

Estudo de Espalhadores em Banda X para Aplicação em Rede Refletora

Nathani B. dos Santos, Melissa B. R. da Silva, Edson R. Schlosser e Marcos V. T. Heckler

Resumo—Neste artigo, duas topologias de elementos espalhadores são analisadas para aplicação em rede refletora (RA) embarcada em nanossatélite padrão 8U. As geometrias avaliadas para as metalizações impressas são: *patch* quadrado e dipolos. A rede possui dimensão 200 mm × 200 mm, o que permite a conformação da estrutura sobre a face do nanossatélite durante o lançamento. As curvas de fase para cada célula são obtidas a partir de simulações paramétricas no software Ansys HFSS. Diferentes parâmetros são avaliados na definição da melhor curva de fase. Por fim, uma rede refletora linearmente polarizada é projetada para fins de validação.

Palavras-Chave—Redes refletoras, Curva de fase, Nanossatélite.

Abstract—In this paper, two topologies of the scattering elements have been analyzed for the reflectarray embedded in a standard 8U nanosatellite. The evaluated geometries for printed metallizations are: square patch and dipoles. The reflectarray has a dimension of 200 mm × 200 mm, which allows the conformation on the nanosatellite structure during the release. The phase curves are obtained using Ansys HFSS software. Different parameters are evaluated to define the best phase curve. Finally, a linearly polarized reflectarray antenna is designed for validation.

Keywords—Reflectarrays, Phase curve, Nanosatellite.

I. INTRODUÇÃO

Redes refletoras (RAs) são estruturas impressas sobre um laminado com baixas perdas na faixa de micro-ondas e, na maioria dos casos, formadas por: plano de terra, dielétrico e metalizações [1]. As metalizações, denominadas *patches*, podem apresentar diferentes formatos geométricos e tamanhos físicos. Adicionalmente, a superfície refletora é iluminada por um alimentador posicionado em distância suficiente para obter uma onda plana.

A grande vantagem de redes refletoras é a facilidade de construção física através de uma prototipadora de precisão, o que possibilita o controle da distribuição de fase sobre a abertura [2]. Por outro lado, a desvantagem das RAs com camada simples é a largura de banda estreita, pois apresenta sensibilidade de mudança de fase com a variação da dimensão de ressonância [3]. Este tipo de antena é comumente estudado para comunicações via satélite, visto que apresenta facilidade de conformação sobre a estrutura no momento do lançamento e a possibilidade de aumentar a abertura física em órbita [4], o

Nathani B. dos Santos, Melissa B. R. da Silva, Edson R. Schlosser e Marcos V. T. Heckler, estão com o Laboratório de Eletromagnetismo, Micro-ondas e Antenas, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, e-mails: {nathanisantos.aluno, melissasilva.aluno, edsonschlosser, marcosheckler}@unipampa.edu.br.

que proporciona aumentar o ganho, característica fundamental para este tipo de enlace.

Quando a superfície da RA é eletricamente grande, pode-se assumir que cada elemento está cercado por um número infinito de elementos idênticos, assim é possível utilizar a técnica de *Floquet* para encontrar a curva de fase da célula.

A partir da curva de fase, é possível compensar a fase da onda plana incidente e projetar a distribuição de fase na abertura a partir do tamanho dos *patches* da rede, para que a máxima irradiação esteja na direção desejada.

Neste trabalho, o estudo da topologia quadrada é inicialmente realizado [5]. Posteriormente, três dipolos paralelos com comprimentos diferentes são avaliados. Essa geometria foi proposta por [6], [7] e [8] visando aumentar a faixa de variação de fase. Aqui, células são projetadas na frequência de 8,6 GHz, que corresponde a faixa de frequência alocada para a exploração da terra a partir de satélites. O trabalho está organizado da seguinte forma: na seção II, são apresentados os projetos e simulações das topologias no software Ansys HFSS para diferentes configurações, em que são extraídas curvas de fase visando aplicação em uma rede refletora; na seção III, é apresentado o cálculo da fase desejada na abertura tendo como referência a posição espacial do alimentador e a direção desejada para o feixe principal. Adicionalmente, é realizado o projeto de rede refletora para um alimentador na posição axial; Por fim, na seção IV, as conclusões do trabalho são realizadas.

II. SIMULAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS DE CÉLULAS

Neste trabalho, duas geometrias para os espalhadores metálicos são avaliadas, que são: *patch* quadrado e dipolos. Adicionalmente, curvas de fase são obtidas para diferentes parâmetros de projeto e laminados comerciais.

A. Quadrada

Na Fig. 1 é apresentada uma célula com dimensão $C_x \times C_y$ formada por *patch* quadrado com aresta de dimensão L , que pode ser estimada analiticamente para substrato finos em termos de comprimento de onda por [2],

$$L = \frac{c_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}}, \quad (1)$$

em que c_0 é a velocidade da luz no vácuo, f_r é a frequência de operação e ϵ_r é a constante dielétrica do laminado selecionado.

Neste trabalho, o laminado RO4003C da Rogers foi analisado para diferentes espessuras atualmente comercializadas. Este

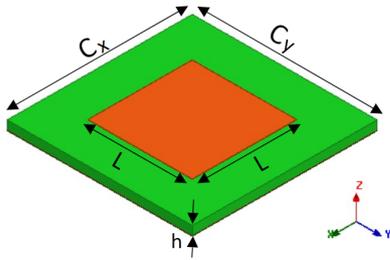


Fig. 1: Geometria da célula com *patch* quadrado.

substrato apresenta as seguintes propriedades eletromagnéticas: constante dielétrica $\epsilon_r = 3,55$ e tangente de perdas $\tan \delta = 0,0027$. Na Fig. 2 podem ser observadas diferentes curvas de fase em função da variação da espessura h do substrato para célula com dimensão $C_x = C_y = 0,47\lambda_0$. Percebe-se que a espessura de 0,813 mm apresenta excelente relação entre faixa de variação de fase, neste caso, $\sim 330^\circ$, e sensibilidade de variação de fase. Consta-se, para essa frequência, que os substratos com espessuras $h = 0,203$ mm e $h = 0,406$ mm apresentam rápida variação de fase, o que dificulta o processo de construção.

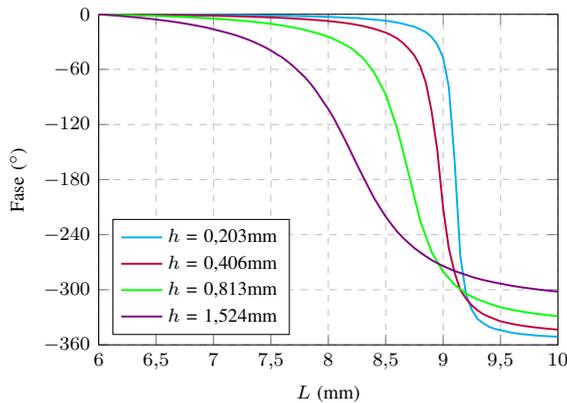


Fig. 2: Curvas de fase para diferentes valores de espessura do dielétrico.

Posteriormente, também foram avaliadas células com espaçamentos $C_x = C_y = 0,38\lambda_0$ e $C_x = C_y = 0,63\lambda_0$ para $h = 0,813$ mm. Estes valores foram determinados com base em um número inteiro de células em uma rede refletora com dimensão 200 mm \times 200 mm (tamanho da face de um nanossatélite padrão 8U). As curvas de fase obtidas são apresentadas na Fig. 3. Após análise, optou-se por células espaçadas de $0,47\lambda_0$ devido a possibilidade de variação de fase de $\sim 330^\circ$, e, ao mesmo tempo, permitir maior controle de fase sobre a abertura da RA, o que resulta em uma rede refletora composta por 12×12 elementos.

