

# Análise de antena Cassegrain duplo-refletora axialmente simétrica com escape dielétrico

Camila Figueiredo Vasconcelos Percegoni Vidal,  
Úrsula do Carmo Resende & Sandro Trindade Mordente Gonçalves

**Abstract**—In this work the method of moments together with the integral equations of the electric and magnetic field is applied in the evaluation of electromagnetic scattering by bodies of revolution. The method is then used in the rigorous analysis of the complete system (main reflector, subreflector, feeder and escape dielectric) of a Cassegrain dual-reflector antenna axially symmetric. A procedure is presented for modeling the junction points between dielectric and conductive surfaces. Therefore, an analysis is performed considering the antenna which consists only of conductive material and the results are compared with other available in the literature. Subsequently, an escape dielectric structure is included in the analysis over a specific frequency range.

**Index Terms**— Cassegrain dual reflector antenna, escape dielectric, electromagnetic scattering, Method of Moments.

**Resumo**—Neste trabalho o Método dos Momentos juntamente com as equações integrais dos campos elétrico e magnético é aplicado na avaliação do espalhamento eletromagnético por corpos de revolução. O método é então empregado na análise rigorosa do sistema completo (refletor principal, subrefletor, alimentador e escape dielétrico) de uma antena Cassegrain duplo-refletora axialmente simétrica. É apresentado o procedimento desenvolvido para representar os pontos de junção entre as superfícies dielétricas e condutoras. Para tanto, primeiramente, é realizada uma análise considerando a antena, constituída somente de material condutor e os resultados obtidos são comparados com outros disponíveis na literatura. A seguir a estrutura do escape dielétrico é incluída na análise ao longo de uma faixa de frequência específica.

**Palavras chave**—Antena Cassegrain duplo-refletora, escape dielétrico, espalhamento eletromagnético, Método dos Momentos.

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas com antenas refletoras são os mais utilizados quando se faz necessário um alto ganho. Esse tipo de antena permite obter facilmente ganhos acima de 30 dBi na região de microondas. Outras vantagens são alta eficiência, relativa simplicidade mecânica e características inerentes de banda larga. Estas antenas possuem várias aplicações em telecomunicações, envolvendo desde grandes rádio-

telescópios até as geometrias compactas utilizadas em telefonia móvel. Em aplicações de alta eficiência, geralmente, são empregadas configurações de duplo-refletores para o controle simultâneo da amplitude e da fase do campo eletromagnético na abertura da antena [1]. Um tipo de antena de duplo-refletores muito comum é a com simetria axial. Embora neste caso o bloqueio proporcionado pelo subrefletor não permita uma iluminação uniforme da abertura, diminuindo sua eficiência, a simetria axial conduz a uma simplificação no processo de fabricação e alinhamento dos refletores. As configurações de duplo-refletores com simetria axial mais empregadas são as clássicas Cassegrain e Gregorian [2]. Em antenas refletoras, eficiências ainda mais elevadas podem ser alcançadas a partir do modelamento de suas superfícies [3].

Com o desenvolvimento da tecnologia de materiais dielétricos, o modelamento de superfície vem sendo cada vez mais empregado na construção de antenas refletoras. Dentre as principais aplicações podem-se destacar a sustentação tanto do subrefletor como a do alimentador, evitando a necessidade de estais. Neste caso, o material dielétrico (escape) pode ainda operar como uma lente para o controle dos campos refratados, sendo possível a construção de uma antena mais compacta e eficiente sem a necessidade do modelamento das superfícies refletoras [4] e [5].

A análise de antenas refletoras é usualmente realizada através do estudo do espalhamento eletromagnético. Diversas formulações têm sido desenvolvidas e empregadas para solução do problema de espalhamento eletromagnético. Um fator extremamente relevante ao se escolher a técnica é o tipo do objeto sob estudo. Para o caso da dimensão do corpo ser grande em relação ao comprimento de onda do sinal emitido pela fonte, métodos assintóticos tais como Óptica Física (PO) [6], rastreamento de raios representado pela Teoria Uniforme da Difração (UTD) [7] e Teoria Uniforme Assintótica são os mais utilizados. Para situações em que a dimensão do objeto iluminado é próxima ou menor que o comprimento de onda do sinal emitido pela fonte, pode ser empregado o Método das Diferenças Finitas no Domínio do Tempo (FDTD – *Finite Difference Time Domain*). Uma limitação deste método refere-se à sua aplicação em objetos com geometrias arbitrárias curvas. Um método muito utilizado é o método de elementos finitos (FEM – *Finite Element Method*), que começou a ser utilizado na engenharia elétrica, no início dos anos 60 por P. P. Silvester [8]. Um método largamente aplicado que possui sua precisão já comprovada na literatura é o método dos momentos (MoM- *Method of Moments*), que foi amplamente utilizado e documentado por

Manuscrito recebido em 15 de fevereiro de 2013

C.F.V. P. Vidal ([camila.vidal@una.br](mailto:camila.vidal@una.br)) pertence ao Centro universitário UNA, MG, Av. Afonso Vaz de Melo, n 456, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP: 36640-070.

