

Análise de Antenas Duplo-Refletoras com Cobertura Omnidirecional Utilizando o Método da Abertura

Rafael A. Penchel¹, José R. Bergmann²

CETUC - PUC-Rio

Rio de Janeiro, RJ 22453-130

rapenchel@cetuc.puc-rio.com¹, bergmann@cetuc.puc-rio.br²

Fernando J. S. Moreira

Depto. Engenharia Eletrônica - UFMG

Belo Horizonte, MG 31270-901

fernandomoreira@ufmg.br

Resumo — Este trabalho trata da análise de antenas duplo-refletoras para cobertura omnidirecional, utilizando para isto o Método da Abertura associado às aproximações da Óptica Geométrica para determinar os campos sobre esta abertura. Para comparação, foram utilizados dois tipos de abertura: cilíndrica e outra coincidente com a superfície do refletor sintetizado. Para avaliar os métodos adotados, foi utilizado como referência o resultado da análise eletromagnética fornecida pela solução da Equação Integral do Campo Elétrico através do Método de Momentos.

Palavras-chaves — Antenas refletoras, antenas Omnidirecionais; método da abertura;

I. INTRODUÇÃO

A popularização do acesso à Internet, a necessidade de conteúdos cada vez melhores (voz e vídeo) e a migração das redes de telefonia para sistemas com transmissão de voz sobre protocolo de internet (IP) têm elevado o desempenho das conexões requeridas. Para provimento deste tipo de serviço, tem-se utilizado largamente o WiMax. Como resultado das características de propagação nas faixas de frequência utilizadas por esta tecnologia, microondas e ondas milimétricas, a arquitetura de rede é celular.

Um modelo de cobertura que tem sido explorado é o de uma célula omnidirecional. A maior dificuldade dessa configuração surge no planejamento do raio de cobertura, pois nessa faixa de frequência os irradiadores apresentam baixa eficiência e, consequentemente, baixo ganho. Uma característica que se tem trabalhado, através da modelagem do refletor principal de antenas duplo-refletoras com cobertura omnidirecional, é o diagrama de co-secante no plano de elevação [1]-[3]. Vários trabalhos têm sido publicados tratando deste tipo de modelagem, e para análise do diagrama de radiação tem-se utilizado frequentemente o Método de Momentos (MoM) [1]-[4]. O presente trabalho propõe uma forma alternativa numericamente mais rápida, através da utilização do Método da Abertura (ApM) associado às aproximações da Óptica Geométrica (GO) para determinar os campos sobre a abertura. Para comparação, foram utilizados dois tipos de abertura: cilíndrica e outra coincidente com a superfície do refletor sintetizado. Como configuração de refletores foi escolhido a OADE (*Omnidirectional Axially Displaced Ellipse*).

II. MODELAGEM DO REFLETOR PRINCIPAL

Os principais aspectos do processo de modelagem do refletor principal das antenas duplo-refletoras com cobertura omnidirecional uniforme são amplamente discutidos em [1]-[3] e não serão desnecessariamente repetidos aqui. Entretanto é importante ressaltar alguns dos principais parâmetros utilizados no processo de síntese e apresentados na Fig. 1. A geratriz do sub-refletor é uma cônica de eixo deslocado e os seus principais parâmetros e, consequentemente, a superfície circularmente simétrica do sub-refletor podem ser obtidos através da formulação apresentada em [4].

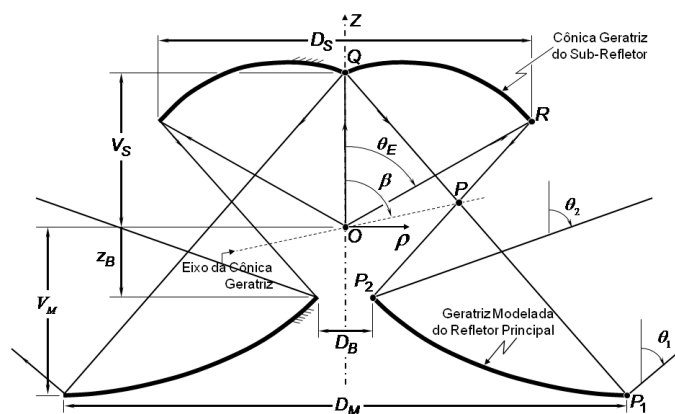


Figura 1 - Parâmetros geométricos básicos de uma antena OADE com refletor principal modelado