B. Dipolos

Células compostas por dipolos impressos foram estudadas para espaçamento de $0,47\lambda_0$ e dielétrico com espessura $h = 0,813$ mm. O substrato utilizado foi o mesmo avaliado para

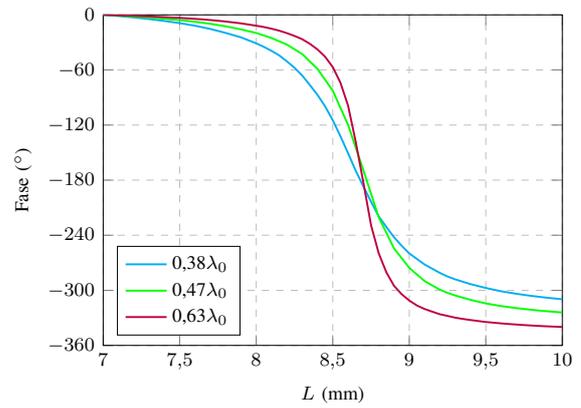


Fig. 3: Curvas de fase para diferentes espaçamentos entre células.

célula com elemento quadrado. A geometria aplicada consiste em três dipolos, conforme os parâmetros apresentados na Fig. 4.

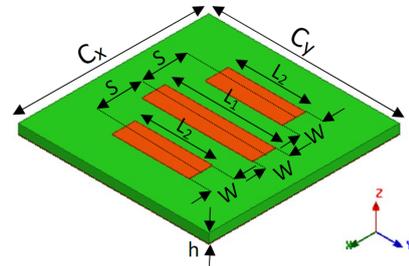


Fig. 4: Geometria da célula com as dimensões dos três dipolos paralelos.

Para verificar a interferência do acoplamento mútuo entre os dipolos, realizou-se o estudo do comprimento dos elementos laterais em função do elemento central, sendo $W = 2$ mm a largura dos dipolos e $S = 3$ mm o espaçamento entre dipolos adjacentes. Conforme apresentado na Fig. 5, nota-se o surgimento de um segundo intervalo com rápida variação de fase quando os dipolos laterais foram adicionados (não existe quando $L_2 = 0$), ou seja, a primeira variação, contida no intervalo entre 8 mm a 10 mm, está relacionada com a ressonância do dipolo central, enquanto que a segunda variação, contida no intervalo entre 10 mm e 13 mm, está relacionada com a ressonância dos dipolos laterais.

A adição dos dipolos laterais possibilita aumentar a representação de fase na abertura de redes refletoras. Adicionalmente, percebe-se que as dimensões de ressonância da estrutura se aproximam quando $L_2 \rightarrow L_1$, o que afeta na densidade de corrente superficial sobre as metalizações, fazendo com que a primeira faixa de variação seja deslocada para a esquerda, ou seja, para a dimensão que ocorreu a ressonância do *patch* quadrado.

Devido a ampliação da faixa de variação de fase e a periodicidade, pode-se representar a fase sobre uma determinada região da rede refletora a partir de duas dimensões distintas.

Outro estudo realizado trata-se da distância entre os centros

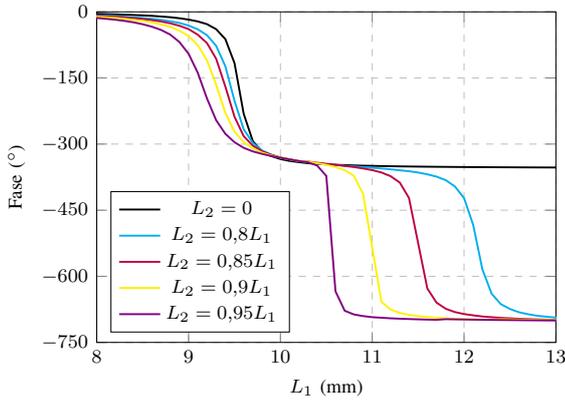


Fig. 5: Curvas de fase para diferentes comprimentos dos dipolos.

dos dipolos impressos quando $L_2 = 0,8L_1$. As curvas de fase obtidas para diferentes espaçamentos entre elementos podem ser visualizadas na Fig. 6. Pode-se observar que não ocorrem mudanças consideráveis na primeira faixa de variação, enquanto que há o deslocamento para a esquerda da segunda faixa de variação de fase quando a distância aumenta; ou seja, a redução do acoplamento mútuo entre os dipolos afeta substancialmente a resposta de fase relacionada aos dipolos laterais.

