

Análise de Estabilidade do Diagrama de Radiação ao Longo da Banda de Uma Corneta Coaxial TEM

S. R. Zang¹, R. A. Penchel², J. R. Bergmann³, F. J. S. Moreira⁴

¹ Departamento das Engenharias de Telecomunicações e Mecatrônica, UFSJ, Ouro Branco, MG, Brasil, szang@ufs.edu.br

² Universidade Estadual de São Paulo, UNESP, São João da Boa Vista, SP, Brasil, rafael.penchel@sjbv.unesp.br

³ Centro de Estudos em Telecomunicações, PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, bergmann@cetuc.puc-rio.br

⁴ Departamento de Engenharia Eletrônica, UFMG, Belo Horizonte, MG, fernandomoreira@ufmg.br

Resumo—Este trabalho apresenta uma análise paramétrica das dimensões da abertura de uma corneta coaxial cônica excitada pelo modo TEM. Usando um método rigoroso de análise eletromagnética híbrido, baseado no Método do Casamento de Modos e no Método dos Momentos, foram investigadas as dimensões dos condutores interno e externo que produzem um alargamento na banda de operação, mantendo a estabilidade do diagrama de radiação, e simultaneamente, reduz a perda de retorno.

Palavras-chave—corneta coaxial TEM, antena refletora omnidirecional, método dos momentos, método do casamento de modos

I. INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento tecnológico da telefonia móvel de quinta geração (5G) deslocou o interesse de muitos pesquisadores para as faixas de frequência em ondas milimétricas, entre as quais destacam-se as bandas de 26–28GHz e 38–42GHz [1]. Um dos desafios de se trabalhar nessas faixas de frequência é a atenuação imposta ao sinal pelo espaço livre e a alta sensibilidade ao bloqueio, requerendo elementos irradiadores diretivos e banda larga. Para coberturas omnidirecionais, há que se controlar a diretividade das antenas no plano vertical, ensejando o uso de antenas duplo-refletoras com cobertura omnidirecional (veja a Fig. 1) [2-8]. Além de permitir altos ganhos e apresentar comportamento banda larga, a modelagem dos refletores possibilita a otimização da cobertura e redução de interferências [5].

Diversos trabalhos apresentaram técnicas de síntese de antenas refletoras omnidirecionais, baseadas em Óptica Geométrica (GO), adotando uma corneta coaxial TEM como alimentador. Uma limitação destas técnicas é o modelo do alimentador, idealizado como uma fonte pontual de onde emerge uma frente de onda esférica, onde o diagrama de radiação é aproximadamente calculado da equivalência de uma abertura coaxial com distribuição de campo TEM [6]. Em razão disto, é desejada a estabilidade do centro de fase do alimentador, bem como o diagrama de radiação estável ao longo da banda de operação. No entanto, a obtenção deste tipo de comportamento em uma extensa faixa de frequência é muito difícil e, conseqüentemente, o diagrama de radiação do conjunto (alimentador e refletores) tende a afastar-se do objetivo na medida em que se afasta da frequência central.

Em [7] foi apresentada uma corneta coaxial TEM projetada para operar em uma banda de 20%. Este trabalho apresenta uma análise paramétrica das dimensões da abertura de uma

corneta coaxial — controlada pelos raios interno R_a e externo R_b —, ilustrada na Fig. 2, com o objetivo determinar as dimensões dos condutores interno e externo de forma a estender a banda de operação para 30%, mantendo o diagrama de radiação estável e minimizando a perda de retorno ao longo da banda. A análise eletromagnética rigorosa é realizada por um método híbrido combinando o Método do Casamento de Modos (*Mode Matching Technique* — MMT) e o Método dos Momentos (*Method of Moment* — MoM) [8].

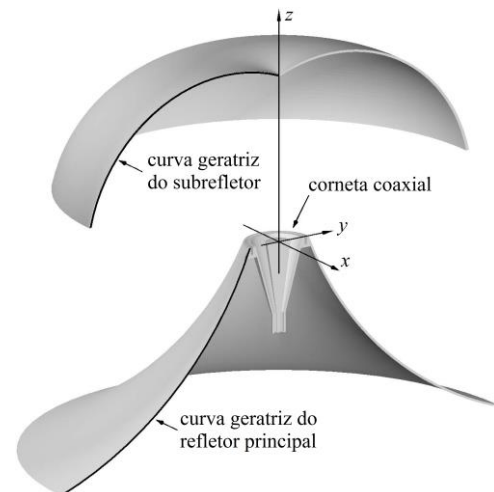


Fig. 1. Antena duplo-refletora para cobertura omnidirecional alimentada por uma corneta coaxial TEM, vista tridimensional em corte.