U. C. Resende ([resendeursula@des.cefetmg.br](mailto:resendeursula@des.cefetmg.br)) e S. T. M. Gonçalves ([sandro@div.cefetmg.br](mailto:sandro@div.cefetmg.br)) pertencem ao CEFET-MG, Av. Amazonas, 7675, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP: 35510-000.

Harrington [9] para análise de problemas de espalhamento eletromagnético. Este método pode ser empregado a geometrias de formas arbitrárias e permite a transformação de equações integrais, cujo integrando é desconhecido, em um sistema linear. Embora o MoM apresente resultados eficientes e possa ser aplicado a diferentes geometrias, alguns cuidados devem ser tomados na sua aplicação. Entre eles pode-se destacar: a escolha apropriada de funções de base para representar o comportamento da variável desconhecida sob análise, o emprego de algoritmos eficientes para a solução do sistema linear e processos numéricos apropriados para avaliação das integrais presentes. Em especial, para corpos tridimensionais axialmente simétricos (BOR – Bodies of Revolution), como por exemplo, antenas refletoras, a solicitação computacional pode ser sensivelmente reduzida dado que a análise pode ser feita somente em duas dimensões.

Considerando a importância e as demandas de aplicação, assim como a necessidade de desenvolvimento de ferramentas para análise acurada de antenas refletoras, o objetivo deste trabalho é aplicar o Método dos Momentos na análise rigorosa do sistema completo (refletor principal, subrefletor, alimentador e escape dielétrico) da antena Cassegrain duplo-refletora axialmente simétrica. Em especial deseja-se apresentar um procedimento para avaliar os pontos de junção entre superfícies dielétricas e condutoras. Para tanto, primeiramente é realizada uma análise considerando a antena constituída somente de material condutor e os resultados obtidos são comparados com resultados disponíveis na literatura. A seguir a estrutura do escape dielétrico é incluída na análise.

## II. APLICAÇÃO DO MOM NA AVALIAÇÃO DO ESPALHAMENTO ELETROMAGNÉTICO POR BOR

Considerando um BOR, como a esfera ilustrada na Fig.1, as componentes tangenciais das equações integrais dos campos elétrico e magnético (EFIE e MFIE) para os meios interno e externo ao BOR são, respectivamente [10]:

$$[\eta_0 \mathbf{L}_0(\mathbf{J}) + \mathbf{K}_0(\mathbf{M})]_{\text{tan}} = \mathbf{E}_{\text{tan}}^{\text{inc}}, \quad (1)$$

$$[\mathbf{L}_0(\mathbf{M}) - \eta_0 \mathbf{K}_0(\mathbf{J})]_{\text{tan}} = \mathbf{H}_{\text{tan}}^{\text{inc}}, \quad (2)$$

$$[\eta_1 \mathbf{L}_1(\mathbf{J}) + \mathbf{K}_1(\mathbf{M})]_{\text{tan}} = 0, \quad (3)$$

$$[\mathbf{L}_1(\mathbf{M}) - \eta_1 \mathbf{K}_1(\mathbf{J})]_{\text{tan}} = 0, \quad (4)$$

$$\mathbf{L}_i(\mathbf{X}) = \frac{j}{4\pi k_i} \int_{s'} [k_i^2 \mathbf{X}(\mathbf{r}') G_i(\mathbf{r}, \mathbf{r}') - \nabla' \mathbf{X}(\mathbf{r}') \nabla' G_i(\mathbf{r}, \mathbf{r}')] ds', \quad (5)$$

$$\mathbf{K}_i(\mathbf{X}) = \nu_i \hat{n} \times \frac{\mathbf{X}(\mathbf{r})}{2} + \frac{1}{4\pi} \int_{s'} [\mathbf{X}(\mathbf{r}') \times \nabla' G_i(\mathbf{r}, \mathbf{r}')] ds', \quad (6)$$

em que o índice  $i$  representa a região interior ( $i = 1$ ) e exterior ( $i = 0$ ) ao BOR,  $\eta$  é a impedância intrínseca do meio  $i$ ,  $\mathbf{J}$  e  $\mathbf{M}$  são as correntes superficiais elétrica e magnética, respectivamente,  $\mathbf{E}^{\text{inc}}$ ,  $\mathbf{H}^{\text{inc}}$  são os campos elétrico e magnético incidentes no meio externo ao BOR,  $S$  é a superfície do BOR,  $\hat{n}$  é o vetor normal a essa superfície,  $\mathbf{X}$  representa a corrente elétrica ou magnética sobre  $S$ ,  $\nu_i$  é uma constante que vale 1 ou -1 se o campo é observado fora ou dentro da superfície,

respectivamente e a função de Green para a região  $i$  é:

$$G_i(\mathbf{r}, \mathbf{r}') = \frac{e^{-jk_i |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}'|}, \quad (7)$$

em que  $\mathbf{r}$  e  $\mathbf{r}'$  são os pontos de observação e fonte respectivamente.

