da execução de um Projeto de Pesquisa de Iniciação Científica (PIBIC), sob orientação dos professores Andrécia Pereira da Costa e Alfrêdo Gomes Neto, o referido artigo foi apresentado na XIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança (ENCOM) realizado no Instituto Federal do Pará (IFPA) na cidade de Belém/PA. Foram projetadas três antenas em microfita, em cenários distintos: antena do tipo *patch* retangular convencional sem fenda, antena com uma fenda e antena com duas fendas no elemento irradiante, a última capaz de cobrir as faixas de frequências 3,51 GHz/3,46 GHz, 3,51 GHz/3,44 GHz e 3,48 GHz/3,41 GHz, 4,77 GHz/4,73 GHz com valores do $S_{11} \leq -10$ dB, simulado/medido, respectivamente. As antenas foram impressas em um substrato de fibra de vidro FR4 de baixo custo com dimensões $40 \times 40 \times 1,5$ mm³, permissividade relativa de 4,4 e tangente de perdas 0,02, alimentadas por linha de microfita com impedância de entrada de 50 Ω . Realizou-se a caracterização numérica através do *software* da Ansys Electronics Desktop (HFSS) versão estudante, e em seguida, a antena foi fabricada utilizando o processo de corrosão com solução percloro de ferro e posteriormente, caracterizada experimentalmente mediante uso do analisador de redes vetorial portátil de baixo custo, LiteVNA-64, ambas caracterizações na faixa de frequência de 2,0 a 5,0 GHz. Os resultados numéricos e experimentais apresentam uma boa concordância, indicando potencial para aplicações nos sistemas de comunicações.

Palavras-chave: Antena em microfita, baixo custo, FR4, LiteVNA-64.

ABSTRACT

This work presents a scientific article entitled “First Measurements of Microstrip Antennas Conducted at the Tucuruí UFPA Campus,” developed between May and October 2023, with results obtained from the execution of a Scientific Initiation Research Project (PIBIC), under the guidance of professors Andrécia Pereira da Costa and Alfrêdo Gomes Neto. The article was presented at the XIII National Conference on Communications, Networks, and Security (ENCOM), held at the Federal Institute of Pará (IFPA) in the city of Belém/PA. Three microstrip antennas were designed in different scenarios: a conventional rectangular patch antenna without slots, an antenna with one slot, and an antenna with two slots in the radiating element. The latter was capable of covering the frequency bands 3.51 GHz/3.46 GHz, 3.51 GHz/3.44 GHz, 3.48 GHz/3.41 GHz, and 4.77 GHz/4.73 GHz, with simulated/measured S11 values ≤ -10 dB, respectively. The antennas were printed on a low-cost FR4 fiberglass substrate with dimensions of $40 \times 40 \times 1.5$ mm³, a relative permittivity of 4.4, and a loss tangent of 0.02, and were fed by a microstrip line with an input impedance of 50 Ω . The numerical characterization was performed using the student version of the Ansys Electronics Desktop (HFSS) software. Then, the antenna was fabricated using the etching process with ferric chloride solution and subsequently characterized experimentally using the low-cost portable vector network analyzer, LiteVNA-64, with both characterizations in the frequency range from 2.0 to 5.0 GHz. The numerical and experimental results showed good agreement, indicating potential for applications in communication systems.

Keywords: Microstrip antenna, low cost, FR4, LiteVNA-64.

SUMÁRIO

1.	TEXTO DE APRESENTAÇÃO	12
2.	PRIMEIRAS MEDIÇÕES EM ANTENAS EM MICROFITA REALIZADAS NO CAMPUS DE TUCURUÍ UFPA	20
3.	DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO EMITIDA PELOS DEMAIS AUTORES DO TRABALHO INCORPORADO	23

1. TEXTO DE APRESENTAÇÃO

Os sistemas de comunicação estão se tornando cada vez mais sofisticados, desempenhando um papel crucial no desenvolvimento da sociedade. Nos últimos anos, esses sistemas se tornaram ainda mais populares devido à rápida evolução das tecnologias, passando da primeira geração (1G) para a quinta geração (5G) de comunicação sem fio. Dentre as diversas aplicações, destacam-se as bandas ISM (Industrial, Científico e Médico), utilizadas nas frequências de 900 MHz, 2,4 GHz e 5 GHz, que são amplamente empregadas em redes *Wi-Fi*, *WLAN*, *Bluetooth* e *WPAN* (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Além disso, a tecnologia 5G, que opera nas faixas de 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz, também é um exemplo significativo dessa evolução (OLIVEIRA, 2018).