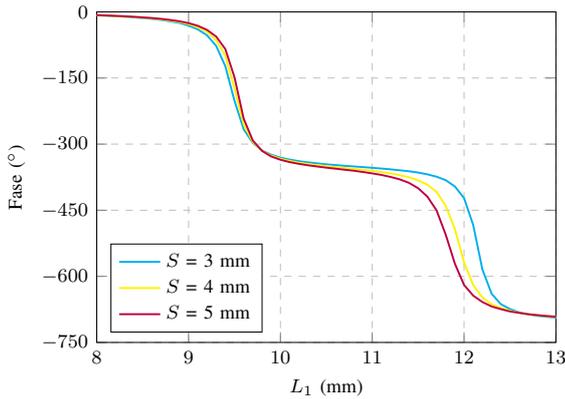


Fig. 6: Curvas de fase para diferentes distâncias entre dipolos.

III. REDE REFLETORA

A curva de fase obtida para a célula composta por três dipolos é aplicada no projeto de uma rede refletora com dimensão $200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$. Neste projeto, é utilizado um alimentador na posição axial, com relação $f/D = 0,9$, sendo f a distância do centro de fase do alimentador até a superfície da rede refletora e D corresponde ao tamanho da abertura da rede refletora. Uma rede refletora contida no plano xy é apresentada na Fig. 7, a qual é iluminada por um alimentador linearmente polarizado em tecnologia de microfita.

A partir da técnica de traçado de raios [3], a fase de cada célula que compõe a RA pode ser calculada por

$$\psi_{mn} = k_0[d_{mn} - (x_{mn} \cos(\phi_b) + y_{mn} \sin(\phi_b)) \sin(\theta_b)], \quad (2)$$

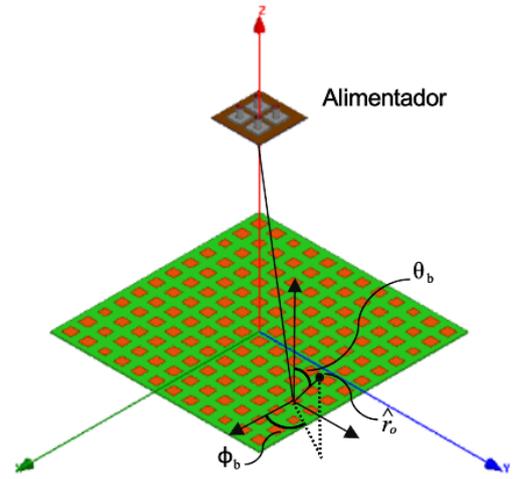


Fig. 7: Rede refletora com alimentador.

onde k_0 é a constante de propagação no vácuo, θ_b e ϕ_b são os ângulos que indicam a direção do feixe principal, conforme ilustrado na Figura 7. Adicionalmente, x_{mn} e y_{mn} denotam a posição do elemento em uma matriz de *patches* com m linhas e n colunas no plano xy , respectivamente, e

$$d_{mn} = \sqrt{(x_{mn} - x_f)^2 + (y_{mn} - y_f)^2 + z_f^2}, \quad (3)$$

em que d_{mn} é a distância do centro do *patch* (x_{mn}, y_{mn}) até o centro de fase do alimentador (x_f, y_f, z_f).

Neste trabalho, a abertura é projetada visando a máxima irradiação na direção normal à rede refletora ($\theta_b = \phi_b = 0$). O projeto é realizado automaticamente a partir de um *script* desenvolvido em Matlab, o qual contém a formulação do problema, as especificações e a curva de fase. Adicionalmente, o código desenvolvido gera um arquivo de saída para ser carregado no software Ansys HFSS. Na Fig. 8 pode ser visualizada a rede refletora composta por dipolos paralelos com orientação horizontal, ou seja, no sentido da polarização linear do alimentador.

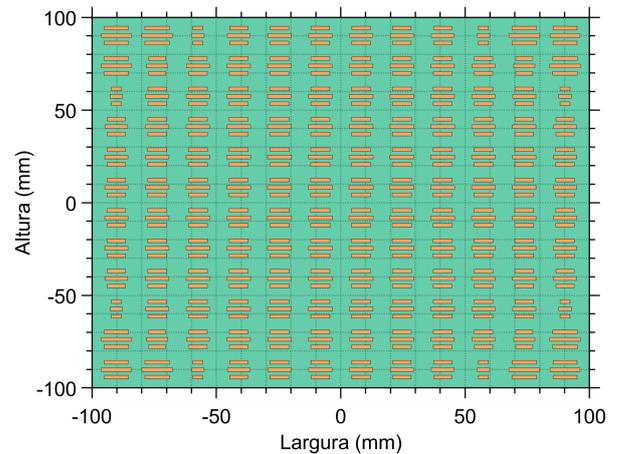


Fig. 8: Rede refletora com dipolos paralelos obtida pelo *script*.