Na solução de problemas de espalhamento são empregadas a EFIE, equações (1) e (3), e a MFIE, equações (2) e (4), ou diferentes combinações entre estas. Para análise de corpos condutores elétricos perfeitos (CEP) de superfície fechada, é empregada uma combinação conhecida como CFIE [11] (Combined Field) para evitar problemas de ressonância. Para corpos dielétricos são empregadas, dentre outras, as combinações denominadas Müller ou PMCHWT [12].

Para avaliação numérica das equações (1)-(4) utilizando o MoM as correntes equivalentes superficiais são representadas em termos de funções de base ao longo da geratriz do BOR. Neste trabalho são utilizadas funções de base triangulares, as quais são descritas sobre dois seguimentos consecutivos da curva geratriz do BOR, conforme ilustrado na Fig. 1. Assim as correntes  $\mathbf{J}$  e  $\mathbf{M}$  são modeladas por [10]:

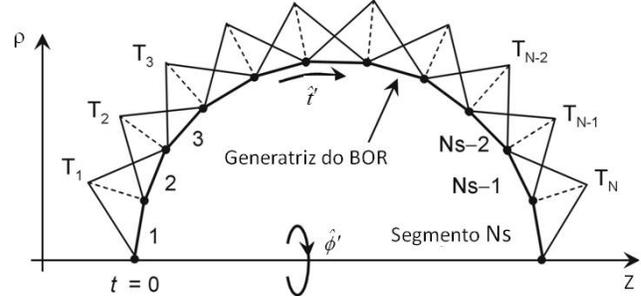


Fig. 1. Distribuição de funções triangulares sobre a geratriz de uma esfera

$$\mathbf{X}(\mathbf{r}') = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{j=1}^{Nt} I_{jn}^{Xt} \frac{T_j^t(t')}{\rho'} \hat{t}' + \sum_{j=1}^{N\phi} I_{jn}^{X\phi} \frac{T_j^\phi(t')}{\rho'} \hat{\phi}' \right] e^{-jn\phi'}, \quad (8)$$

em que  $\hat{t}'$  e  $\hat{\phi}'$  são as direções unitárias tangenciais a superfície  $S$ ,  $T_j^t(t')$  e  $T_j^\phi(t')$  são funções triangulares,  $I_{jn}^{Xt}$  e  $I_{jn}^{X\phi}$  são os coeficientes desconhecidos de  $\mathbf{X}$  e  $Nt$  e  $N\phi$  são o número de funções triangulares nas direções  $\hat{t}'$  e  $\hat{\phi}'$ , respectivamente. Na Eq. (8), o termo  $e^{-jn\phi'}$  corresponde à expansão em Fourier de  $\phi'$  e a divisão  $\rho'$  evita problemas de singularidade para segmentos próximos ao eixo de simetria. Para as funções de teste também são utilizadas funções triangulares. Todas as integrais presentes na formação são avaliadas usando quadraturas Gaussianas com o tratamento apropriado das singularidades [13].

## III. ANÁLISE DE ANTENA CASSEGRAIN DUPLO-REFLETORA AXIALMENTE SIMÉTRICA

A antena sob estudo é ilustrada na Fig. 2 e os parâmetros geométricos são os mesmos apresentados em [1]. Para a análise, a frequência de operação é tal que o comprimento de onda no espaço livre é igual a 1 metro. Essa antena é excitada pelo guia circular ilustrado na Fig. 3, operando no modo  $TE_{11}$  polarizado na direção  $\hat{x}$ . A análise é conduzida empregando a

formulação CFIE para a superfície fechada da corneta e a formulação EFIE para as superfícies abertas do subrefletor e do refletor principal. O diagrama de radiação obtido na análise é apresentado na Fig. 5 juntamente com o resultado apresentado em [1]. Pode-se verificar uma excelente concordância entre as soluções.