Para iniciar os projetos desses dispositivos, é fundamental realizar cálculos matemáticos baseados em seus parâmetros físicos e elétricos estudados na teoria. Outra etapa crucial é a simulação numérica da estrutura projetada. Com o avanço da tecnologia, diversos métodos computacionais foram adotados, proporcionando soluções mais precisas e permitindo uma análise numérica mais segura. Entre esses métodos, destacam-se o Método dos Momentos (*MoM – Method of Moments*) (GIBSON, 2008), o Método dos Elementos Finitos (*FEM – Finite-Element Method*) (SADIKU, 2001), e o Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (*FDTD – Finite Difference Time Domain*) (VOLASKIS *et al.*, 1998), entre outros.

Alguns autores utilizam o *software CST Studio Suite* para a solução de antenas em 3D (COSTA *et al.*, 2020; COSTA, 2021). Além disso, são frequentemente empregados o HFSS da *ANSYS Electronics Desktop* para soluções em 3D e o *Ansoft Designer* para resultados em 2D (COSTA, 2016; GOMES NETO *et al.*, 2016; MOURA *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Equipamentos específicos também são necessários para realizar medições em dispositivos miniaturizados (BARTON *et al.*, 2014). Esse processo é continuamente realizado em laboratórios de pesquisa em todo o mundo.

Em processos de medição em sistemas de telecomunicação é comum utilizar os conceitos da teoria de circuitos para descrever aproximadamente o comportamento dos dispositivos (DRIVER, 2022). Entre as ferramentas utilizadas para essa finalidade, destaca-se o Analisador de Rede Vetorial (VNA). Este instrumento é capaz de medir a resposta em frequência de um componente ou de uma rede composta por vários componentes, que podem ser tanto passivos quanto ativos (ZHANG, 2015).

A utilização do VNA é essencial para garantir que os componentes funcionarão

corretamente em sistemas de micro-ondas, permitindo a verificação da correspondência de impedância entre o componente testado e o restante do sistema. A precisão das medições é garantida por um processo de calibração rigoroso, que envolve a medição de padrões conhecidos para corrigir matematicamente erros sistemáticos no instrumento (COPPER MOUNTAIN TECHNOLOGIES, 2024).

Pode ser observado na figura 1, uma medição de uma antena com duas portas de alimentações, usando um VNA modelo ZVB 20, da *Rohde & Schwarz* (10 MHz a 20 GHz – do Laboratório de Antenas e Sensores (LASen) da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.

Figura 1 – *Setup* de medição de antenas em microfita: antena medida com duas portas de alimentações



Fonte: COSTA, (2021)

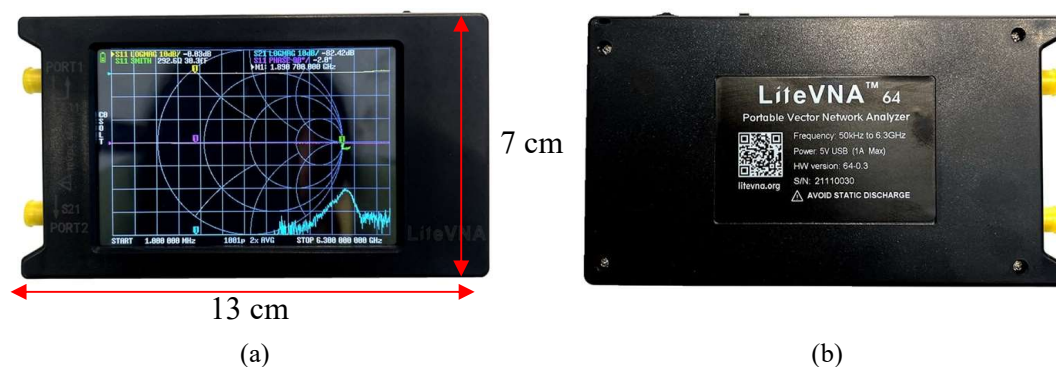
É percebido que na figura 1 que os VNAs (Analisadores de Rede Vetorial) desses modelos são bastante robustos fisicamente, o que pode dificultar seu transporte para alguns ambientes de medição. Além disso, seu alto custo, que pode variar de dezenas a centenas de milhares de dólares, limita o acesso a esses equipamentos para muitos pesquisadores (YOU et al., 2017). Esses VNAs são vendidos por vários fabricantes, como *Keysight Technologies* (anteriormente *Agilent Technologies*), *Anritsu*, *Rohde & Schwarz* e *Advantest* (YOU et al., 2017).

Melhorias nesses instrumentos de medição têm sido essenciais para centros de pesquisa, especialmente para laboratórios de graduação. Permitindo que os estudantes participem ativamente no desenvolvimento de seus trabalhos de conclusão de curso, utilizando o conhecimento teórico e prático adquirido. Com acesso contínuo a esses equipamentos, os alunos podem realizar medições em diversos ambientes, até mesmo em casa. Trazendo vários

benefícios, como a capacidade de ajustar rapidamente os projetos desde o início até sua conclusão. Além disso, permite que os alunos obtenham mais resultados experimentais e ampliem o que aprendem em sala de aula, promovendo uma melhor formação profissional (YOU, 2017; VERHAEVERT; VAN TORRE, 2017).