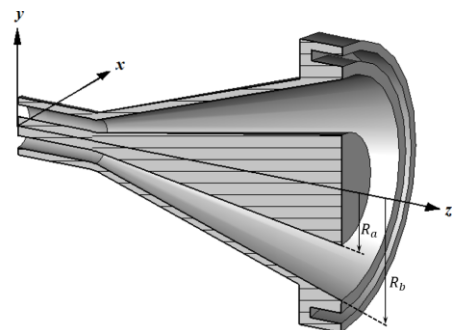


Fig. 2. Corneta coaxial TEM, vista tridimensional em corte.

II. MÉTODO DE ANÁLISE

O método híbrido utilizado na análise eletromagnética da corneta coaxial TEM é composto pelos métodos MMT/MoM, e

segue os passos apresentados em [8]. Para a aplicação desse método híbrido, a corneta coaxial ilustrada na Figura 2 é representada por seções de guias de onda coaxiais na forma de escada (ver Figura 3.a). A predição rigorosa dos campos no interior da corneta coaxial, a partir do acoplamento entre estas seções de guias de onda coaxiais, é feito através da aplicação do MMT. O resultado da aplicação desta técnica é uma matriz de espalhamento geral que representa o acoplamento entre os campos modais existentes em todas as seções de guias de ondas coaxiais, que compõem a região interna da corneta. Essa matriz de espalhamento depende dos parâmetros geométricos da estrutura e do número de modos superiores TM considerados no processo de análise. Considerando que o modo fundamental TEM é o único modo incidente no guia coaxial de alimentação da corneta e, também, a simetria circular da estrutura, somente os modos TEM e TM são excitados na região interna, onde os modos TE não se acoplam com o modo fundamental TEM e com os modos superiores TM [8].

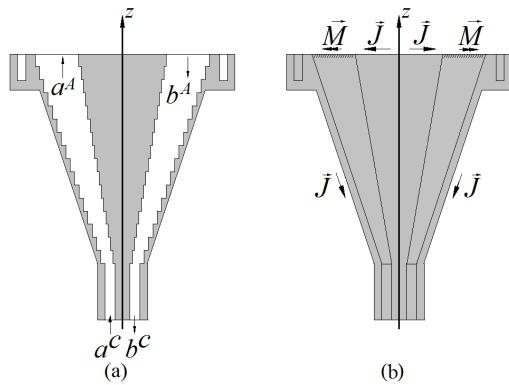


Fig. 3. (a) Corneta coaxial TEM representada por seções de guias de onda coaxiais na forma escada e (b) correntes superficiais equivalentes.

Na região da abertura da corneta coaxial, parte dos campos modais incidentes (a^A) são radiados no espaço, induzindo correntes superficiais magnética $\vec{M}$ sobre a abertura da corneta e elétrica $\vec{J}$ sobre toda a superfície externa, incluindo a abertura, enquanto que o restante desses campos modais (b^A) são guiados de volta, como perda de retorno. A interação entre os campos no interior e a distribuição de correntes superficiais na região externa da corneta coaxial é analisada a partir da avaliação das equações integrais de campo elétrico e magnético (*Electric Field Integral Equation* — EFIE) e (*Magnetic Field Integral Equation* — MFIE), respectivamente. Para isso, é aplicado o princípio da equivalência (ver Figura 3.b), onde a parte interna da corneta é substituída por um condutor elétrico perfeito (PEC) e, de forma a assegurar as condições de contorno do problema original, é induzida uma corrente superficial magnética $\vec{M}$ sobre a abertura. Novamente, a partir da aplicação do princípio da equivalência, este problema é substituído por um problema matematicamente equivalente, onde o PEC é retirado e em seu lugar é colocada a corrente superficial equivalente elétrica $\vec{J}$ induzida sobre a superfície externa da corneta, inclusive sobre a abertura [8].