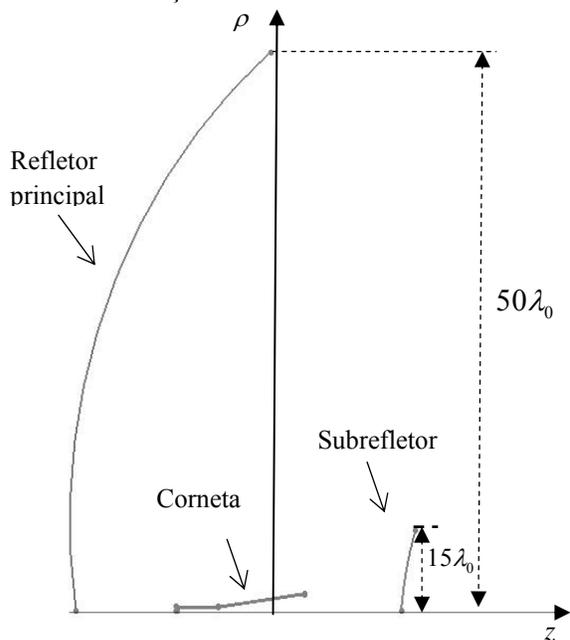


Fig. 2 – Geometria da antena Cassegrain duplo refletora axialmente simétrica

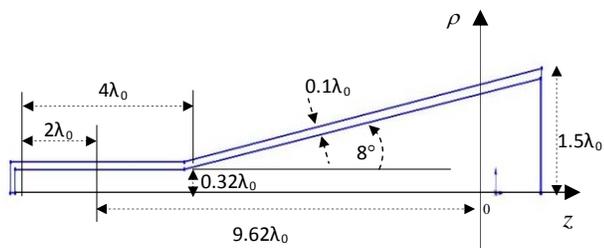
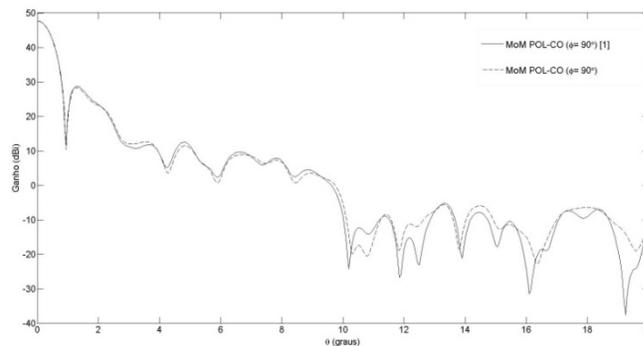


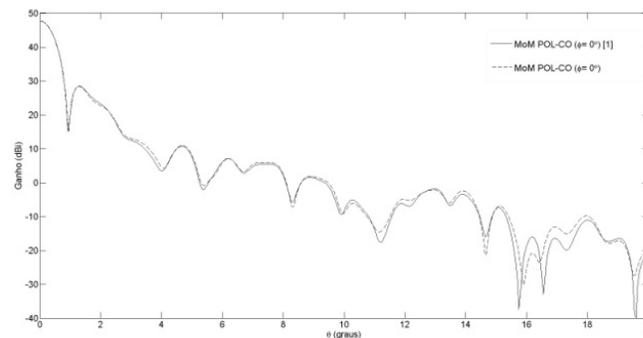
Fig. 3 – Geometria da corneta alimentadora

IV. ANÁLISE DE ANTENA CASSEGRAIN DUPLO REFLETORA AXIALMENTE SIMÉTRICA COM ESCAPE DIELÉTRICO

Com o objetivo de investigar uma configuração geométrica mais robusta fisicamente, ou seja, onde o alimentador é sustentado e protegido por um escape dielétrico, nesta seção é realizado um estudo da antena apresentada na Seção III considerando a inclusão do mesmo como ilustrado, fora de escala, na Fig.. A geometria do escape foi definida de forma a garantir a não obstrução do percurso da onda eletromagnética na trajetória: subrefletor, refletor principal e espaço livre. O formato da superfície do escape deve ser tal que a onda eletromagnética não sofra nenhuma reflexão na transição do meio dielétrico para o ar. Embora esta situação ideal não seja possível, para a antena sob análise, o formato da face do escape dielétrico sobre a qual a onda eletromagnética proveniente do alimentador incide, foi definido de forma a minimizar estas reflexões.



a) Plano  $\phi = 90^\circ$



b) Plano  $\phi = 0^\circ$

Fig. 4 – Diagrama de radiação para antena Cassegrain duplo refletora axialmente simétrica.

Os escapes devem ser constituídos de um material dielétrico que atenda a alguns requisitos elétricos e mecânicos dentre os quais se podem destacar: alta resistência mecânica, conservação das características elétricas e mecânicas frente às variações de temperatura, alta durabilidade e baixo peso. Neste trabalho é considerado, para o escape, um material dielétrico cuja permissividade relativa é igual a 2,08, que é um valor comum de permissividade de materiais dielétricos empregados neste tipo de aplicação de antenas.

Para descrever o procedimento empregado na avaliação da antena ilustrada na Fig., esta é rerepresentada, na Fig. onde é destacado o ponto de junção entre as interfaces dielétricas e condutoras. Na análise desta antena é necessária a utilização de dois problemas equivalentes distintos, conforme Fig. b) e c). Para cada um destes problemas equivalentes, o campo eletromagnético é determinado considerando a contribuição das correntes em todas as interfaces que limitam a região em questão. No ponto de junção entre a superfície condutora do refletor principal e dielétrica do escape, é considerado um tratamento especial de forma a atender a Lei de Kirchhoff das correntes para o problema equivalente externo e assegurar a continuidade da corrente superficial na direção  $\hat{e}$  e descontinuidade na direção  $\hat{\phi}$ , para o problema equivalente interno. Este tratamento especial é executado considerando três curvas geratrizes idênticas para descrever a superfície comum entre o refletor principal e o escape dielétrico, como ilustrado, fora de escala, na Fig. a), pelas superfícies  $S_5$ ,  $S_6$  e  $S_7$ .

Assim, as correntes que contribuem para o problema equivalente externo são aquelas sob as interfaces  $S_5, S_6, S_8$  e  $S_9$ , conforme ilustrado na Fig.6 b). Para assegurar a Lei de Kirchhoff neste problema, a distribuição de funções triangulares sob as interfaces  $S_5, S_6$  e  $S_8$  é executada conforme apresentado na Fig. a) para a direção  $\hat{i}$  e Fig. b) para a direção  $\hat{\phi}$ . Para a interface  $S_6$  é utilizado um triângulo padrão nas direções  $\hat{i}$  e  $\hat{\phi}$  e para as interfaces  $S_5$  e  $S_8$  é utilizado um “super triângulo” na direção  $\hat{i}$  (garantindo a continuidade da corrente) e “meios triângulos” na direção  $\hat{\phi}$  (garantindo a descontinuidade da corrente) [10].