Nos últimos anos, surgiram VNAs de baixo custo (menos de mil reais), em versões compactas e portáteis, que são adequadas para uso em campo. Embora não tenham todas as funcionalidades dos modelos mais caros e robustos, esses VNAs oferecem várias das mesmas funções dos equipamentos de bancada. A figura 2 (a) e (b), mostra um modelo portátil de VNA utilizado na pesquisa, e a tabela 1 apresenta diferentes tipos de VNAs baseados em PCs portáteis.

Figura 2 - Modelo LiteVNA-64: (a) vista superior; (b) vista inferior



Fonte: AliExpress, (2022); Pandian; Chinnadurai, (2019)

Tabela 1 – Lista de VNAs baseados em PC portátil de baixo custo

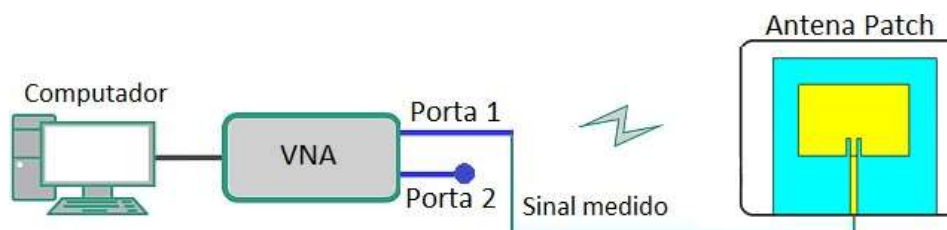
Modelo	Frequência	Ano
6000	0,2 – 120MHz	2005
DG8SAQ	1kHz – 1GHz	2008
VNA2180	5kHz – 180GHz	2011
Mini VNA Tiny	1MHz – 3GHz	2014
Pocket VNA	0,5MHz – 4GHz	2016
VNA Module	50 MHz – 1 GHz	2018
LiteVNA-64	50KHz – 6,3GHz	2021-2022

Fonte: YOU, (2017); VERHAEVERT, VAN TORRE, (2017); ALIEXPRESS, (2022)

O *LiteVNA* pode ser integrado ao computador, permitindo a realização de medições de alguns parâmetros de antenas, filtros, sensores, entre outros. Ele está disponível na versão *LiteVNA 4"*, acompanhado de cabos e conectores SMA para a calibração do equipamento. É

apresentado na figura 3 o setup de medição utilizando o VNA portátil. Para isso, pode-se utilizar um computador ou notebook conectado ao VNA, o que permite visualizar os resultados na tela do display do VNA; em seguida, esses resultados podem ser enviados diretamente para o computador. Neste exemplo, foi utilizada uma antena *patch* em microfita, que está conectada a uma das portas do VNA, possibilitando a medição do sinal da antena.

Figura 3 – Modelo de setup utilizando um VNA portátil

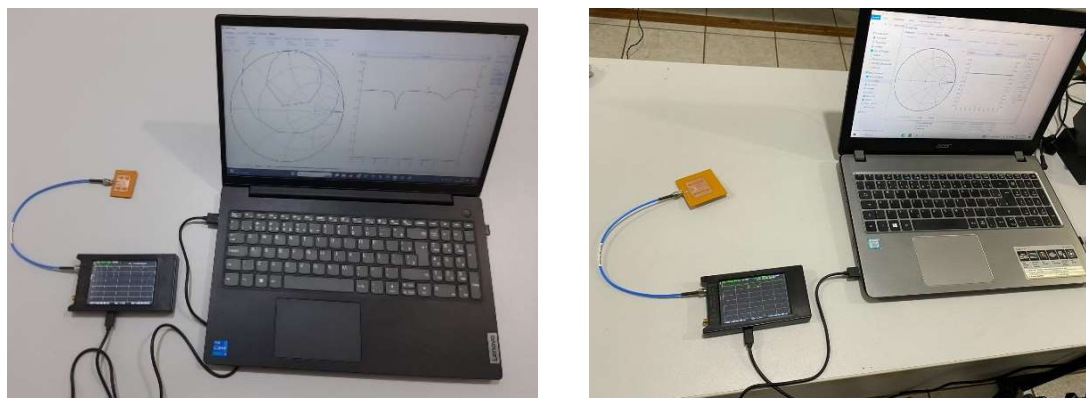


Fonte: TEMCOM ELECTRONIC, (2022)

Com o aperfeiçoamento desses equipamentos, alguns grupos de pesquisas estão realizando experimentos com os VNAs portátil e estão obtendo resultados satisfatórios, comparando-os com VNA de grande porte. É mostrado na figura 4 dois *setups* de medição realizado pelo LEMAG/UFPA, tendo sido utilizado para esses exemplos uma antena de microfita, ligado ao VNA e em seguida os resultados foram medidos e visualizados do display do VNA. O parâmetro S_{11} e VSWR são ilustrados nas figuras 5 e 6.

