

Projeto e Análise de uma Rede de Antenas em Fenda em UHF para Nanossatélites Meteorológicos

Rodrigo Facco, Juner M. Vieira e Marcos V. T. Heckler

Resumo— Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma rede de antenas para nanossatélites de aplicação meteorológica. O principal objetivo deste trabalho é descrever o estudo de uma antena compacta com baixo peso e boa eficiência operacional. Para satisfazer estes requisitos, uma rede de quatro antenas em fenda projetada com polarização circular à direita (RHCP) é proposta. Para o desenvolvimento das simulações apresentadas, utilizou-se o software de simulação eletromagnética Ansys HFSS. Os resultados obtidos demonstraram bom desempenho em termos de largura de banda, ganho e razão axial.

Palavras-Chave— Nanossatélites; CubeSat; Antenas em Fenda.

Abstract— The development of an antenna array applied to meteorological nano-satellites is presented in this paper. The main purpose is to report the study of an antenna with low weight, compact size and good operational efficiency. Four slot antennas are used to compose the antenna array designed to operate with right-handed circular polarization (RHCP). The computational simulations were done using the software Ansys HFSS. The numerical results demonstrate that the antenna exhibits good performance in terms of bandwidth, gain and axial ratio.

Keywords— Nano-satellite; CubeSat; Slot Antennas.

I. INTRODUÇÃO

As antenas impressas se adequam a aplicações onde é requerido que o sistema irradiante tenha alguma das características como baixo peso, estrutura conformada a uma superfície, dimensões reduzidas e, no caso das antenas em fenda, maior largura de banda em relação às antenas de microfita [1]. Como exemplo de aplicações, pode-se citar o uso em aeronaves, satélites, mísseis, além dos sistemas de comunicação móvel em geral [2]. Uma grande vantagem do uso da tecnologia de antenas impressas é a possibilidade de redução do tamanho, uma vez que a constante dielétrica do substrato (ϵ_r) influencia fortemente na redução do comprimento de onda guiado (λ_g) e, conseqüentemente, tem impacto direto nas dimensões do elemento irradiador.

As aplicações das antenas em tecnologia de microfita vêm sendo exploradas extensivamente no uso de *CubeSats* [3]. Os autores de [4] apresentam uma antena *patch* com polarização RHCP e operação na faixa de UHF. Em [5], uma rede de antenas de microfita, também com polarização RHCP, é apresentada. Nesse trabalho, uma análise sobre a opção entre diferentes substratos, além de um estudo paramétrico para

Rodrigo Facco, Juner M. Vieira e Marcos V. T. Heckler, Laboratório de Eletromagnetismo Micro-ondas e Antenas, Universidade Federal do Pampa, Alegrete-RS, E-mails: faccodm@gmail.com, marcos.heckler@unipampa.edu.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos 137016/2018-2, 305958/2015-1 e com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

diferentes valores da permissividade elétrica influenciada pela variação da temperatura e seus efeitos no ganho, é realizada. Em [6], um modelo de estrutura projetada para operar em banda S direcionado à telemetria e transmissão de dados de alta velocidade, é proposto. Antenas em fenda ressonante são utilizadas de modo multi-funcional em termos de apontamento do feixe irradiado em [7]. O desenvolvimento de uma rede de antenas em fendas para aplicações espaciais é descrito em [8] e [9].

A principal contribuição deste trabalho é a apresentação de uma estrutura em fenda projetada para operar em um nanossatélite. Para esta finalidade, a antena deve apresentar baixo peso e seção transversal fina. Este artigo está organizado em seis seções. Na seção II, são apresentadas as especificações para o projeto. Na seção III, é descrito o desenvolvimento da antena em fenda. Na seção IV, a rede 2x2 é analisada, e uma solução para redução da irradiação traseira indesejada é proposta na seção V. Por fim, na seção VI, as considerações finais são apresentadas.

II. ESPECIFICAÇÕES PARA O PROJETO DA ANTENA

O programa CONASAT (Constelação de Nanossatélites Ambientais), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), tem o objetivo de fornecer uma solução por meio do uso de uma constelação de nanossatélites para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais (SBCDA), utilizando como ponto de partida o funcionamento, desempenho e a correção de falhas do sistema atual, além de também objetivar o aprimoramento da capacidade de abrangência geográfica e redução dos tempos de revisita [10].