Analogamente, o problema equivalente interno está associado às correntes sob as interfaces  $S_1$  a  $S_4, S_7$  e  $S_8$ , conforme ilustrado na Fig.c). Neste problema, a continuidade da corrente na direção  $\hat{i}$  é garantida pelo do uso do “super triângulo” e a descontinuidade na direção  $\hat{\phi}$ , a partir do uso dos “meios triângulos”, conforme ilustrado nas Fig. a) e b), respectivamente.

No problema equivalente externo, para as superfícies  $S_6$  e  $S_9$  é utilizada a formulação EFIE, uma vez que se trata de superfícies condutoras abertas. Para as superfícies  $S_5$  e  $S_8$ , que constituem de um percurso fechado para a corrente, são empregadas as formulações CFIE e PMCWHT, respectivamente. Para o problema equivalente interno, a superfície condutora fechada do alimentador é avaliada utilizando-se a formulação CFIE e para as superfícies  $S_7$  e  $S_8$  é utilizado o mesmo procedimento do problema equivalente externo.

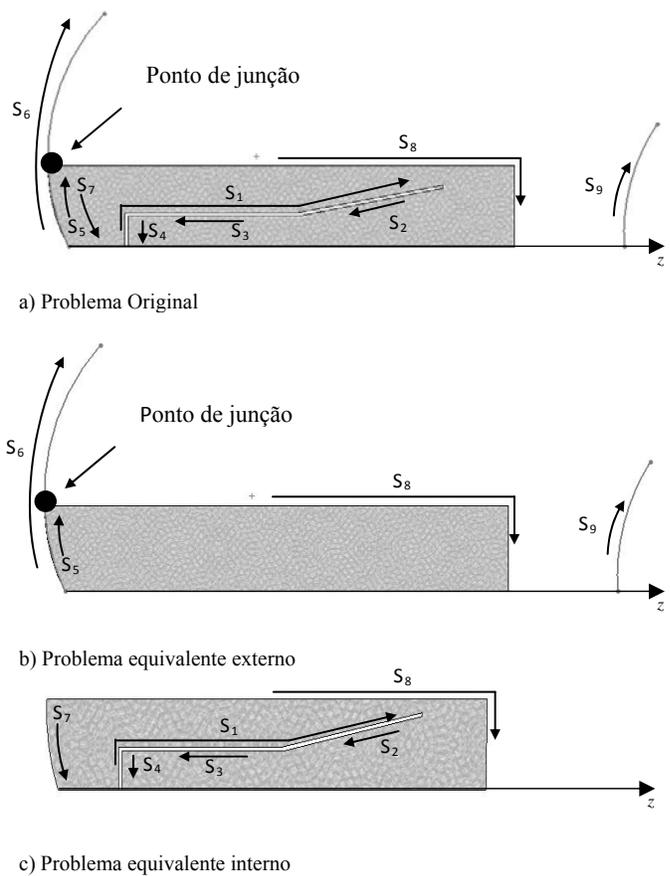


Fig. 6 – Representação dos problemas equivalentes

Uma vez que ambas as antenas fisicamente são equivalentes, esta comparação provê uma excelente forma de validar a formulação e verificar a precisão dos resultados numéricos. A comparação dos resultados mostra que as soluções são muito próximas, o que indica que a técnica apresentada para a análise de antenas com o escape é válida.

A análise da antena Cassegrain duplo-refletora axialmente simétrica com escape dielétrico foi realizada ao longo de uma faixa de frequência. A frequência em que o comprimento de onda no espaço livre  $\lambda_0 = 1$  m é escolhida como frequência central da faixa,  $f_0$ . Os valores de frequência foram variados de  $0,9 f_0$  a  $1,1 f_0$  sem nenhuma alteração na geometria da antena. Os diagramas de radiação obtidos são ilustrados nas Fig. e 10 e o ganho máximo juntamente com a perda de retorno são ilustrados na

Fig. 11. A partir dos resultados obtidos ao longo da faixa de frequência pode-se observar que a forma do diagrama de radiação não sofre grandes mudanças. O ganho máximo varia de forma oscilatória entre 47,73 dBi e 46,81 dBi e na frequência central vale 47,42 dBi. A perda de retorno varia de forma oscilatória entre -14,15dB e -25,97dB e na frequência central vale -17,81dB. Observa-se ainda que o escape não produz alterações significativas nos diagramas de radiação, conforme ilustrado na Fig.