No presente sistema duplo-refletor, o sub-refletor é iluminado por uma frente de onda esférica com centro de fase na origem O e diagrama de radiação $G_F(\theta_F)$ circularmente simétrico, onde θ_F é a direção relativa ao eixo z do raio que parte de O . Após a reflexão no sub-refletor, a frente de onda irá atravessa a cáustica no ponto P , e incidir sobre o refletor principal como uma frente de onda astigmática. Após a segunda reflexão, o campo torna-se uma onda esférica na região de campo distante, cujo diagrama de radiação circularmente simétrico é representado por $G_A(\theta)$, onde θ é a

direção de observação relativa ao eixo de simetria z . Para a transformação $G_F(\theta_F) \rightarrow G_A(\theta)$ foi utilizado o processo de modelagem do refletor principal adotado em [1] e [2], sendo obtida através de duas estruturas de raios distintos. Para $\theta_1 > \theta_2$ a estrutura de raios gera uma cáustica virtual, como ilustrado na Fig. 2 (a), caso contrário, $\theta_2 > \theta_1$ será gerado uma cáustica real, conforme Fig. 2 (b).

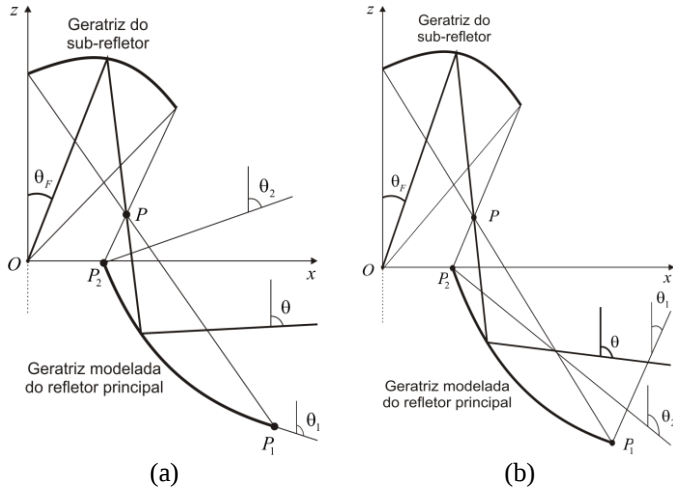


Figura 2 - Mapeamento com cáustica do refletor principal (a) virtual e (b) real

III. CAMPO NA ABERTURA

A análise das antenas modeladas será feita através do ApM, sendo adotado inicialmente uma abertura cilíndrica (ApM-CI) e posteriormente uma abertura conformada à superfície do refletor principal (ApM-CO). Entretanto, antes de aplicar estes métodos é necessário determinar o campo na abertura. A determinação de tal campo será feita utilizando princípios da GO e conceitos de conservação da energia, dado que se conhece o diagrama de radiação $G_A(\theta)$ no campo distante e o diagrama do alimentador $G_F(\theta_F)$ [1]. Desta forma, pode-se mostrar que para a abertura cilíndrica o campo elétrico na abertura é dado por [3]:

$$\vec{E}_A(\theta', \phi') = f_A(z') \hat{\theta}' \quad (1)$$

com

$$f_A(z') = \left[\frac{2\eta}{\rho_A r_c} G_A(\theta') \sin \theta' \right]^{1/2} e^{-jkl_0} \quad (2)$$

onde η é a impedância intrínseca do meio, l_0 é o caminho óptico percorrido pelo raio da fonte à abertura cilíndrica, ρ_A é a distância entre o eixo z e a abertura e o raio r_c é definido como a distância entre abertura (ponto A) e cáustica (ponto C), que pode ser determinada através do prolongamento dos raios, como mostra a Fig. 3. Para $d\alpha$ muito pequeno, pode-se

aproximar a distancia entre a cáustica (ponto C) e o refletor o refletor modelado (ponto M) $\overline{CM}$ por $\overline{CM}^{[n]}$ (Fig. 3).

