

Radar com Antena Fabricada em Impressora 3D

Amanda Noronha Ramos, Andreia Ap. de Castro Alves, Danilo H. Spadoti e Arismar Cerqueira Sodré Junior

Resumo— Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma antena corneta piramidal de alto desempenho e baixo perfil fabricada em uma impressora 3D. Resultados experimentais validam a técnica de fabricação proposta com ganho de 13,11 dBi, largura de faixa de 49% centrada em 4 GHz e eficiência de radiação de 97%. A antena foi aplicada em um sistema de radar biestático, com a finalidade de detectar diversos alvos, incluindo pedestres, ciclistas, motociclistas e veículos. Os resultados da detecção cooperativa de um automóvel, com a antena proposta, demonstram um aumento de 172% no alcance, quando comparada com a antena corneta comercial convencional.

Palavras-Chave — Antenas, impressão 3D e radar.

Abstract— This work presents the development of a high-performance and low-profile pyramidal horn antenna, manufactured in a 3D printer. Experimental results validate the antenna fabrication approach, providing 13.11 dBi gain, a bandwidth of 49% centered at 4 GHz and 97% radiation efficiency. The antenna has been applied to a bistatic radar system, with the purpose of detecting diverse targets, including pedestrians, cyclists, motorcyclists and vehicles. The cooperative detection results of an automobile, using the proposed antenna, have demonstrated a 172% increase in the radar range, when compared to a commercial and conventional horn antenna.

Keywords — 3D printing, antennas and radar.

I. INTRODUÇÃO

A detecção, o rastreamento e a localização utilizando ondas eletromagnéticas, conhecida como RADAR (*Radio Detection And Ranging*), tem sido explorada desde a Segunda Guerra Mundial [1]. O radar é composto por uma ou mais antenas, um transmissor, um receptor e um processador [1]. O sistema é utilizado em diversas aplicações, tais como: navegação marítima, defesa aérea, aplicações espaciais, tecnologias militares, entre outros [2]. Destacam-se aplicações em áreas remotas para monitoramento de território ou fronteira, nas quais faz-se necessário o uso de radares portáteis e de instalações provisórias devido às condições geográficas. Tais aplicações, demandam antenas de baixo perfil e alto desempenho [3][4].

Uma nova metodologia de projeto de antenas leves e compactas é a fabricação em impressoras 3D [5][6]. Este artigo, relata o desenvolvimento de uma antena corneta piramidal fabricada em impressora 3D. O material utilizado na impressão foi o PLA (plástico de poliácido láctico), pintado com tinta condutiva. A antena foi aplicada em um sistema radar portátil.

II. FABRICAÇÃO DA ANTENA

A antena corneta piramidal foi escolhida por ter geometrias que favorecem a fabricação em impressoras 3D. A corneta é constituída de um guia de onda com dimensões transversais gradativamente aumentadas [7]. Tal procedimento suaviza a transição entre os meios de propagação, reduzindo reflexões e aumentando a diretividade.

O trabalho baseou-se em sete etapas: análise numérica, prototipagem, fabricação, pintura, processo de colagem, caracterização e aplicação em sistema radar. As dimensões iniciais da corneta foram calculadas para atender aos pré-requisitos de projeto: largura de faixa de 3,1 a 4,9 GHz e ganho de 10 dBi. Com o objetivo de otimizar o desempenho da antena, varreduras numéricas foram realizadas, utilizando o Método dos Elementos Finitos (FEM), no *software* ANSYS HFSS®. As dimensões finais da antena foram: $a = 58,17$ mm; $b = 29,08$ mm; abertura $a_1 = 160$ mm; abertura $b_1 = 69,08$ mm; dimensão do guia $L_{\text{guia}} = 90$ mm; distância da transição cabo coaxial-antena de 2,5cm do início do guia.

A segunda etapa baseou-se no uso de conhecimentos da área de engenharia de produtos para simplificar o processo de fabricação. A antena foi seccionada na seção longitudinal para facilitar a pintura interior. Posteriormente, utilizou-se o *software SolidWorks* como interface para o processo de impressão do respectivo CAD. A terceira etapa foi a fabricação da antena no laboratório de ideação FabLab do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações), de acordo com a metodologia proposta na Fig. 1. O processo foi realizado por uma impressora 3D *Cliever CL2 Pro+*, que utiliza o PLA ($\epsilon_r = 3$ e espessura = 2,5 mm) como material de impressão. Com as faces impressas (etapa 4), as duas metades da antena foram pintadas internamente utilizando a tinta condutiva “*Super Shield Silver coated copper conductive coating*”. Na quinta etapa, fixaram-se as faces da antena utilizando colas instantâneas com base de cianoacrilato. Adicionalmente, para eliminar os espaçamentos de ar entre as faces da antena, realizou-se um processo de soldagem de PLA. As etapas 6 e 7 foram a caracterização da antena e a aplicação no sistema radar, respectivamente.