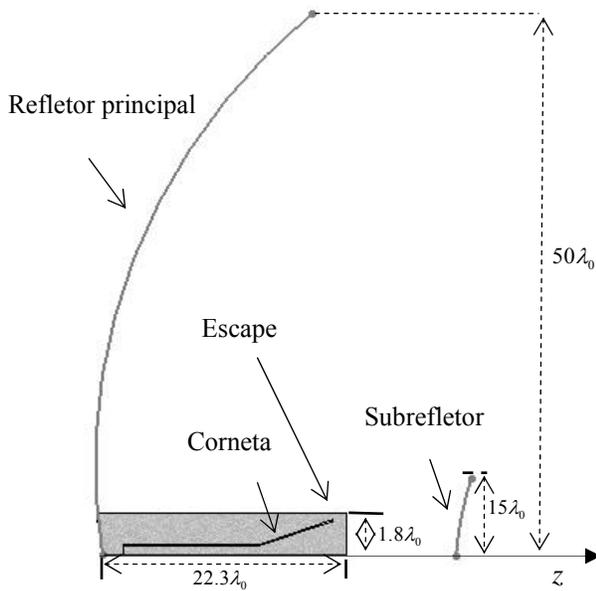
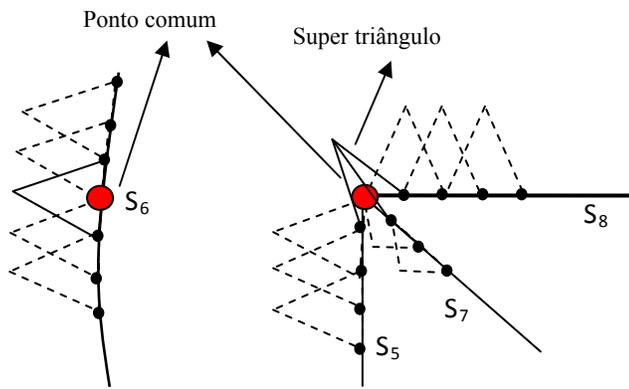
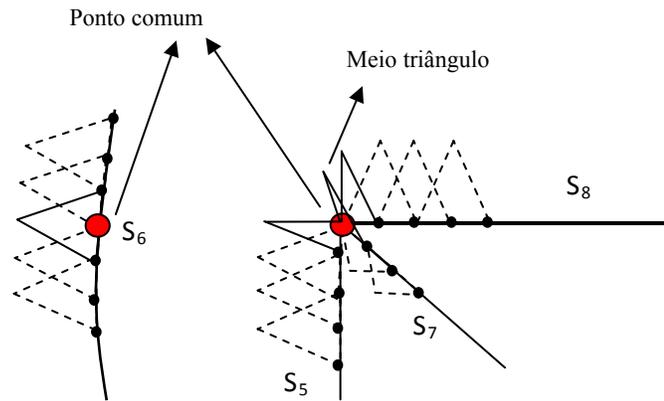


Fig.5 - Antena Cassegrain com escape dielétrico

Para validar as soluções obtidas quando o escape é incluído na estrutura da antena, foram realizadas análises nas quais a permissividade elétrica relativa do escape é igual a 1. Os resultados destas simulações foram comparados com aqueles obtidos para a antena sem o escape, conforme ilustrado na Fig. .