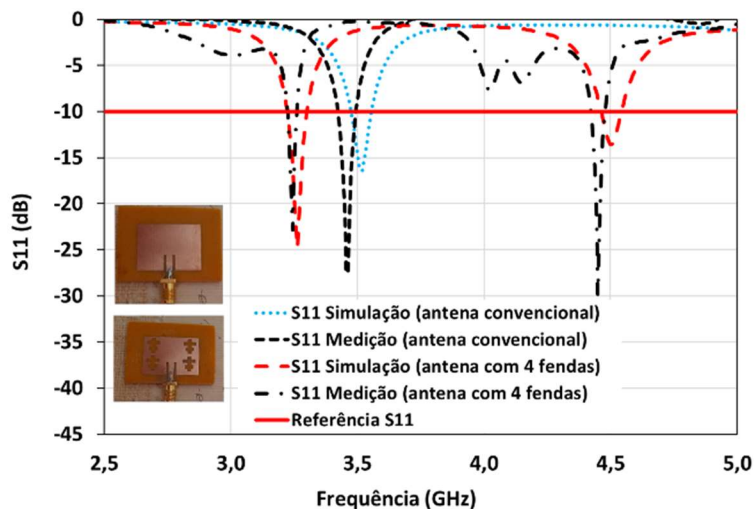
Logo, é percebido a partir desses resultados que a utilização dos VNAs portáteis vem se tornando alternativas para as medições de sinais desde a faixa de RF até micro-ondas, possibilitando obter resultados satisfatórios, além do mais por ser um equipamento que apresenta características de baixo custo, fácil de manusear, fáceis de realocar, até mesmo utilizar em casa, sem ser necessário ir até o laboratório para realizar os experimentos.

Figura 4 - Modelo de *setups* utilizando um LiteVNA-64 portátil



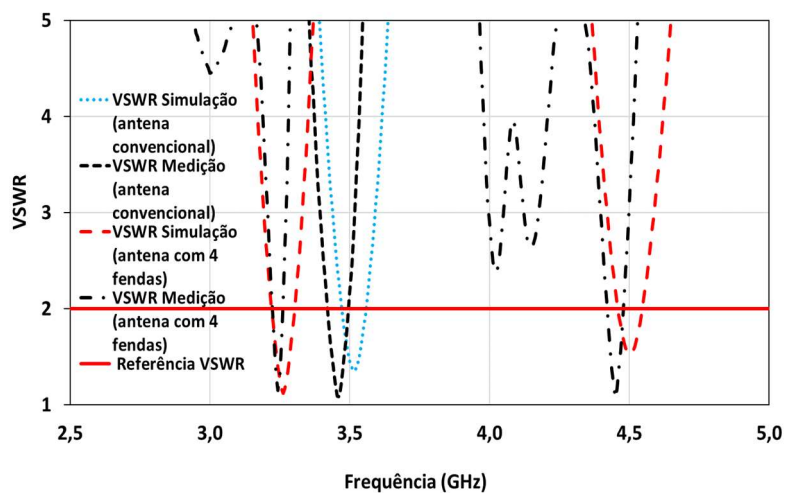
Fonte: ARANHA et. al, (2024); COSTA, (2023)

Figura 5 - Comparação da simulação e medição do parâmetro S11 de uma antena *patch* retangular sem fenda e com quatro fendas



Fonte: ARANHA et. al. (2024)

Figura 6 - Comparação da simulação do VSWR de uma antena *patch* retangular sem fenda e com quatro fendas



Fonte: ARANHA et. al. (2024)

Portanto, o artigo disponível na Seção 2 foi apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica como parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Essa integração foi viabilizada por uma estratégia de flexibilização estabelecida pela instrução normativa nº 05/2023 – PROEG/UFPA, que é regulamentada pela resolução nº01/2024 - FEE, visando cumprir os requisitos da componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso. A utilização deste trabalho foi autorizada pelos demais coautores e coordenadores do artigo original, conforme descrito na autorização devidamente assinada e disponível na Seção 3.

REFERÊNCIAS

ALIEXPRESS. Disponível em:
https://pt.aliexpress.com/item/1005003551867442.html?gatewayAdapt=glo2bra&ug_edm_item_id=1005003551867442&edm_click_module=item_detail&tracelog=rowan&rowan_id1=aug_edm_19479_1_pt_BR_2022-02. Acesso em: 02 abr. 2022.

ARANHA, A. L. S; COSTA, A. P; GOMES NETO, A; FERREIRA. J. C. A. Primeiras Medições em Antenas em Microfita Realizadas no Campus Tucuruí UFPA, 2023 *XIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da informação* (ENCOM 2023), p. 93–94, 2023.