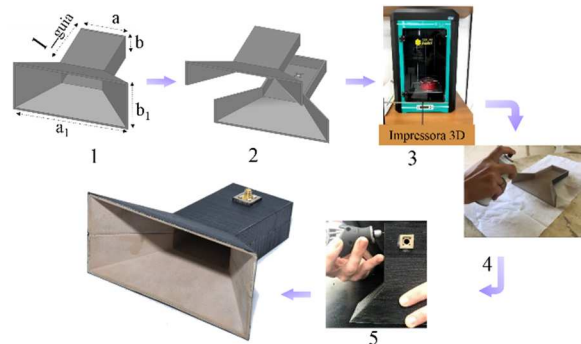


Fig.1. Fabricação da antena corneta utilizando impressão 3D.

III. CARACTERIZAÇÃO DA ANTENA

Utilizou-se um analisador de espectro *FieldFox N9952A Microwave Analyzer* para a caracterização dos parâmetros S da

A. N. Ramos¹, A. A. C. Alves², D. H. Spadoti² e Arismar Cerqueira S. Jr.¹,
¹Lab. WOCA, Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Santa Rita do Sapucaí - MG, Brasil,

²Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá - MG, Brasil,

E-mails: amandaramos@get.inatel.br e arismar@inatel.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela RNP, com recursos do MCTIC, processo Nº 01250.075413/2018-04, sob o projeto Centro de Referência em Radiocomunicações (CRR) do Inatel. Além disso, obteve-se suporte financeiro CNPq, CAPES, FAPEMIG, MCTI e FINATEL.

antena. A largura de faixa da antena foi definida como a faixa espectral, na qual o coeficiente de reflexão S_{11} é menor ou igual a -10 dB. O modelo simulado apresenta largura de faixa de 2,34 GHz (58,5%) centrada em 4 GHz, enquanto que o protótipo culminou em 1,96 GHz (49%) centrada em 4 GHz.

Os diagramas de radiação e as medidas do ganho da antena foram realizados na região de campo distante. Uma antena *HyperLOG® 7060X* e um gerador de sinais vetoriais EXG N5173B foram posicionados a uma distância de 9 metros do site de recepção, composto pela antena de referência e pelo *FieldFox*, configurado na função analisador de espectro. Os diagramas foram obtidos para os planos E e H. As Figuras 2(a) e 2(b) relatam o diagrama tridimensional do modelo numérico e uma foto do protótipo final, respectivamente. Já as Figuras 2(c) e 2(d) mostram uma comparação entre os diagramas simulados e medidos, em 4 GHz, nos planos de elevação (campo elétrico) e azimute (campo magnético), respectivamente. O ganho da corneta foi determinado utilizando duas antenas *HyperLOG® 7060X* de referência. Os resultados simulados e medidos da antena se mostraram em excelente concordância, conforme comprovado na Tabela 1.

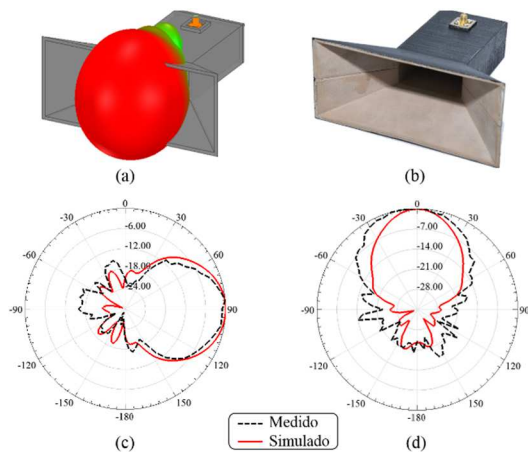


Fig. 2. Resultados e protótipo da corneta: (a) Simulação tridimensional do ganho em 4 GHz; (b) Foto do protótipo final; (c) Plano de elevação em 4 GHz; (d) Plano de azimute em 4 GHz.

TABELA I. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS SIMULADOS E MEDIDOS.