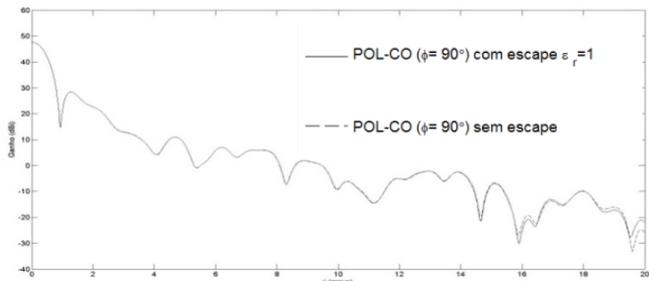


a) Representação do Super Triângulo em  $J_t$

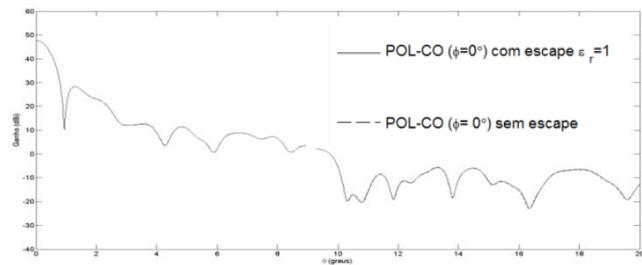


b) Representação do Super Triângulo em  $J_\phi$

Fig.7 – Representação dos triângulos em  $J_t$  e  $J_\phi$

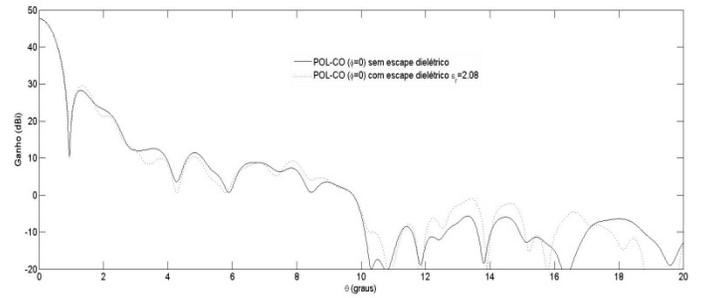


a) Plano  $\phi = 0^\circ$

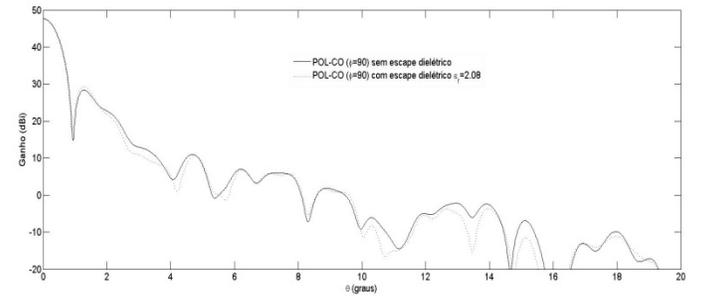


b) Plano  $\phi = 90^\circ$

Fig. 8 – Diagrama de radiação para antena Cassegrain duplo refletora com escape dielétrico de  $\epsilon_r=1$

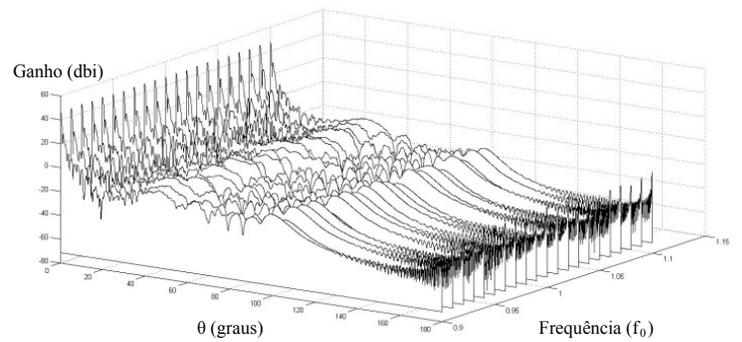


a) Plano  $\phi=0^\circ$

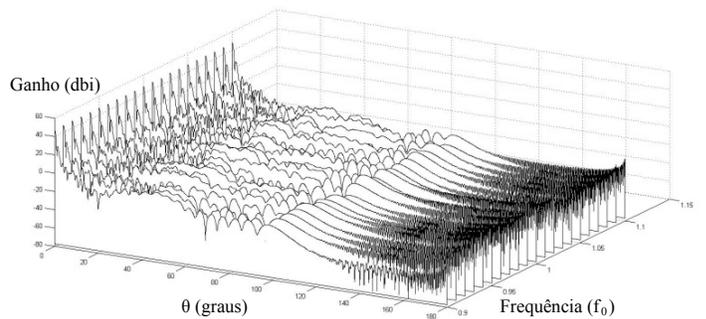


b) Plano  $\phi=90^\circ$

Fig.9 – Diagrama de radiação na frequência central para antena com escape dielétrico

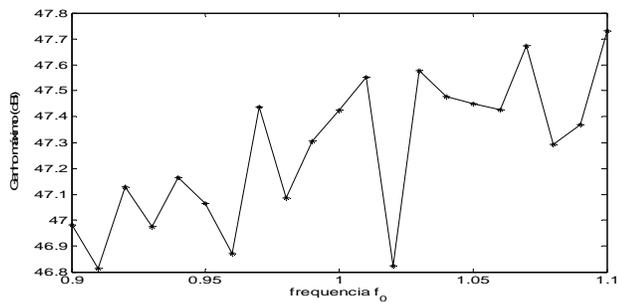


a) Plano  $\phi=0^\circ$

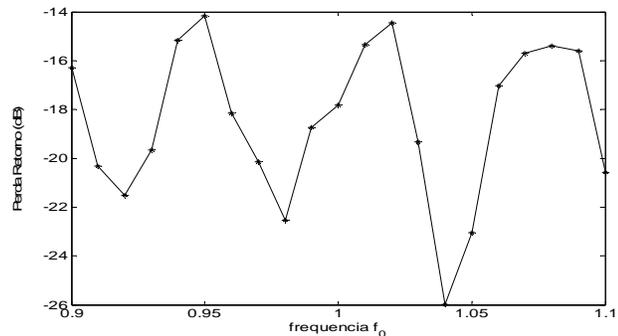


b) Plano  $\phi=90^\circ$

Fig.10 – Ganho na faixa de frequência de  $0,9 f_0$  a  $1,1 f_0$



a) Ganho máximo



b) Perda de retorno

Fig. 11 – Análise da antena Cassegrain com escape dielétrico ao longo da faixa de frequência de  $0,9 f_0$  a  $1,1 f_0$ 

#### V. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Neste trabalho, o Método dos Momentos juntamente com as equações integrais dos campos elétrico e magnético foi empregado na análise de uma antena Cassegrain duplo-refletora axialmente simétrica. Os resultados obtidos foram semelhantes àqueles disponíveis na literatura para a mesma antena o que, em princípio, valida a técnica e o algoritmo desenvolvido. Foi então considerada a inclusão do escape dielétrico para a sustentação e proteção do alimentador. Inicialmente, para validar a técnica de conexão entre superfícies dielétricas e condutoras, foi considerado um escape com permissividade elétrica relativa igual a 1, e os resultados obtidos foram idênticos àqueles alcançados para a antena considerando somente as superfícies refletoras e o alimentador. A análise da mesma antena com um escape dielétrico de permissividade relativa igual a 2,08 foi estendida ao longo de uma faixa de frequências. A partir dos resultados obtidos nesta análise, foi verificado que ao longo de toda a faixa de frequências considerada as características eletromagnéticas da antena não apresentam alterações significativas o que, em princípio, habilita esta antena para operação com sinais banda larga. Em relação à antena com e sem escape dielétrico, observa-se que não houve mudança significativa no diagrama de radiação.