ARANHA, A. L. S; COSTA, A. P; CRUZ, A. F. S; GALVÃO, J. M. Caracterização experimental de uma antena em microfita utilizando o LiteVNA-64, 2024 *16^a Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo (CBMAG)*, p. 121–124, 2024.

BALANIS, A. C. **Teoria de Antenas: Análise e Síntese**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.

BARTON, J. H. et al. **All-dielectric Frequency Selective Surface for High Power Microwaves, Antennas and Propagation**, IEEE Transactions on, v. 62, n.7, p. 3652 –3656, 2014.

COPPER MOUNTAIN TECHNOLOGIES. *How Do You Use a VNA?* Disponível em:
<https://coppermountaintech.com>. Acesso em: 25 ago. 2024.

COSTA, A. P. **Implementação de uma Superfície Seletiva em Frequência Reconfigurável Baseada na Geometria Estrela de Quatro Braços**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2016.

COSTA, A. P, et al. YIG Matrix Based Multiband Magneto-Dielectric Cylindrical Resonator Antenna. **Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Application**, v. 2, p.548 – 358, 2021.

COSTA, A. P, et al. Dual-frequency magneto-dielectric resonator antenna based in a YIG matrix

with control of $HEM_{11\delta}$ and $TE_{01\delta}$ modes. **Microwave and Optical Technology Letters**, v. 63, n. 1, p.1–12, 2020.

COSTA, C. B. **Caracterização numérica e experimental de uma antena de microfita retangular com fendas baseada na geometria de halteres**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2023.

DRIVER, B. F. **Fundamentals of Vector Network Analysis Primer**. ROHDE&SCHWARZ. COMUMBIA. Disponível em: <https://www.signalintegrityjournal.com/ext/resources/Whitepapers-App-notes/Vector-Network-Analyzer-Fundamentals-Primer.pdf>. Acesso em 02 abr. 2022.

GIBSON, W. C. **The Method of Moments in Electromagnetics**, New York, USA: Chapman & Hall /CRC, 2008.

GOMES NETO, A, et al. Bandpass frequency selective surface using asymmetrical slot four arms star geometry. **Microwave and Optical Technology Letters**, v. 58, p. 1105-1109, 2016.

MOURA, L. C, et al, UWB cotton leaf design microstrip-fed printed monopole antenna, **2015 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)**, p. 1– 4, 2015.

OLIVEIRA, M.A, *et al.* Patch antenna bio-inspired on wayfaring-tree (*Viburnum lantana*) for applications in 2.4 GHz, **2017 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)**, p. 1–4, 2017.

OLIVEIRA, M. A, et al. Using polar transformation to design a dissimilar antenna array inspired on four-leaf clover, **2018 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS)**, p. 228–230, 2018.

SADIKU, M. N. O. **Elements of Electromagnetics**, 3 ed. Oxford University Press, 2001.

VERHAEVERT, J; P. VAN TORRE, P. A low-cost vector network analyzer: Design and realization, **Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC 2017)**, p. 1–5, 2017.

VOLASKIS, J. L; CHATTERJEE, A; KEMPEL, L. C. **Finite Element Method for Electromanetics, Antennas, Microwave Circuits, and Scattering Applications**, Florida, USA: Wiley-IEEE Press, 1998.

ZHANG. H, et al. Measurement and data acquisition techniques. Vctor Network Analyzer. **Journals & Books. In High Speed Digital Design**. v.1, 2015. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/vector-network-analyzer>>. Acesso em 02 abr. 2022.

YOU, K. Y. Low-Cost Vector Network Analyzer for Communication Devices Testing - Brief Review. **International Journal of Advances in Microwave Technology (IJAMT)**. v. 2, p.93 –97, 2017.

2. PRIMEIRAS MEDIÇÕES EM ANTENAS EM MICROFITA REALIZADAS NO CAMPUS DE TUCURUÍ UFPA

Na próxima página encontra-se o arquivo original do artigo científico intitulado “Primeiras Medições em Antenas em Microfita Realizadas no Campus de Tucuruí UFPA”, aceito na XIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança - ENCOM 2023, realizado em Belém/PA no ano de 2023.

Primeiras Medições em Antenas em Microfita Realizadas no Campus Tucuruí UFPA

André Luiz da Silva Aranha, Andrécia Pereira da Costa, Alfrêdo Gomes Neto e Júlio Cesar de Araújo Ferreira

II. METODOLOGIA

O projeto da antena é baseado no *patch* em microfita retangular convencional para operar na faixa de frequência de

Resumo— Este artigo apresenta os primeiros resultados obtidos no Campus Tucuruí, UFPA, para caracterização numérica e experimental de antenas em microfita. A importância desses resultados decorre do ineditismo das medições em micro-ondas realizadas no Campus Tucuruí. Foram projetadas três antenas em microfita, do tipo *patch* retangular, sendo uma convencional e duas com fendas no elemento irradiante, cobrindo as faixas de frequências 3,48 GHz/3,51 GHz e 4,77 GHz/4,73 GHz, simulado/medido, respectivamente. Utilizou-se o LiteVNA-64, um VNA portátil, de baixíssimo custo, para a caracterização experimental. Os resultados numéricos e experimentais apresentam uma boa concordância, confirmando a viabilidade da utilização do LiteVNA-64.