Para a análise do espalhamento eletromagnético a partir da abertura da corneta coaxial e determinação das amplitudes dos modos refletidos no interior da corneta (b^A), é aplicado MoM

na solução das equações integrais de campo elétrico e magnético EFIE e MFIE, respectivamente.

III. ANÁLISE PARAMÉTRICA DA ABERTURA DA CORNETA

A corneta coaxial TEM, objeto deste estudo, foi inicialmente apresentada em [7] e possui dimensões ilustradas na Figura 4, onde as dimensões da abertura ($R_a = 0,45\lambda_0$ e $R_b = 0,90\lambda_0$) foram escolhidas a fim de controlar a largura do lobo principal, sendo λ_0 o comprimento de onda da frequência central da banda de operação. R_b tem um papel preponderante, e evita a presença de um segundo modo propagante na abertura (TM_{01}), mantendo a diferença $(R_b - R_a) < 0,5\lambda_0$ ao longo de uma banda de operação de 20%. Considerando a utilização da corneta coaxial TEM na alimentação das antenas duplo-refletores para cobertura omnidirecional, o aumento de R_b implicaria em um lobo principal do diagrama da corneta mais estreito e exigiria o afastamento do subrefletor, trazendo, como consequência, configurações de antenas duplo-refletores com maior volume. Por outro lado, a diminuição de R_b resultaria em um aumento das perdas por transbordamento na borda do subrefletor, ou a aproximação deste e, consequentemente, o aumento dos efeitos de acoplamento entre os refletores e corneta coaxial.

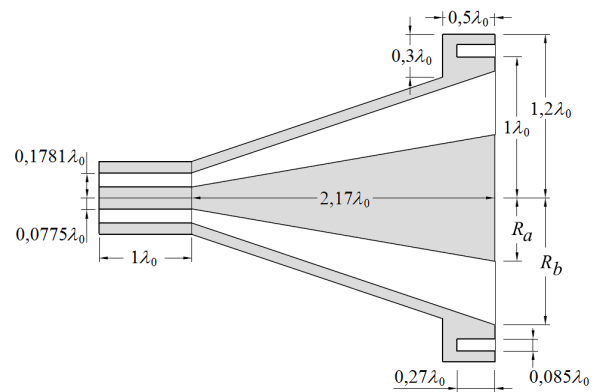


Fig. 4. Dimensões da corneta coaxial TEM em função da frequência central da banda de operação λ_0 .

Com o objetivo de alcançar uma maior estabilidade do diagrama de radiação da corneta coaxial ao longo da banda, e também uma redução na perda de retorno, neste trabalho é feito um estudo exploratório através de uma análise paramétrica do comportamento da perda de retorno e do diagrama de radiação em função da variação dos raios R_a e R_b que definem o tamanho da abertura da corneta coaxial, como ilustrado na Figura 4. Esse estudo visa também obter uma extensão da banda de operação da corneta para 30%. Nesta análise o comprimento da corneta será mantido fixo, tendo em vista que foi dimensionado em [7] para que as perdas geradas na transição guia-corneta ficassem abaixo de 35dB e que as variações nas dimensões da abertura não afetam este desempenho.

A Figura 5 ilustra a perda de retorno em função da variação de R_a e R_b em intervalos de $0,20\lambda_0$, no entorno dos valores da corneta coaxial apresentada em [7], sendo $R_a = 0,45\lambda_0$ e $R_b = 0,90\lambda_0$. Nota-se que, diferentemente da variação em R_b , a perda de retorno ao longo da banda mostra-se mais sensível à

variação em R_a . Para a banda de operação considerada, observa-se que existe uma queda considerável na perda de retorno ao longo de toda a banda na medida em que R_a diminui, aumentando a largura ($R_b - R_a$) do anel que caracteriza a abertura da corneta, que se torna maior que $0,50\lambda_0$, dimensionado inicialmente em [7].