A operação do sistema de aquisição de dados é ilustrada pela Figura 1. A constelação de nanossatélites será utilizada para a retransmissão dos dados recebidos das plataformas de coleta de dados (PCDs), as quais realizam a aquisição das informações meteorológicas. O enlace de subida utiliza a frequência de 401 MHz e o enlace de descida opera em banda S.

O projeto descrito nas próximas seções é destinado a operar com frequência central de operação $f = 401$ MHz. Para tanto, será proposta uma antena em fenda ressonante para instalação em abas adaptadas ao *CubeSat*, respeitando as dimensões de 8U definidas no projeto CONASAT onde, mais precisamente, considerou-se a dimensão deste modelo disponível comercialmente, pela empresa ISIS com dimensões de $226,3 \times 226,3 \times 227$ mm³ [11]. Com o objetivo de adequar a estrutura às dimensões do projeto, optou-se por trabalhar com um substrato de permissividade elétrica elevada,

sendo o laminado Taconic CER-10 escolhido, com espessura $h = 3,18$ mm, constante dielétrica $\epsilon_r = 10$ e $\tan\delta = 0,002$ [12].

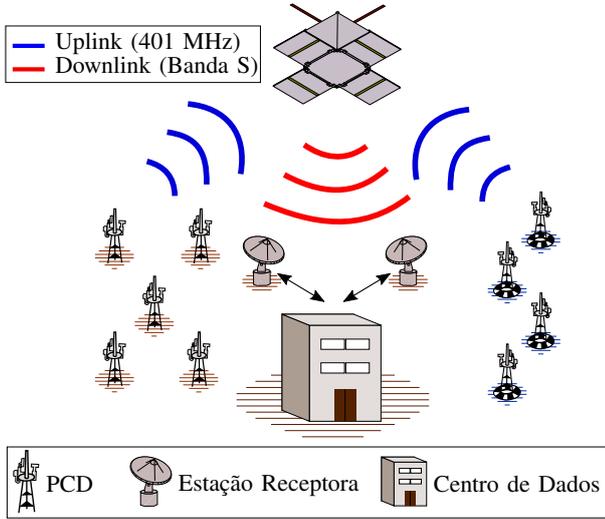


Fig. 1. Cenário de operação do sistema meteorológico.

III. PROJETO DE UMA ANTENA EM FENDA

A antena em fenda é constituída por um desbaste do plano de terra e sua excitação é realizada por meio de uma linha de microfita perpendicular à fenda. O diagrama esquemático e as dimensões dessa estrutura são apresentados na Figura 2. As dimensões da fenda foram calculadas utilizando o equacionamento definido em [1]. O comprimento da fenda escolhido foi $L_{fenda} = \lambda_g/4$, a largura da linha de alimentação $W_{50} = 2,99$ mm e largura da fenda $W_{fenda} = 15$ mm. Essa última dimensão influencia diretamente na largura de banda [13]. Após algumas simulações com o ANSYS HFSS, os ajustes necessários para o casamento de impedância resultaram nas seguintes dimensões: $L_{fenda} = 178$ mm e $L_{toco} = 12,5$ mm. Nas Figuras 3 e 4, são mostrados os resultados obtidos para o parâmetro S_{11} e o diagrama de irradiação, respectivamente. A largura de banda de operação (BW) obtida, considerando como critério $S_{11} \leq -10$ dB, foi de 21,5 MHz, que corresponde a 5,36% da frequência central de operação. Em termos de ganho, este modelo de antena possui irradiação bidirecional: em $\theta = 0^\circ$, obteve-se um ganho de 2,60 dBi e, em $\theta = 180^\circ$, 2,82 dBi.

IV. ANÁLISE DA REDE DE ANTENAS INSTALADA NO NANOSSATÉLITE

A fim de avaliar o desempenho de um conjunto de antenas instalada no nanossatélite, a estrutura projetada na seção III foi empregada para compor uma rede com configuração 2x2.