Palavras-chave—Antena, baixo custo, LiteVNA-64, microfita, Tucuruí.

I. INTRODUÇÃO

ATÉ bem pouco tempo, medições em micro-ondas só eram realizadas em grandes centros, utilizando laboratórios de custo elevado, inacessíveis para a maioria das instituições. Com a disponibilidade de analisadores de redes vetoriais, VNA (do inglês *Vector Network Analyzer*) de baixíssimo custo [1], [2], a realização de medições em micro-ondas, até 6,3 GHz, passou a ser acessível. O VNA é um instrumento que mede a resposta em frequência de um componente, ou de uma rede composta por vários componentes, podendo esses componentes serem passivos ou ativos [3]. O LiteVNA-64, apresenta um display e bateria para medição autônoma, sendo também possível a sua conexão a um computador. Por essa versatilidade e, principalmente, pelo baixíssimo custo, vem sendo bastante utilizado por pesquisadores e estudantes [4].

Neste artigo são apresentados os resultados para a caracterização de três antenas em microfita, do tipo *patch* retangular, sendo uma convencional e duas com fendas no elemento irradiante. Os resultados foram obtidos no Laboratório de Eletromagnetismo (LEMAG) do Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC) da Universidade Federal, do Pará (UFPA). Além da boa concordância entre os resultados simulados e medidos, destaque-se a importância da realização das medições no próprio Campus, um fato inédito e, até pouco tempo, inimaginável.

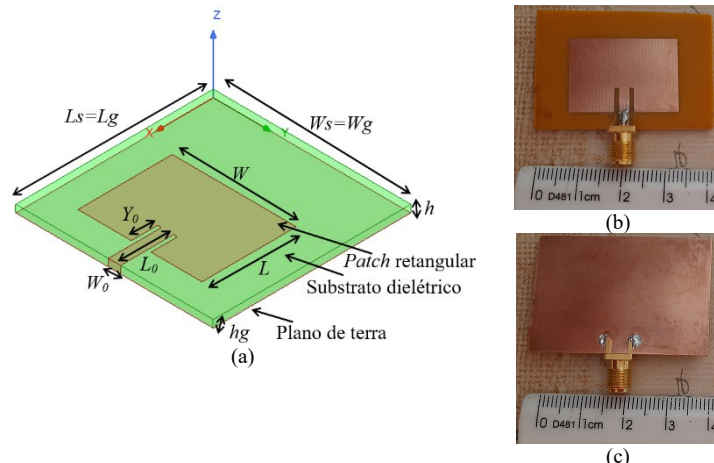


Fig. 1. Modelo da antena *patch* em microfita retangular convencional: vista isométrica (a), vista superior da antena fabricada (b), vista inferior (c).

TABELA I

DIMENSÕES DA ANTENA <i>PATCH</i> RETANGULAR EM MICROFITTA			
Parâmetros	Valor (mm)	Parâmetros	Valor (mm)
$W_s = L_s = W_g = L_g$	40	W	25,5
h	1,5	L	19,5
W_0	2,45	Y_0	6,55
hg	0,035	L_0	10,71

Para a caracterização numérica foi utilizado o *software* comercial *ANSYS Electronics Desktop (HFSS)*, [6]. O substrato dielétrico utilizado é o FR4, com espessura de 1,5 mm, constante dielétrica 4,4 e tangente de perdas 0,02. Uma linha de microfita de 50 Ω de impedância alimenta a antena. Para a fabricação dos protótipos foram utilizados adesivos de recorte colados no substrato FR4, impressos na *Plotter* de recorte do Laboratório de Fabricação (FABLAB) e um processo de corrosão com solução perclorato de ferro. Dessa forma, as antenas foram fabricadas e caracterizadas no próprio Campus Tucuruí. Os resultados experimentais foram caracterizados usando o LiteVNA-64 portátil, com operação na faixa de

Artigo enviado em 04 Julho, 2023.

André Luiz da Silva Aranha, Andrécia Pereira da Costa, (e-mail: andreciacosta@ufpa.br); Júlio Cesar de Araújo Ferreira, Faculdade de Engenharia Elétrica, UFPA, Tucuruí-PA.

Alfrêdo Gomes Neto, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Instituto Federal da Paraíba (IFPB), João Pessoa-PB.

50 kHz a 6,3 GHz. O *setup* de medição para verificar o comportamento do coeficiente de reflexão da antena é visto na Fig. 3.