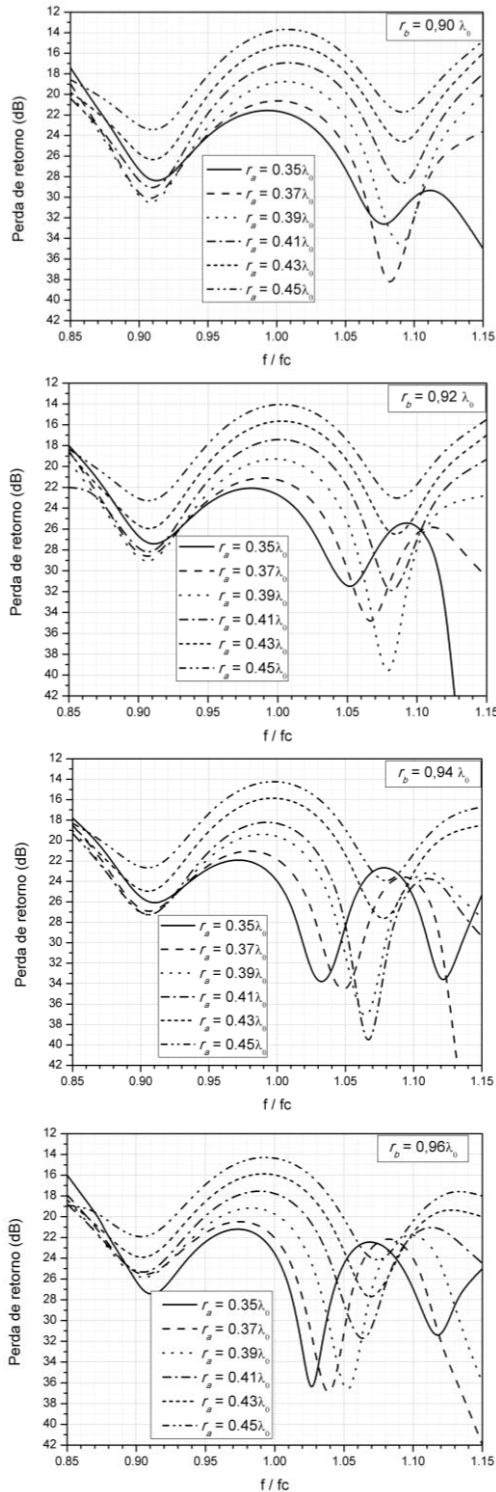


Fig. 5. Análise paramétrica da perda de retorno em função da variação do tamanho da abertura da corneta coaxial (R_a e R_b).

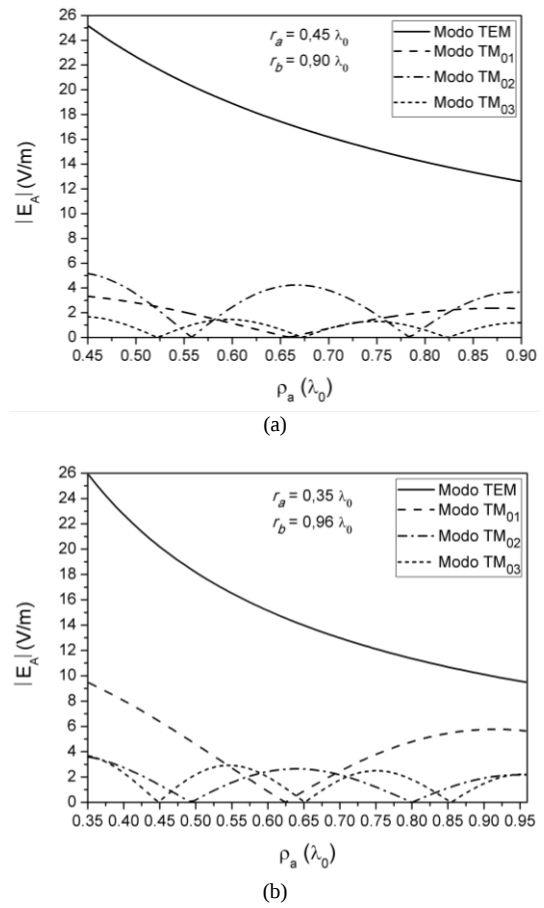


Fig. 6. Módulo da amplitude das componentes transversais do campo elétrico modal, presentes na abertura da corneta coaxial, para (a) a corneta apresentada em [6] com abertura $R_a = 0,45\lambda_0$ e $R_b = 0,90\lambda_0$ e (b) para a corneta com dimensões $R_a = 0,35\lambda_0$ e $R_b = 0,96\lambda_0$.