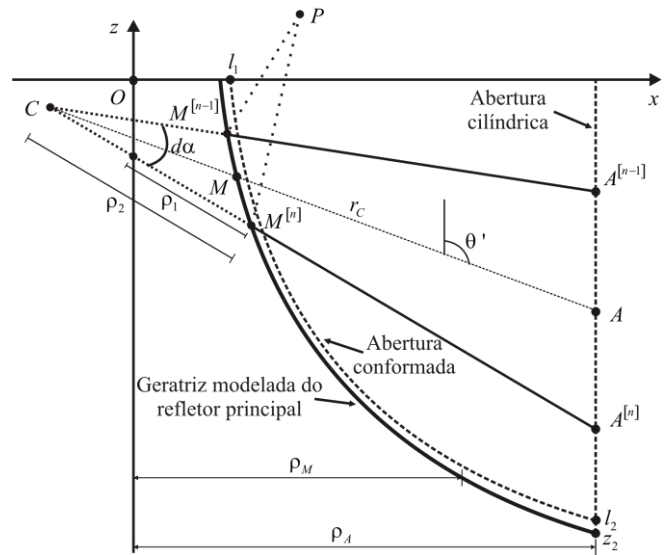


Figura 3 - Aberturas cilíndrica e conformada

Nos casos onde o refletor é modelado, a definição da abertura cilíndrica pode apresentar problemas, por exemplo, devido presença de uma cáustica real na frente do refletor, e a escolha do raio do cilindro pode influenciar nos resultado. Em virtude disto, é proposta uma nova abertura (conformada) localizada imediatamente após a reflexão sobre o refletor principal. Ao definir esta nova abertura (abertura conformada), os problemas mencionados anteriormente são solucionados. Nesta nova abordagem, a abertura não mais será cortada por cáustica e, conseqüentemente, o campo elétrico e a abertura poderão ser definidos de forma única seja qual for a opção de mapeamento[3].

Segundo os princípios da GO, o campo elétrico refletido pelo refletor principal corresponde a uma frente de onda astigmática, ou seja, seus raios de curvatura são diferentes nos dois planos principais ($\rho_1 \neq \rho_2$). Imediatamente após a reflexão, esta frente de onda possui raios de curvatura ρ_1 (relativo ao plano de elevação, onde θ' varia e ϕ' é constante) e ρ_2 (plano azimutal, perpendicular ao anterior, onde ϕ' varia e θ' é constante), como apresentado na Fig. 3. Como ρ_2 é sempre positivo ($\rho_2 > 0$), se $\rho_1 > 0$ a cáustica é virtual e se $\rho_1 < 0$ a cáustica é real. O campo na abertura conformada é dado por [3]:

$$\vec{E}_M(\theta', \phi') = f_M(l') \hat{\theta}' \quad (3)$$

com

$$f_M(l') = \left[\frac{2\eta}{\rho_1 \rho_2} G_A(\theta') \right]^{1/2} e^{-jkl_1} \quad (4)$$

onde ρ_1 e ρ_2 são os raios de curvatura da frente de onda sobre a abertura conformada, l_1 é o campinho óptico percorrido pelo raio da fonte à abertura conformada. Analisando (4), observa-se que termo entre colchetes pode ser imaginário puro caso $\rho_1 < 0$. Isto ocorre quando a cáustica real está entre o refletor principal e a abertura. Nesta situação ocorre um desvio de fase de $\pi/2$ conhecido como *gouy phase-shift*, que surge naturalmente ao tratarmos a raiz como uma grandeza complexa [5].