O modelo foi simulado no HFSS considerando regiões híbridas. Este tipo de configuração possibilita simular estruturas com grandes dimensões em termos do comprimento de onda em um tempo reduzido. Na Fig. 9 podem ser visualizados os planos E e H do diagrama de irradiação.

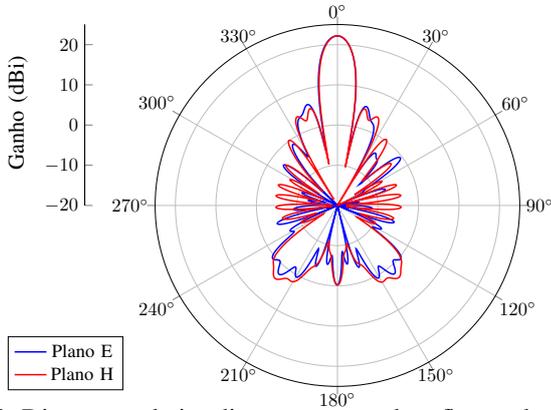


Fig. 9: Diagramas de irradiação para a rede refletora de dipolos paralelos. Plano E: $E_{\theta}(\theta, \phi = 0^{\circ})$; Plano H: $E_{\phi}(\theta, \phi = 90^{\circ})$.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foram apresentadas duas geometrias para células de redes refletoras na frequência central de 8,6 GHz. A célula composta por dipolos paralelos apresentou ampla faixa para representação de fase na abertura. Dessa forma, uma rede linearmente polarizada composta por 12×12 elementos foi desenvolvida em uma laminado com baixas perdas, o que possibilitou a obtenção de um ganho de 22,18 dBi, o que corresponde a uma eficiência de abertura de $\sim 40\%$.

Como trabalhos futuros, pretende-se modificar o alimentador e a estrutura da célula para obter uma onda circularmente polarizada. Adicionalmente, aperfeiçoar o projeto do alimentador visando a redução do *spillover* e o aumento da eficiência de abertura.

REFERÊNCIAS

- [1] D. M. Pozar, S. D. Targonski and H. D. Syrigos, "Design of millimeter wave microstrip reflectarrays," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 45, no. 2, pp. 287-296, Feb. 1997.
- [2] C. A. Balanis, *Teoria de Antenas - Análise e Síntese*, vol. 1, 3ª Ed. LTC, 2009.
- [3] J. Huang, and J. A. Encinar, "Reflectarray antennas," in *Hoboken*, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2008.
- [4] R. E. Hodges, N. Chahat, D. J. Hoppe, J. D. Vacchione, "A Deployable High-Gain Antenna Bound for Mars: Developing a new folded-panel reflectarray for the first CubeSat mission to Mars," in *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 59, no. 2, pp. 39-49, 2017.
- [5] M. B. R. da Silva, "Análise e projeto de redes refletoras embarcadas em nanosatélite", *Monografia de conclusão de curso de graduação*, Universidade Federal do Pampa, 2021.
- [6] R. Florencio, R. R. Boix, V. Losada, J. A. Encinar, E. Carrasco and M. Arrebola, "Comparative study of reflectarrays based on cells with three coplanar dipoles and reflectarrays based on cells with three stacked patches," *2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, Prague, Czech Republic, 2012, pp. 3707-3710.

- [7] R. Florencio, R. R. Boix and J. A. Encinar, "Design of a reflectarray antenna at 300 GHz based on cells with three coplanar dipoles," *2013 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, Orlando, FL, USA, 2013, pp. 1350-1351.
- [8] Á. F. Vaquero, M. Arrebola, M. R. Pino, R. Florencio and J. A. Encinar, "Demonstration of a Reflectarray With Near-Field Amplitude and Phase Constraints as Compact Antenna Test Range Probe for 5G New Radio Devices," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 69, no. 5, pp. 2715-2726, May 2021.