Uma vez que a polarização deve ser RHCP, as antenas foram dispostas com rotação sequencial, devendo ser alimentadas com potências idênticas e defasagem progressiva de 90° entre si. O modelo eletromagnético do nanossatélite com as antenas instaladas é mostrado na Figura 5. Os parâmetros S do conjunto sofreram um pequeno desvio em frequência, decorrente

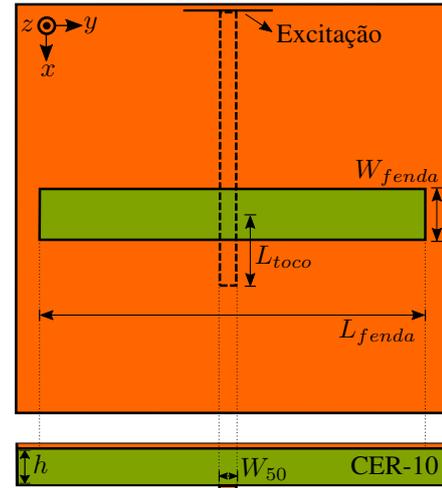


Fig. 2. Geometria da antena em fenda.

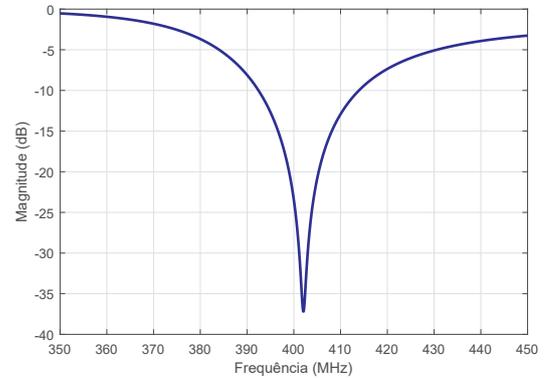


Fig. 3. Coeficiente de reflexão de um elemento simples.

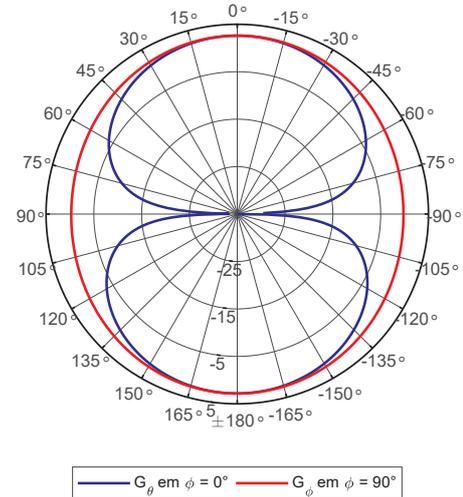


Fig. 4. Diagrama de irradiação do elemento simples, em que G_θ e G_ϕ são os ganhos parciais devido às componentes de campo elétrico E_θ e E_ϕ , respectivamente.

da interação entre as antenas e a estrutura do nanossatélite. Sendo assim, foram necessários novos ajustes nas dimensões, resultando em $L_{fenda} = 190$ mm e $L_{toco} = 16,5$ mm. Na Figura 6, os parâmetros S para a estrutura otimizada são apresentados. A largura de banda obtida foi de 41,6 MHz,

que corresponde a 10,37% da frequência central de operação. Os diagramas de irradiação são mostrados na Figura 7, onde o ganho obtido em $\theta = 0^\circ$ foi de -0,33 dBi e, em $\theta = 180^\circ$, 5,83 dBi. A razão axial em função da frequência na direção *boresight* é apresentada na Figura 8, resultando ser 0,045 dB em 401 MHz. Os diagramas de irradiação em $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$ são idênticos devido à simetria da estrutura.

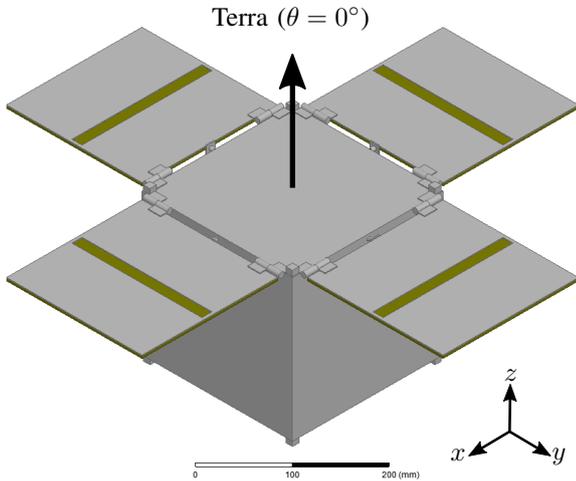


Fig. 5. Rede de antenas em fenda 2x2. A seta indica a direção da terra.