IV. CAMPO NA REGIÃO DE CAMPO DISTANTE

Aplicando o princípio da equivalência [6], as densidades superficiais de correntes elétrica e magnética equivalentes na abertura cilíndrica podem ser expressas através de [3]:

$$\vec{J}_s(\theta', \phi') = \frac{f_A(z')}{\eta} (\cos \theta \hat{r} - \sin \theta \hat{\theta}) \quad (5)$$

$$\vec{M}_s(\theta', \phi') = -f_A(z') \sin \theta' \{ [\sin \theta \sin(\phi - \phi')] \hat{r} + [\cos \theta \sin(\phi - \phi')] \hat{\theta} + [\cos(\phi - \phi')] \hat{\phi} \} \quad (6)$$

Mostra-se que na região de campo distante, o campo elétrico é dado por:

$$E_\theta = \rho_A \frac{jk}{2} \frac{e^{-jkr}}{r} (\sin \theta I_0 + I_1) \quad (7)$$

onde

$$I_0 = J_0(k\rho_A \sin \theta) \int_{z_1}^{z_2} f_A(z') e^{jkz_A(z') \cos \theta} dz' \quad (8)$$

$$I_1 = jJ_1(k\rho_A \sin \theta) \int_{z_1}^{z_2} f_A(z') \sin \theta' e^{jkz_A(z') \cos \theta} dz' \quad (9)$$

Para a abertura conforma, as densidades superficiais de correntes elétrica e magnética são dadas por:

$$\vec{J}_s(\theta', \phi') = -\frac{f_M(l')}{\eta} \{ [t_{M\rho} \sin \theta \cos(\phi - \phi') + t_{Mz} \cos \theta] \hat{r} + [t_{M\rho} \cos \theta \cos(\phi - \phi') - t_{Mz} \sin \theta] \hat{\theta} - [t_{M\rho} \sin(\phi - \phi')] \hat{\phi} \} \quad (10)$$

$$\vec{M}_s(\theta', \phi') = -f_M(l') (t_{M\rho} \cos \theta' - t_{Mz} \sin \theta') \times \{ \sin(\phi - \phi') (\sin \theta \hat{r} + \cos \theta \hat{\theta}) + [\cos(\phi - \phi')] \hat{\phi} \} \quad (11)$$

onde termos $t_{M\rho}$ e t_{Mz} , correspondem as componentes do vetor tangente a superfície nas direções $\hat{\rho}$ e $\hat{z}$, respectivamente. Na região de campo distante, o campo elétrico é dado por:

$$E_\theta = \frac{jk}{2} \frac{e^{-jkr}}{r} (I_1 - \sin \theta I_0) \quad (12)$$

$$I_0 = \int_{l_1}^{l_2} t_{Mz} f_M(l') J_0(k\rho_M \sin \theta) e^{jkz_M(l') \cos \theta} \rho_M dl' \quad (13)$$

$$I_1 = j \int_{l_1}^{l_2} A_M(l') f_M(l') J_1(k\rho_M \sin \theta) e^{jkz_M(l') \cos \theta} \rho_M dl' \quad (14)$$

onde

$$A_M(l') = t_{M\rho} (\cos \theta' + \cos \theta) - t_{Mz} \sin \theta' \quad (15)$$

V. ESTUDO DE CASO

No primeiro estudo de caso, o refletor principal foi modelado para apresentar um diagrama cossecante ao quadrado no plano de elevação entre $\theta_2 = 93^\circ$ e $\theta_1 = 135^\circ$ com cáustica virtual, como mostra a Fig. 4. Para a determinação da antena OADE clássica foram utilizados os seguintes parâmetros: a distância entre a origem e o vértice $V_s = 7,64\lambda$, o diâmetro do refletor principal $D_M = 17,56\lambda$, a coordenada z da borda interna do refletor principal $z_B = 0$, o diâmetro da abertura central $D_B = 2,4\lambda$, a largura da abertura cônica $W_A = 7\lambda$ e o ângulo entre o eixo de simetria (eixo z) e o eixo da parábola geratriz $\gamma = 102^\circ$ [4]. As funções que descrevem o alimentador e o campo na região de campo distante são discutidas em [1]. Cabe ressaltar que para as dimensões da abertura coaxial uso-se neste trabalho $r_i = 0,45\lambda$ como dimensão do raio interno e $r_e = 0,9\lambda$ para o raio externo.