As Figuras 7 e 8 ilustram os diagramas de radiação, considerando as frequências inicial, central e final da banda ($f/f_0 = 0,85, 1,00, 1,15$), e a variação nas dimensões da abertura R_a e R_b em intervalos de $0,20\lambda_0$. Observa-se que, assim como para a perda de retorno, à medida que a frequência aumenta, o diagrama de radiação fica mais sensível à variação de R_a e R_b , tanto para o lobo principal quanto para os lóbulos laterais. Entretanto, observa-se uma anomalia em relação ao comportamento esperado para as altas frequências. À medida que a abertura fica eletricamente maior espera-se que o lobo principal fique mais colimado. Porém, considerando a frequência final da banda ($f/f_0 = 1,15$), para todos os valores de R_b , o diagrama indica um alargamento do lobo principal com a diminuição de R_a , onde existe um alargamento da abertura ($R_b - R_a$) $> 0,5\lambda_0$, ao contrário do esperado.

Para ambas as análises, redução da perda de retorno e alargamento do lobo principal para o extremo superior da banda em função de uma abertura maior, estes efeitos são devidos ao crescimento da presença do primeiro modo superior (TM_{01}) na abertura, que passa a ser propagante nessas dimensões, considerando as altas frequências da banda.

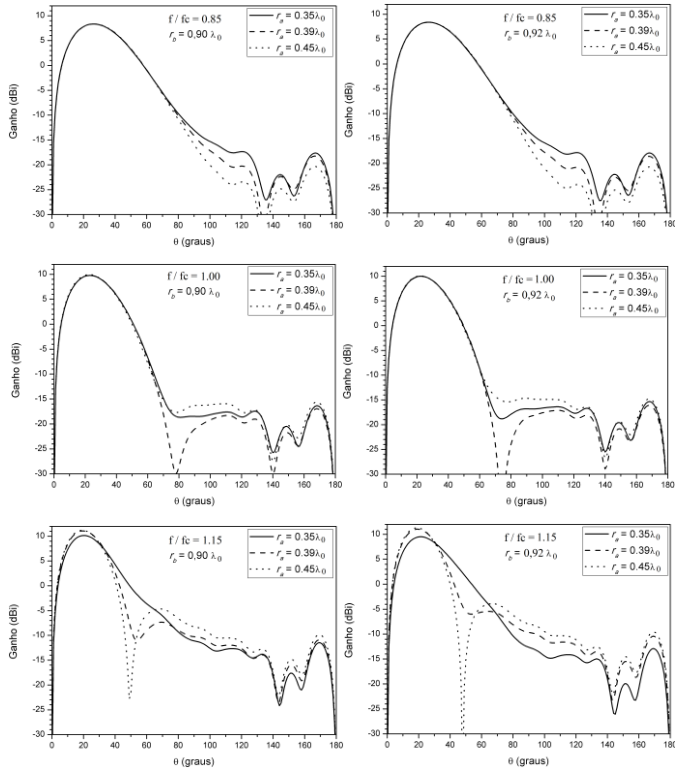


Fig. 7. Análise paramétrica do diagrama de radiação em função do tamanho da abertura da corneta coaxial, para as frequências inicial, central e final.

Para ilustrar o efeito desse primeiro modo superior (TM_{01}) na abertura, considerando a frequência final da banda ($f/f_0 = 1,15$), a Fig. 6 mostra o módulo da amplitude das componentes transversais do campo elétrico modal, presentes na abertura da corneta coaxial, para a corneta apresentada em [7] com abertura $R_a = 0,45\lambda_0$ e $R_b = 0,90\lambda_0$ (Figura 6.(a)) e para a corneta com dimensões $R_a = 0,35\lambda_0$ e $R_b = 0,96\lambda_0$ (Figura 6.(b)). Observa-se que a amplitude do primeiro modo superior TM_{01} é maior para o caso em que a abertura é maior ($R_a = 0,35\lambda_0$ e $R_b = 0,96\lambda_0$) ilustrado na Figura 6.(b) quando comparada ao caso apresentado em [7] ($R_a = 0,45\lambda_0$ e $R_b = 0,90\lambda_0$) ilustrado na Figura 6.(a), afetando o diagrama de radiação da corneta coaxial em relação ao esperado pela presença única do modo TEM, resultando no alargamento do lobo principal, apesar do tamanho elétrico maior da abertura para as altas frequências.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a análise de estabilidade do diagrama de radiação ao longo da banda para uma corneta coaxial TEM, a partir de um estudo paramétrico de variação das dimensões da abertura dessa corneta. Esse efeito foi verificado, além de uma redução da perda de retorno da antena, a partir da propagação do primeiro modo superior TM_{01} em função de uma abertura maior, resultando num alargamento do lobo principal para o extremo superior da banda, apesar de uma abertura eletricamente maior. Além disto, obteve-se este efeito para uma banda 10% maior.