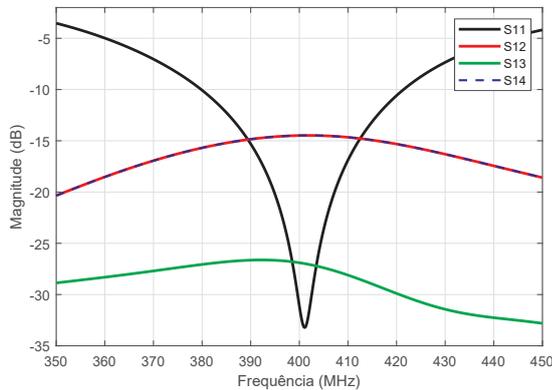


Fig. 6. Parâmetros S da rede de antenas em fenda.

V. REDE DE ANTENAS COM REFLETORES

Na seção IV, observou-se que a maior parte da energia é irradiada para trás ($\theta = 180^\circ$), situação oposta à desejada. Como um meio de reverter este problema, uma fita metálica flexível de comprimento próximo a $\lambda_0/4 \approx 18,7$ cm foi inserida para operar como refletor, refletindo parte da energia para a direção desejada em $\theta = 0^\circ$. Duas situações foram analisadas, sendo considerada a instalação de uma e duas fitas metálicas refletoras.

A. Rede de Antenas com um Refletor

O modelo eletromagnético do nanossatélite com a rede de antenas e as fitas refletoras instaladas é mostrado na Figura 9. Estudos paramétricos para o comprimento da fita refletora $L_{refletor}$ foram realizados. A Figura 10 mostra a variação do

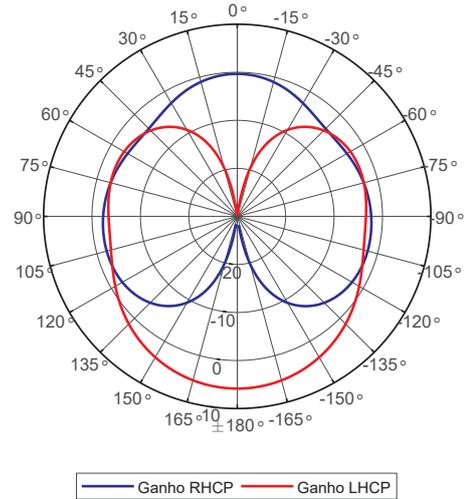


Fig. 7. Diagrama de irradiação da rede de antenas em fenda no plano $\phi = 0^\circ$.

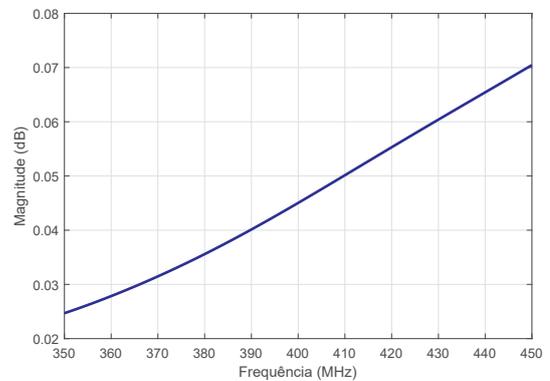


Fig. 8. Razão axial da rede de antenas em fenda para $\theta = 0^\circ$.

diagrama de irradiação, onde é possível observar que, para $L_{refletor} = 205$ mm, tem-se um ganho intermediário em $\theta = 0^\circ$ com valor de 5,8 dBi, porém com a melhor relação frente-costa (RFC), equivalente a 8,9 dB. Além disso, ajustes foram necessários para operação na frequência de interesse após a inclusão do refletor, resultando em $L_{fenda} = 195$ mm e $L_{toco} = 14$ mm.