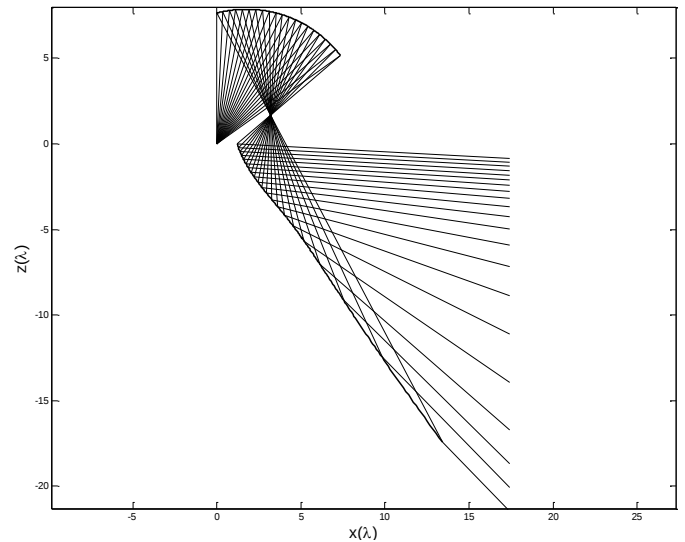


Figura 4 - Geratrizes do subrefletor e do refletor principal da antena OADE e o diagrama de raios

A Fig. 5 apresenta os diagramas de radiação da antena ilustrada na Fig. 4, determinados através do ApM-CI, ApM-CO e MoM. A abertura cilíndrica adotada pelo ApM-CI foi definida com raio idêntico ao do ponto da borda inferior do refletor principal (ρ_A). Analisando os diagramas de radiação (Fig. 5), é possível observar que na região onde a intensidade

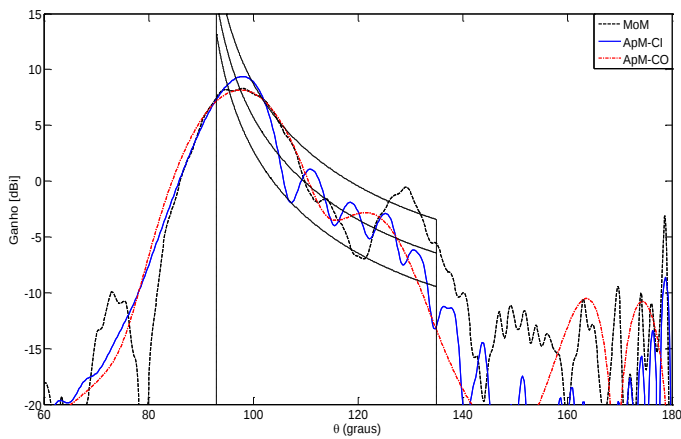


Figura 5 - Diagrama de radiação da antena OADE modelada. Em linhas tracejadas o perfil cossecante ao quadrado e seus limites $\pm 3\text{dB}$

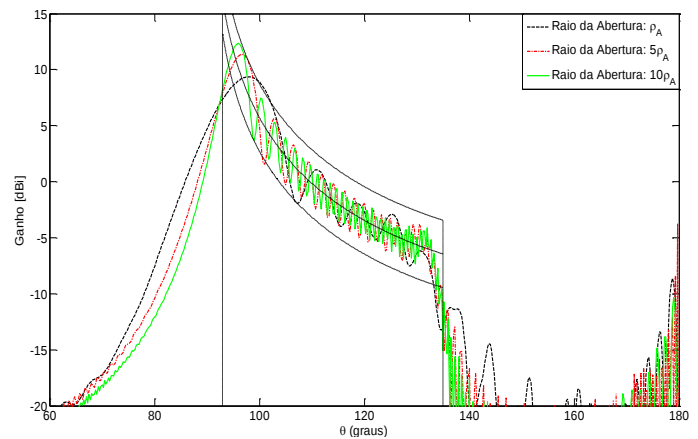


Figura 6 - Diagrama de radiação da antena OADE modelada com diferentes aberturas. Em linhas tracejadas o perfil cossecante ao quadrado e seus limites $\pm 3\text{dB}$