#### AGRADECIMENTOS

Este Trabalho foi parcialmente financiado pela FAPEMIG APQ-01073-08.

#### REFERÊNCIAS

- [1] F. J. S. MOREIRA, "Design and Rigorous Analysis of Generalized Axially-Symmetric Dual-Reflector Antennas," Ph.D. Dissertation, Dept. Electrical Engineering-Electrophysics, University of Southern California, Los Angeles, EUA, August 1997.
- [2] P. W. HANNAN, "Microwave Antennas Derived from the Cassegrain Telescope," IRE Transactions on Antennas and Propagation, AP-9, No. 2, pp. 140-153, March 1961.
- [3] F. J. S. MOREIRA and A. PRATA JR., "Generalized Classical Axially Symmetric Dual-Reflector Antennas," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 49, no. 4, pp. 547-554, April 2001.
- [4] J. R. BERGMANN, "Shaped Dual-Offset Antenna with Dielectric Cone Feed," 18th European Microwave Conference Proceedings, Stockholm, Sweden, pp. 477-481, September 1988.
- [5] A. D. OLVER, P. J. B. CLARRICOATS, and K. RAGHAVAN, "Dielectric Cone Loaded Horn Antennas," IEE Proceedings, 135, Pt. H, nr. 3, pp.158-162, June 1988.
- [6] W. V. T. RUSCH and P. D. POTTER, Analysis of Reflector Antennas, Academic Press, New York, 1970.
- [7] C. F. YANG, B. C. Wu and C. J. Ko, "Ray-Tracing Method for Modeling Indoor Wave Propagation and Penetration," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, v. 46, n. 6, p. 907 - 919, junho 1998.
- [8] J. L. VOLAKIS, A. Chatterjee and L. C. Kempel, Finite Element Method Electromagnetics: Antennas, Microwave Circuits, and Scattering Applications, Wiley-IEEE Press; 1a edition, 1998
- [9] R. F. HARRINGTON, Field Computation by Moment Method. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1993.
- [10] U. C. RESENDE, "Análise de Antenas Refletoras Circularmente Simétricas com a Presença de Corpos Dielétricos," Tese de Doutorado, UFMG, Belo Horizonte, p. 266, maio 2007. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais.
- [11] J. R. MAUTZ and R. F. HARRINGTON, "H-Field, E-field and Combined Field Solutions for Bodies of Revolution," Tech. Report, TR-77-2, Dept. Electrical and Computer Engineering, Syracuse University, 1977.
- [12] J. R. MAUTZ and R. F. HARRINGTON, "Electromagnetic Scattering from a Homogeneous Body of Revolution," Tech. Report TR-77-10, Dept. Electrical and Computer Engineering, Syracuse University, 1977.
- [13] C. F. V. PERCEGONI VIDAL, "Análise do Espalhamentos Eletromagnético por Corpos de Revolução pelo Métodos do Momentos Utilizando Intergrais Elípticas," Dissertação de Mestrado, CEFET-MG, Belo Horizontes, p. 97, Novembro de 2011.



**Camila Figueiredo Vasconcelos Percegoni Vidal** was Born in Belo Horizonte, Brazil, in 1982. She received the BS in Electronic and Telecommunications Engineering from the Catholic University, Belo Horizonte and M.S. degree in Electrical Engineering from Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Brazil.

Since 2009, she has been with the Technological Department of UNA University in Minas Gerais, Brazil, where she is currently associated Professor.

Her research interests are in areas of electromagnetic, antennas and wireless communications.



**Úrsula do Carmo Resende** was born in Belo Horizonte, Brazil, in 1973. She received the B.S. and M.S. degrees in Electrical Engineering from the Catholic University, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, in 1999 and 2001, respectively, and the Dr. degree in Electrical Engineering from the Federal University of Minas Gerais, Brazil in 2007.

Since 2005, she has been with the Department of Electrical Engineering of the Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Brazil, where she is currently an Associate

Professor. Her research interests are in the areas of electromagnetics, antennas, and propagation and electrical machines



**Sandro Trindade Mordente Gonçalves** was born in Minas Gerais, Brazil, in 1980. He received the master degree (Mestre) of Electrical Engineering in 2005 from the Federal University of Minas Gerais, Brazil. Since 2006 he is with the Electromechanics Department of Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Divinópolis, Brazil (CEFET-MG, campus V). Currently he is coursing the doctorate in Electrical Engineering at Federal

University of Minas Gerais, Brazil, and his main interests are in the antenna and radiowave propagation field. He is working on an antenna unified characterization in time and frequency domains and ultra wideband antenna analysis.