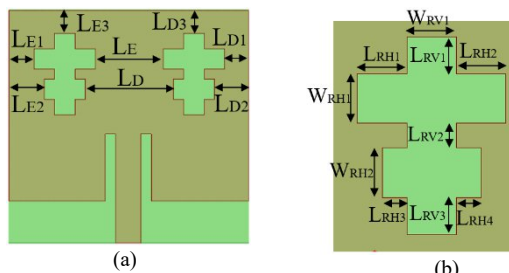


Fig. 2. Modelo da antena *patch* em microfita com fendas: vista superior da antena com 2 fendas (a), detalhes dos parâmetros da fenda (b).

TABELA II
DIMENSÕES DA FENDA

Parâmetros	Valor (mm)	Parâmetros	Valor (mm)
$W_{RV1} = W_{RH1} = W_{RH2} = L_{RH1} = L_{RH2}$	2	$L_{E3} = L_{D3}$	0,66
$L_{RH3} = L_{RH4} = L_{RV2}$	1	L_D	12,6
$L_{RV1} = L_{RV3} = L_{E1} = L_{D1}$	1,5	L_E	10,6
$L_{E2} = L_{D2}$	2,5		

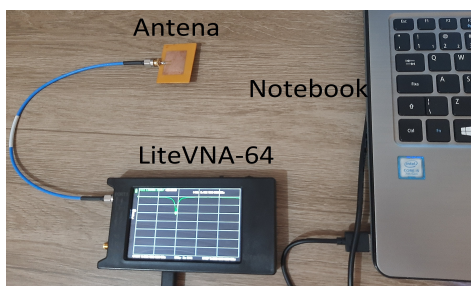


Fig. 3. *Setup* de medição.

III. RESULTADOS

Resultados simulados e medidos para o coeficiente de reflexão são apresentados nas Figs. 4 e 5. Para a faixa de frequência de operação, foi considerado o nível de -10 dB. A antena *patch* retangular convencional exibe uma frequência de ressonância simulada de 3,51 GHz, com largura de banda (BW) de aproximadamente 80 MHz, Fig. 4, valores próximos aos valores medidos, 3,46 GHz, 60 MHz, respectivamente. Com a inserção de uma fenda no elemento irradiante, canto superior direito, Fig 2(a), verificou-se que, na faixa de frequência considerada, não houve alteração significativa no comportamento da antena, apresentando uma frequência de ressonância de 3,51 GHz e uma largura de banda 70 MHz, valores próximos aos medidos que foram 3,44 GHz e 60 MHz, respectivamente.

Uma segunda fenda foi inserida no *patch* retangular, essa localizada no canto superior esquerdo, Fig. 2(a). Observa-se que a primeira ressonância permanece praticamente a mesma, com valor simulado de 3,48 GHz e medido de 3,41 GHz, e larguras de banda similares para simulação e medição de 50 MHz, Fig. 5. Entretanto, observa-se o surgimento de uma segunda frequência de ressonância, com valores simulado e medido de 4,77 GHz e 4,73 GHz, respectivamente. A BW apresentou valores simulado e medido de 50 MHz e 40 MHz,

respectivamente.

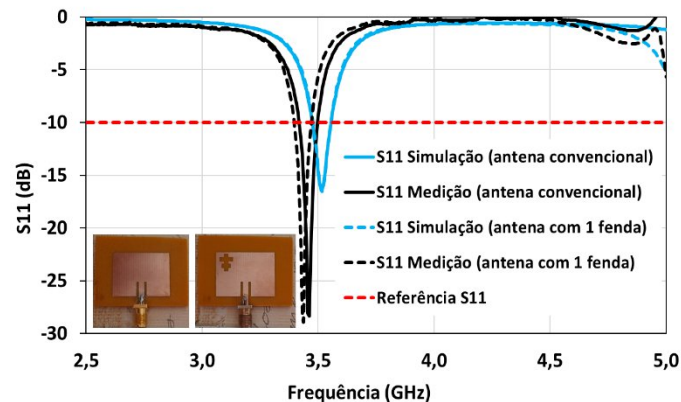


Fig. 4. Resposta em frequência para as antenas *patch* retangular convencional e com 1 fenda.

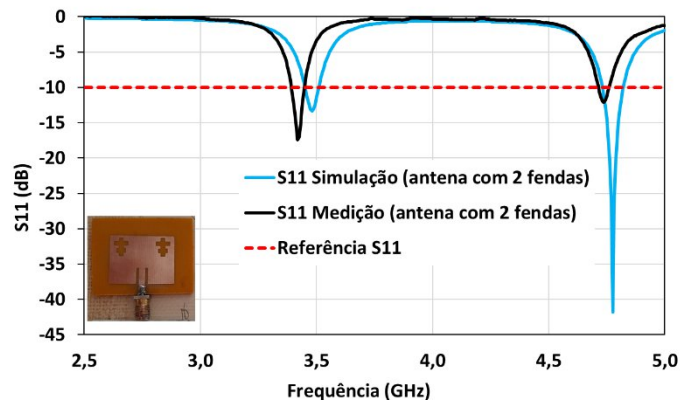


Fig. 5. Resposta em frequência para a antena *patch* retangular com 2 fendas.