de radiação é maior ($90^\circ \leq \theta \leq 110^\circ$) as diferenças entre o ApM-CO e MoM são inferiores a 0,1 dB. Para $\theta > 110^\circ$, os diagramas começam a divergir na medida em que a intensidade da cobertura diminui, e tornam-se mais intensos o transbordamento, os efeitos difrativos, e a radiação direta do alimentador. Nas direções $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ e $110^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ podemos perceber que os métodos divergem em virtude das aproximações feitas pela GO e pelo ApM. Na região mais intensa do diagrama de radiação (Fig. 5), observa-se também que os resultados do ApM-CO aproximam melhor aos obtidos pelo MoM, quando comparados com os do ApM-CI. Enquanto o primeiro apresenta diferenças da ordem de 0,1 dB, o segundo apresenta diferenças superiores a 6 dB.

É importante ressaltar que a determinação da abertura no ApM-CI é diferente para as antenas clássicas e modeladas. Nas antenas clássicas o tamanho da abertura independe do raio, já para o refletor é modelado o tamanho da abertura muda em função do raio. Diferente do caso clássico, o fluxo de potência na abertura não é somente na direção ao longo do horizonte pois a fase do campo varia ao longo da abertura.

Além das diferenças encontradas nas proximidades do eixo z devido a ausência das componentes radiais de corrente elétrica sobre a abertura, outro problema que ocorre no ApM-CI é que o diagrama de radiação muda acentuadamente com a escolha do raio da abertura cilíndrica, como mostra a Fig. 6. Nesta figura são apresentados os diagramas de radiação para aberturas com raios ρ_A , $5\rho_A$ e $10\rho_A$. Observe que na medida em que o raio aumenta, aumenta o tamanho da abertura e o diagrama tende para a curva ideal (secante ao quadrado). Aumenta a definição do roll-off do diagrama nas regiões de transição e a frequência das oscilações sobre a região de cobertura, e diminui a largura dos lóbulos laterais, como se a frente de onda fosse originária de um refletor maior. Desta forma, o resultado fornecido pelo ApM-CI depende da escolha da abertura, o que limita sua aplicação à análise de antenas com diagrama colimado no plano vertical.

VI. CONCLUSÕES

Foi possível observar que o ApM-CO apresentou resultados mais próximos do MoM do que o ApM-CI, sobretudo nas direções próximas à direção de máximo. Entretanto, para as antenas modeladas a região de interesse não se restringe ao lóbulo principal, e na medida em que nos afastamos da direção de máximo o campo gerado por efeitos difrativos e de acoplamento eletromagnético entre os refletores tem maior relevância e, conseqüentemente, o método apresenta maior erro. Além disso, mostrou-se que a abertura conformada é mais adequada para antenas duplo-refletores com cobertura omnidirecional.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível devido ao apoio do CNPq, FAPEMIG, e CAPES-PROCAD 0377058.

REFERENCES

- [1] José R. Bergmann and Fernando J. S. Moreira, "Omnidirectional ADE antenna with GO shaped main reflector for arbitrary far-field pattern in the elevation plane," IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 3, no. 5, pp. 1028–1035, Oct. 2009.
- [2] José R. Bergmann and Fernando J. S. Moreira, "Bandwidth behavior of omnidirectional dual-reflector antennas synthesized for uniform coverage," Journal of Microwaves, Optoelectronics, and Electromagnetic Applications, vol. 8, no. 1, pp. S1–S8, June 2009.
- [3] Rafael A. Penchel, "Modelagem Geométrica de Antenas Duplo-Refletores para Cobertura Omnidirecional", Dissertação de Mestrado, DELT/UFMG, dezembro 2009.
- [4] Fernando J. S. Moreira and J. R. Bergmann, "Axis-Displaced Dual-Reflector Antennas for Omnidirectional Coverage with Arbitrary Main-Beam Direction in the Elevation Plane," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 54, no. 10, pp. 2854–2861, Oct. 2006.
- [5] S. Feng and H. G. Winful, "Physical origin of the Gouy phase shift", Optics Letters, 26(8):485–487, 2001.
- [6] R. F. Harrington, Time-Harmonic Electromagnetic Fields, McGraw-Hill Book Co., New York, 1961.