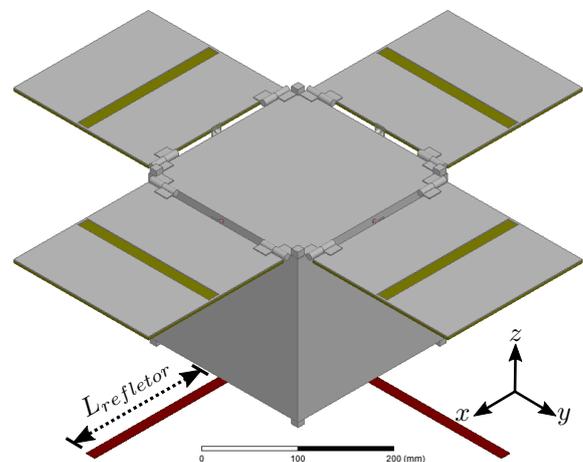


Fig. 9. Rede de antenas em fenda com uma fita refletora.

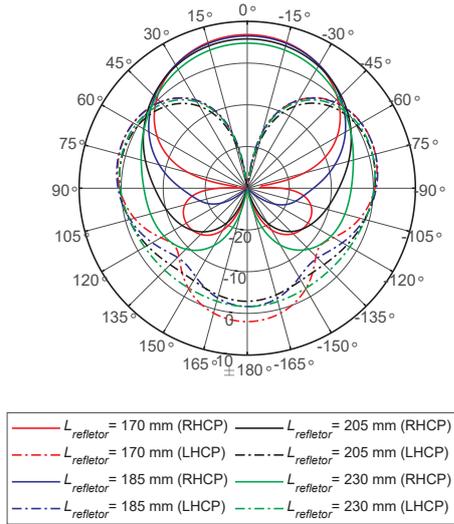


Fig. 10. Diagrama de irradiação para diversos valores de $L_{refletor}$.

B. Rede de Antenas com dois Refletores

Para investigar o efeito do aumento do número de refletores no diagrama de irradiação da rede de antenas, um par de fitas metálicas refletoras foi inserido no projeto, resultando na estrutura do nanossatélite mostrada na Figura 11.

O estudo proposto nessa subseção abrange duas variáveis, $L_{refletor}$ e L_{esp} , as quais representam o comprimento das fitas refletoras e o espaçamento entre elas, respectivamente. Devido às duas variáveis influenciarem uma na outra, inúmeras simulações foram realizadas para valores diversos. Os ajustes realizados para compensar os efeitos da inserção do segundo refletor resultaram nas dimensões $L_{fenda} = 196$ mm e $L_{toco} = 14,1$ mm.

Os resultados dos estudos paramétricos são mostrados nas Figuras 12 e 13 para o comprimento e espaçamento entre os refletores, respectivamente. Os melhores resultados obtidos consideraram o melhor ganho e relação frente-costa, obtidos para $L_{refletor} = 215$ mm e $L_{esp} = 185$ mm: em $\theta = 0^\circ$ obteve-se 6,8 dBi e em $\theta = 180^\circ$, -3,99 dBi de ganho, resultando em RFC = 10,8 dB.

C. Análise de Resultados

Os estudos realizados mostraram que a estrutura do nanossatélite interfere fortemente no diagrama de irradiação das antenas em fenda, devido à característica originalmente bidirecional. Uma comparação dos resultados obtidos para a estrutura com um refletor, onde $L_{refletor} = 205$ mm, e com dois refletores, para $L_{refletor} = 215$ mm e $L_{esp} = 185$ mm, é demonstrada em termos de coeficiente de reflexão, diagrama de irradiação e razão axial na Tabela I e nas Figuras 14, 15 e 16, respectivamente.

VI. CONCLUSÕES

Este artigo teve como finalidade apresentar o desenvolvimento de uma rede de antenas em fenda integrada à estrutura de um CubeSat 8U, respeitando as dimensões das abas articuladas de 20x20 cm². Foi realizado o desenvolvimento de uma

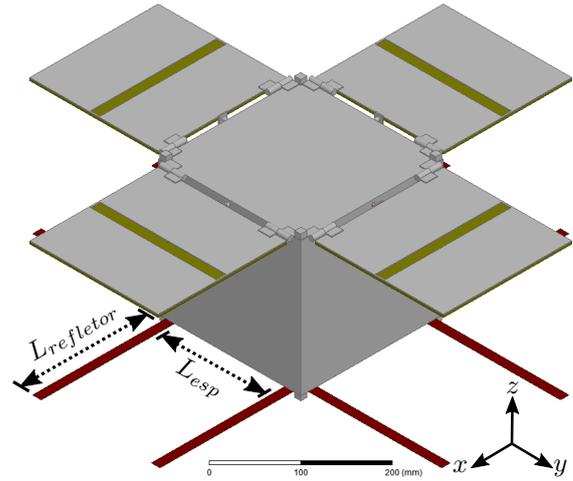


Fig. 11. Rede de antenas em fenda com duas fitas refletoras.