IV. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentada a caracterização numérica e experimental de três antenas do tipo *patch* retangular em microfita, com e sem fendas no elemento irradiante. Empregou-se para obtenção dos resultados experimentais o LiteVNA-64, o qual possui forma compacta e baixíssimo custo, o que possibilitou a realização das medições no próprio Campus Tucuruí, o que foi uma realização inédita.

REFERÊNCIAS

- [1] A. P. Costa, A. Gomes Neto, R. S. Bayma, A. S. Aranha, A. N. A. Aragão, C. B. Silva, A. N. C. Aragão, J. M. Galvão. "Caracterização Experimental de Filtros e Antenas em Microfita Utilizando o LiteVNA," Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica (SBMO), Natal, Nov. 2022.
- [2] A. Gomes Neto, E. F. Silva, J. C. Silva, G. K. Nobrega, L. Monteiro, M. C. Patrício. "Medições em Micro-Ondas Usando Equipamentos de Baixíssimo Custo," Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica (SBMO), Natal, Nov. 2022.
- [3] H. Zhang, S. Krooswyk e J. Ou. "Measurement and Data Acquisition Techniques. Vector Network Analyzer." *Journals & Books. In High Speed Digital Design.* v.1, 2015.
- [4] K. Y. YOU, "Low-Cost Vector Network Analyzer for Communication Devices Testing - Brief Review," *International Journal of Advances in Microwave Technology (IJAMT).* v. 2, p.93 –97, 2017.
- [5] C. A. Balanis, *Teoria de Antenas: Análise e Síntese.* 3 ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.
- [6] www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss.

3. DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO EMITIDA PELOS DEMAIS AUTORES DO TRABALHO INCORPORADO

Na próxima página encontra-se a declaração de autorização dos autores da produção, que possibilita a utilização do artigo científico apresentado como parte integrante do trabalho escrito, para compor o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Declaração de Autorização

Tucuruí-PA, 26 de junho de 2024.

Ao colegiado da Faculdade de Engenharia Elétrica do CAMTUC/UFPA, e a quem possa interessar;

Eu, **ANDRÉ LUIZ DA SILVA ARANHA (201833940018)**, DECLARO ter sido autorizado por todos os discentes (autores), abaixo relacionados, incluindo o docente responsável (orientador), para a utilização do trabalho técnico-científico intitulado **Primeiras medições em antenas de microfita realizadas no campus de Tucuruí**, apresentado no **XIII Conferencia Nacional em Comunicação, Redes e Segurança da Informação**, realizado em **Belém**, no período de **27 de outubro à 29 de outubro de 2023**, como parte integrante do Trabalho Escrito, para cumprimento da componente curricular EL18060 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, segundo a RESOLUÇÃO Nº01/2023 - FEE/CAMTUC, que trata da flexibilização da atividade curricular de TCC por meio da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 01/2023 – PROEG/UFPA.

O(s) discente(s), também, declara(am) a ciência da **impossibilidade de reutilização** do trabalho técnico-científico mencionado por qualquer outro autor para a mesma finalidade. Esta declaração terá validade, se, e somente se, acompanhada das assinaturas de todos os autores listados abaixo.

Nada mais a declarar, agradeço a atenção e consideração.


André Luiz da Silva Aranha

NOME DO DISCENTE BENEFICIÁRIO

Relação dos discentes co-autores:

MATRÍCULA	NOME COMPLETO	ASSINATURA
201933940009	Júlio Cesar de Araujo Ferreira	

Docente responsável e orientador do trabalho técnico-científico:

MATRÍCULA	NOME COMPLETO	ASSINATURA
3272077	Andrécia Pereira da Costa	
273868	Alfrêdo Gomes Neto	<p>Documento assinado digitalmente</p>  <p>ALFREDO GOMES NETO Data: 27/06/2024 14:40:32-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br</p>

obs: Recomenda-se que as assinaturas de todos sejam realizadas via SIPAC.



Emitido em 26/06/2024

DECLARAÇÃO Nº 68/2024 - CTUCU (11.16)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 26/06/2024 14:01)

ANDRECIA PEREIRA DA COSTA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
CTUCU (11.16)
Matrícula: ###720#7

(Assinado digitalmente em 26/06/2024 14:12)

JULIO CESAR DE ARAUJO FERREIRA
DISCENTE
Matrícula: 2019#####9

(Assinado digitalmente em 26/06/2024 23:27)

ANDRE LUIZ DA SILVA ARANHA
DISCENTE
Matrícula: 2018#####8

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpa.br/documentos/> informando seu número:
68, ano: **2024**, tipo: **DECLARAÇÃO**, data de emissão: **26/06/2024** e o código de verificação: **9342b989ee**