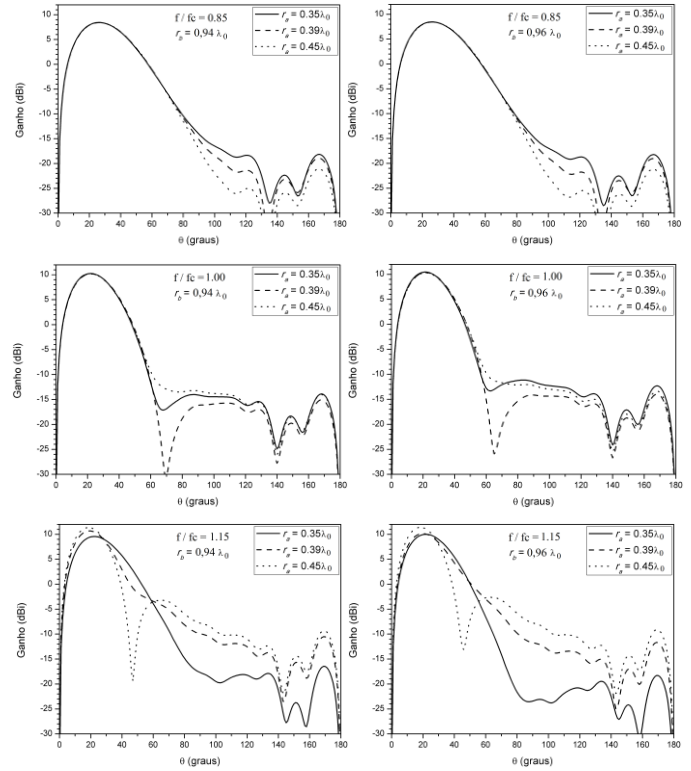


Fig. 8. Análise paramétrica do diagrama de radiação em função do tamanho da abertura da corneta coaxial, para as frequências inicial, central e final.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado por FAPEMIG, CNPq e CAPES/PROCAD.

REFERÊNCIAS

- [1] T. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, H. Zhao, Y. Azar, K. Wang, G. Wong, J. Schulz, M. Samimi, and F. Gutierrez, "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!," *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335–349, May 2013.
- [2] A. G. Pino, A. M. A. Acuña, and J. O. R. Lopez, "An omnidirectional dual-shaped reflector antenna," *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 27, no. 5, pp. 371–374, Dec. 5, 2000.
- [3] F. Moreira and J. Bergmann, "Axis-Displaced Dual-Reflector Antennas for Omnidirectional Coverage with Arbitrary Main-Beam Direction in the Elevation Plane," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 10, pp. 2854–2861, Oct. 2006.
- [4] F. Moreira, A. Prata Jr., and J. R. Bergmann, "GO Shaping of Omnidirectional Dual-Reflector Antennas for a Prescribed Equi-Phase Aperture Field Distribution," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 1, pp. 99–106, Jan. 2007.
- [5] R. Penchel, J. Bergmann, and F. Moreira, "Main-reflector shaping of omnidirectional dual reflectors using local conic sections," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 61, pp. 4379–4383, Aug. 2013.
- [6] R. Penchel, S. Zang, J. Bergmann, and F. Moreira, "GO Shaping of Omnidirectional Dual-Reflector Antennas with Arbitrary Main-Beam Direction in Elevation Plane by Connecting Conic Sections," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2018, Article ID 1409716, 9 pages, 2018.
- [7] J. R. Bergmann and F. J. S. Moreira, "An Omni Directional ADE Reflector Antenna," *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 40, no. 3, Feb. 2004, pp. 250–254.
- [8] S. Zang and J. Bergmann, "Analysis of Omnidirectional Dual-Reflector Antenna and Feeding horn Using Moment Methods," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, v.62, no. 3, p.1534–1538, Mar. 2014.