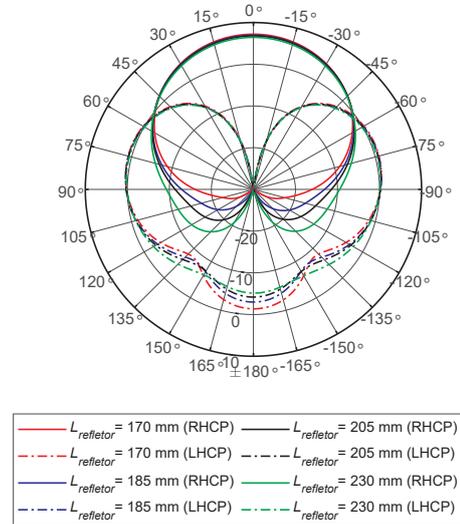


Fig. 12. Diagrama de irradiação do estudo paramétrico de $L_{refletor}$ para $L_{esp} = 185$ mm fixo.

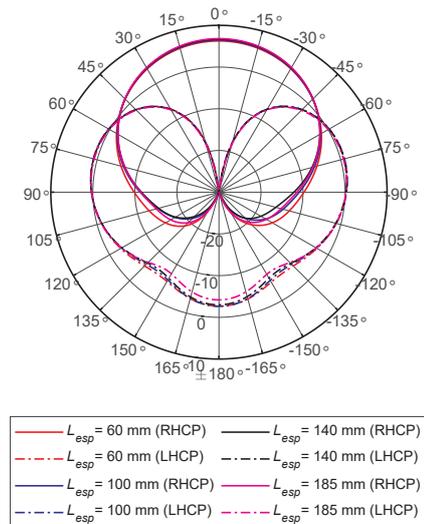


Fig. 13. Diagrama de irradiação do estudo paramétrico de L_{esp} para $L_{refletor} = 215$ mm fixo.

TABELA I

SÍNTESE DOS RESULTADOS PARA AS ESTRUTURAS COM REFLETORES.

Qtd. Refl.	BW	Ganho	RFC	Razão Axial
1	29,4 MHz	5,8 dBi	8,9 dB	0,07 dB
2	28,6 MHz	6,8 dBi	10,8 dB	0,05 dB

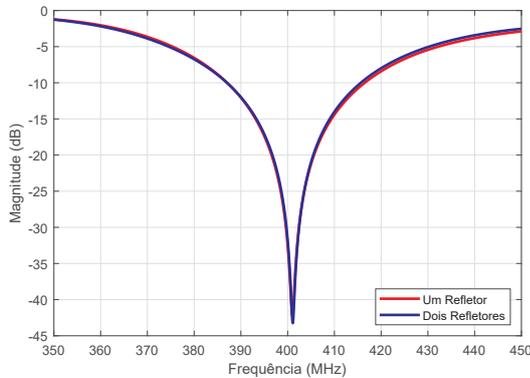


Fig. 14. Comparação do parâmetro de reflexão entre as estruturas com um e com dois refletores.

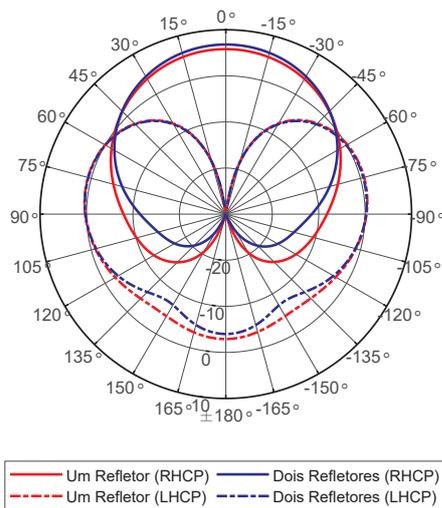


Fig. 15. Comparação do ganho entre as estruturas com um e com dois refletores.

