

7 Trabalhos Futuros

Neste trabalho utilizou-se o MEF em estruturas circularmente simétricas, limitando a sua utilização a estruturas que apresentem esta característica. Visando acabar com esta limitação seria interessante estender a análise do MEF para estruturas tridimensionais sem simetria eletromagnética. Possibilitando uma avaliação mais completa do desempenho dos algoritmos que o aplicam. Além de uma visão mais realística do modelo que descreve a estrutura. Com o algoritmo atualmente implementado é necessário que as anomalias sejam também circularmente simétricas, mas com a elaboração do novo algoritmo poder-se-ia modelar estruturas que apresentassem anomalias circunscritas a determinadas regiões do guia. Para desenvolver este trabalho, além da utilização de um malhador tridimensional, será necessária a criação de um segundo algoritmo que construa os diferentes elementos utilizados.

Conforme observado na Figura 5.1, a análise do dispositivo de inspeção concentrou-se no interior do dispositivo entre os discos plásticos, sendo suposto que a parte externa se comporta como uma estrutura de casamento que absorverá os campos transmitidos através dos discos plásticos. Faz-se necessário o estudo detalhado das interações eletromagnéticas dos campos gerados entre os discos dielétricos e aqueles transmitidos para esta estrutura de casamento com o objetivo de avaliar a possibilidade da construção de um protótipo do Dispositivo de Inspeção.

8 Apêndice

A Equação 2.33, reproduzida abaixo.

$$2\pi \int_{\Omega} \frac{1}{\varepsilon_r} [\nabla \times \vec{W} \cdot \nabla \times \vec{H}] ds - 2\pi k_0^2 \mu_r \int_{\Omega} \vec{H} \cdot \vec{W} ds + 2\pi \frac{jk_0}{\sqrt{\varepsilon_{r_1}}} \int_{\Gamma_1} \vec{H} \cdot \vec{W} dl +$$

$$2\pi \frac{jk_0}{\sqrt{\varepsilon_{r_2}}} \int_{\Gamma_2} \vec{H} \cdot \vec{W} dl = 4\pi \frac{jk_0}{\sqrt{\varepsilon_{r_1}}} \int_{\Gamma_1} \vec{H}^i \cdot \vec{W} dl$$

Pode ser desenvolvida da seguinte forma se for lembrado que em coordenadas cilíndricas [11]:

$$\nabla \times \vec{H} = \hat{a}_\rho \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial H_z}{\partial \phi} - \frac{\partial H_\phi}{\partial z} \right) + \hat{a}_\phi \left(\frac{\partial H_\rho}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial \rho} \right) + \hat{a}_z \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho H_\phi}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial H_\rho}{\partial \phi} \right)$$

$$\nabla \times \vec{W} = \hat{a}_\rho \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial W_z}{\partial \phi} - \frac{\partial W_\phi}{\partial z} \right) + \hat{a}_\phi \left(\frac{\partial W_\rho}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial \rho} \right) + \hat{a}_z \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho W_\phi}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial W_\rho}{\partial \phi} \right)$$

Como o campo magnético depende somente de sua componente em ϕ , somente há o modo TEM de propagação na porta de entrada, e que no Método de Galerkin as funções base são iguais as funções teste. A primeira integral da Equação 2.33 pode ser escrita da seguinte forma:

$$2\pi \int_{\Omega} \frac{1}{\varepsilon_r} [\nabla \times \vec{W} \cdot \nabla \times \vec{H}] ds = 2\pi \int_{\Omega} \frac{1}{\varepsilon_r} \left[\hat{a}_\rho \left(-\frac{\partial H_\phi}{\partial z} \right) + \hat{a}_z \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho H_\phi}{\partial \rho} \right) \right] \left[\hat{a}_\rho \left(-\frac{\partial W_\phi}{\partial z} \right) + \hat{a}_z \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho W_\phi}{\partial \rho} \right) \right] ds$$