Propriedade Eletromagnética	Simulação	Medida
Abertura de feixe em 4 GHz no plano H	40°	60°
Abertura de feixe em 4 GHz no plano E	50°	40°
Ganho em 4 GHz	11,64 dBi	11,25 dBi
Largura de faixa centrada em 4 GHz para $S_{11} \leq -10$ dB	58,5%	49%

IV. SISTEMA RADAR COM A ANTENA CORNETA

Os experimentos da antena integrada ao radar forma conduzidos no Inatel em ambientes abertos com poucos bens móveis, a fim de detectar alvos cooperativos. Usou-se o *kit* radar *PulsON 440* da empresa *Time Domain*, configurado como radar biestático operando na faixa de 3,1 GHz a 4,9 GHz [8]. Seguem as suas configurações básicas: período de rastreamento de 400 segundos; distância mínima de 1 metro; distância máxima de 30 metros; potência de transmissão de 1,8 Watts. A detecção de um automóvel de pequeno porte utilizando-se as antenas omnidirecionais comerciais (Figura 3(a)) do *kit* limitou-se a 11 metros de alcance, assim como mostrado na Figura 3(b). A Figura 3 (d) reporta o mapa *Doppler* do mesmo

automóvel, obtido quando substituímos uma das antenas comerciais pela antena proposta (Figura 3(c)). Evidencia-se um aumento de alcance de 19 metros, validando o desenvolvimento de antenas cornetas com impressão 3D para a faixa de micro-ondas.

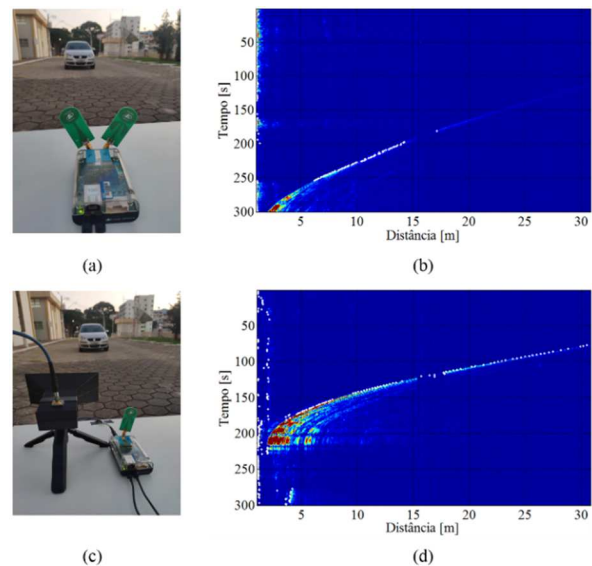


Fig. 3. Integração da antena com o *Kit* radar *PulsON 440*: (a) Experimento com antenas omnidirecionais; (b) Mapa *Doppler* da detecção de um automóvel com antenas omnidirecionais; (c) Teste com antena corneta e uma omnidirecional; (d) Mapa *Doppler* da nova detecção.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma antena corneta fabricada em uma impressora 3D para a faixa de micro-ondas. Resultados experimentais apresentaram largura de faixa 49% centrada em 4 GHz e ganho de 11,25 dBi para 4 GHz. Validou-se devidamente a antena, por meio da detecção de um automóvel a 30 metros de distância, perfazendo um aumento de alcance de 19 metros (ou 172 %), quando comparada a antena padrão do *kit* radar comercial. Os resultados medidos corroboram com a aplicabilidade a técnica de fabricação proposta, baseada no uso de impressoras 3D e tinta condutiva para a fabricação de antenas de alto desempenho e baixo custo. Como trabalhos futuros, propõe-se o desenvolvimento de outros tipos de antena utilizando impressão 3D e operação para ondas milimétricas.

REFERÊNCIAS

- [1] Fred E. Nathanson, J. Patrick Reilly, Marvin N. Cohen, "Radar Design Principles", 2ª edição, 1999.
- [2] George W. Stimson, "Introduction to Airborne Radar", 2ª edição, 2000.
- [3] Ren, Yu-Jiun et al. "Compact Ultrawideband UHF Array Antenna for Through-Wall Radar Applications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 8 (2009): 1302-1305.
- [4] Bajgot, Douglas A., "Development of a low-cost, man-portable, Phased Array X-Band Radar", 2010 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (2010): 183-188.
- [5] Glenn Robb, "Assemble Antennas with 3D Printing", Microwaves & RF, 2018.
- [6] Nayeri, Payam, et al. "3D printed dielectric reflectarrays: low-cost high-gain antennas at sub-millimeter waves", IEEE Transactions on Antennas and Propagation 62.4 (2014): 2000-2008.
- [7] J. A. J. Ribeiro, "Engenharia de Antenas - Fundamentos, Projetos e Aplicações", 1ª edição, 2012.
- [8] Time Domain, "PulsON 440", <http://www.timedomain.com/products/pulson-440/>, acessado em 14/06/2018.