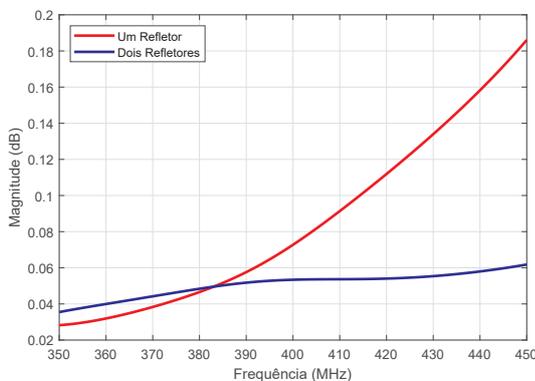


Fig. 16. Comparação da razão axial entre as estruturas com um e com dois refletores.

foram analisadas, sendo a primeira o desenvolvimento da rede sem as fitas refletoras, o segundo caso considerando a inserção de uma fita metálica refletora e, por fim, foram inseridas duas fitas metálicas refletoras.

As estruturas propostas demonstraram um comportamento indesejado sem a inserção das fitas refletoras. O problema foi resolvido inserindo refletores ao fundo da estrutura, a fim de redirecionar a energia para a direção desejada ($\theta = 0^\circ$). Dessa forma, obteve-se desempenho final, resultando em uma estrutura com irradiação unidirecional com baixo peso e dimensões reduzidas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos 137016/2018-2, 305958/2015-1 e com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- [1] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House, 2001.
- [2] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*. John Wiley & Sons, 2012.
- [3] Y. Rahmat-Samii, V. Manohar, and J. M. Kovitz, “For satellites, think small, dream big: A review of recent antenna developments for cubesats,” *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 59, no. 2, pp. 22–30, April 2017.
- [4] E. C. Moreira, A. S. B. Sombra, J. C. M. Mota, M. V. T. Heckler, and M. P. Magalhães, “A microstrip antenna for meteorological nano-satellites for uhf uplink,” *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBrT)*, 2016.
- [5] M. P. Magalhães, M. V. T. Heckler, J. C. M. Mota, A. S. B. Sombra, and E. C. Moreira, “Design and analysis of microstrip antenna arrays for meteorological nano-satellites for uhf uplink,” in *2014 International Telecommunications Symposium (ITS)*, Aug 2014, pp. 1–5.
- [6] S. T. İmeci, Z. Apaydın, E. Demircioğlu, and M. H. Sazlı, “S-band tcr patch antenna design for nano satellites,” in *2010 IEEE 18th Signal Processing and Communications Applications Conference*, April 2010, pp. 657–660.
- [7] J. Padilla, G. Rosati, A. Ivanov, F. Bongard, S. Vaccaro, and J. Mosig, “Multi-functional miniaturized slot antenna system for small satellites,” in *Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, April 2011, pp. 2170–2174.
- [8] P. R. Akbar, H. Saito, M. Zang, J. Hirokawa, and M. Ando, “X-band parallel-plate slot array antenna for sar sensor onboard 100 kg small satellite,” in *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation USNC/URSI National Radio Science Meeting*, July 2015, pp. 208–209.
- [9] C. Gu, B. S. Izquierdo, S. Gao, J. C. Batchelor, E. A. Parker, F. Qin, G. Wei, J. Li, and J. Xu, “Dual-band electronically beam-switched antenna using slot active frequency selective surface,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 3, pp. 1393–1398, March 2017.
- [10] M. J. M. de Carvalho, J. S. dos Santos Lima, L. dos Santos Jotha, and P. S. de Aquino, “CONASAT - Constelação de Nano Satélites para Coleta de Dados Ambientais,” *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 9108–9115, 2013.
- [11] ISIS, *8-Unit CubeSat structure*, (acessado em 18 de abril de 2019). [Online]. Available: <https://www.isispace.nl/product/8-unit-cubesat-structure/>
- [12] *Organic-Ceramic Laminate Based on Woven Glass Reinforcement, OR-CER CER-10*, Taconic Advanced Dielectric Division.
- [13] R. Facco, J. M. Vieira, and M. V. T. Heckler, “Análise da influência da largura de uma fenda irradiante em sua banda de operação,” *Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE)*, 2018.

antena em fenda e, em seguida, de uma rede 2x2 composta por quatro elementos. Três situações do conjunto de antenas