Substituindo o campo magnético e a função teste por expansões que evitem um comportamento singular para pontos próximos ao centro e sabendo que $ds = \rho d\rho dz$, defini-se:

$$\vec{H} = \sqrt{\rho} \sum_{i=1}^n h'_i N_i$$

$$\vec{W} = \sqrt{\rho} \sum_{j=1}^n w'_j N_j$$

Logo:

$$\begin{aligned} & 2\pi \int_{\Omega} \frac{1}{\epsilon_r} [\nabla \times \vec{W} \cdot \nabla \times \vec{H}] ds = \\ & 2\pi \sum_i \sum_j h'_i w'_j \int_{\Omega} \frac{1}{\epsilon_r} \left[\rho \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{3}{2} N_i \rho^{1/2} + \rho^{3/2} \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \right) \left(\frac{3}{2} N_j \rho^{1/2} + \rho^{3/2} \frac{\partial N_j}{\partial \rho} \right) \right] ds = \\ & 2\pi \sum_i \sum_j h'_i w'_j \iint_{\Omega} \frac{1}{\epsilon_r} \left[\rho^2 \left(\frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} + \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \frac{\partial N_j}{\partial \rho} \right) + \frac{3}{2} \rho \left(N_i \frac{\partial N_j}{\partial \rho} + N_j \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \right) + \frac{9}{4} N_i N_j \right] d\rho dz \end{aligned}$$

Substituindo \vec{H} e \vec{W} nas integrais restantes obtêm-se:

$$\begin{aligned} & 2\pi \sum_i \sum_j h'_i w'_j \iint_{\Omega} \frac{1}{\epsilon_r} \left[\rho^2 \left(\frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} + \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \frac{\partial N_j}{\partial \rho} \right) + \frac{3}{2} \rho \left(N_i \frac{\partial N_j}{\partial \rho} + N_j \frac{\partial N_i}{\partial \rho} \right) + \frac{9}{4} N_i N_j \right] d\rho dz + \\ & -2\pi \sum_i \sum_j k_0^2 \mu_r h'_i w'_j \iint_{\Omega} \rho^2 N_i N_j d\rho dz + 2\pi \sum_i \sum_j \frac{jk_0}{\sqrt{\epsilon_{r1}}} h'_i w'_j \int_{\Gamma_1} \rho^2 N_i N_j d\rho + \\ & + 2\pi \sum_i \sum_j \frac{jk_0}{\sqrt{\epsilon_{r2}}} h'_i w'_j \int_{\Gamma_2} \rho^2 N_i N_j d\rho = 4\pi \sum_j \frac{jk_0}{\sqrt{\epsilon_{r1}}} w'_j \int_{\Gamma_1} h^i \rho^{3/2} N_j d\rho \end{aligned}$$

9 Referências

- [1] Wilkins, M. G.; Lee, J.; Mittra, R. **Numerical modeling of axisymmetric coaxial waveguide discontinuities**. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 39, Agosto 1991.
- [2] Zhu, N. Y.; Landstofer, F. M. **An efficient FEM formulation for rotationally symmetric coaxial waveguides**. IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol. 43, fevereiro 1995.
- [3] Alves, F. D. **Aplicação do Método dos Elementos Finitos na Análise e Projeto de Estruturas Coaxiais**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, fevereiro 2007.
- [4] Zang, S. R. **Aplicação do método do casamento de modos na análise e projeto de estruturas coaxiais**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, setembro 2005.
- [5] Silva, L. C. **Teoria Eletromagnética Avançada – Notas de Aula**. Brasil, PUC - Rio, CETUC, 2006.
- [6] Berrocal, A. T. J.; **Método de Elementos Finitos Aplicados a Problemas de Teoría Electromagnética**, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, INTERCON, 2001.
- [7] Ribeiro, F. L. B. **Introdução ao Método dos Elementos Finitos – Notas de Aula**. Brasil, UFRJ, COPPE, 2004.
- [8] Hughes, T. J. R. **The finite element method - linear static and dynamic finite element analysis**. Prentice Hall, INC., New Jersey, 1987.

- [9] Marouby, E.; Aubourg, M.; Guillon, P. **Application of the finite element method to the design of transitions between coaxial lines.** **IEEE Proceedings**, vol. 137, pp. 219-225, Agosto 1990.
- [10] Balanis, C. A. **Advanced Engineering Electromagnetics**, New York: Wiley-Interscience, 1989.
- [11] Silver, S., "**Microwave Antenna Theory and design**" McGraw-Hill Co., Capítulo 11, 1949