

ANÁLISE DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NO INTERIOR DE GUIAS DE ONDA ATRAVÉS DO MÉTODO FDFD

Idenilton Ferreira Silva¹

Edson Rodrigo Schlosser²

Resumo:

Guias de onda são estruturas metálicas utilizados no transporte de ondas eletromagnéticas na faixa de radiofrequência, pois apresentam baixas perdas e capacidade de combinar, filtrar, misturar, mudar fase e manipular os sinais de rádio em virtude de sua geometria. Em virtude da capacidade de propagar alta potência, sistemas compostos por guias de onda são aplicados em radares para proteção do espaço aéreo brasileiro. Este trabalho apresenta uma implementação numérica para a solução das equações diferenciais de guias de onda de secção arbitrária de bordas retangulares através do Método das Diferenças Finitas no Domínio da Frequência (FDFD), pois a análise analítica para geometrias arbitrárias se torna trabalhosa na aplicação das condições de contorno. Este método consiste na determinação das constantes de propagação dos modos transversal elétrico (TE) e transversal magnético (TM) utilizando uma aproximação padrão de cinco pontos do operador de Laplace. O Matlab foi escolhido como plataforma para implementação do método por apresentar ferramentas gráficas versáteis e incluir técnicas para soluções matriciais. A validação foi realizada através da comparação dos resultados com os obtidos através de software comercial reconhecido internacionalmente.

Palavras-chave: Diferenças finitas, propagação, guias de onda, modos, ferramenta.

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

ANÁLISE DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NO INTERIOR DE GUIAS DE ONDA ATRAVÉS DO MÉTODO FDFD

¹ Aluno de graduação. ideniltont@gmail.com. Autor principal

² Docente. edsonschlosser@unipampa.edu.br. Orientador

ANÁLISE DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NO INTERIOR DE GUIAS DE ONDA A PARTIR DO MÉTODO DAS DIFERENÇAS FINITAS

1 INTRODUÇÃO

Guias de onda são estruturas metálicas utilizados no transporte de ondas eletromagnéticas na faixa de radiofrequência, pois apresentam baixas perdas e capacidade de combinar, filtrar, misturar, mudar fase e manipular os sinais de rádio em virtude de sua geometria. Em virtude da capacidade de propagar alta potência, sistemas compostos por guias de onda são aplicados em radares para proteção do espaço aéreo brasileiro.

Este trabalho apresenta uma implementação numérica para a solução das equações diferenciais de guias de onda de secção arbitrária de bordas retangulares através do Método das Diferenças Finitas no Domínio da Frequência (FDFD), pois a análise analítica para geometrias arbitrárias se torna trabalhosa na aplicação das condições de contorno. Este método consiste na determinação das constantes de propagação dos modos transversal elétrico (TE) e transversal magnético (TM) utilizando uma aproximação padrão de cinco pontos do operador de Laplace.

A equação de Helmholtz descrita por

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + k_c \varphi = 0 \quad (1)$$

rege a propagação dentro de um guia metálico.

Na Fig. 1a) é apresentada a criação de uma malha arbitrária que é necessária na análise através do método FDFD, em que os pontos externos (em vermelho) surgem da aplicação das condições do contorno na borda do guia, que apresenta condutividade infinita (do inglês, *Perfect Electric Conductor* - PEC). A Fig. 1b) mostra o espaçamento bidimensional (em x e y) utilizado na discretização da secção da estrutura e a Fig. 1c) a distância do ponto central até o PEC. Considerando os espaçamentos em ambos os eixos iguais a h e aproximando as derivadas parciais da Eq. (1) por diferenças finitas, aplicada no ponto φ_0 através da série de Taylor (SARKAR, 1989), chega-se em

$$\frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 + (k_c - 4)\varphi_0}{h^2} = 0 \quad (2)$$

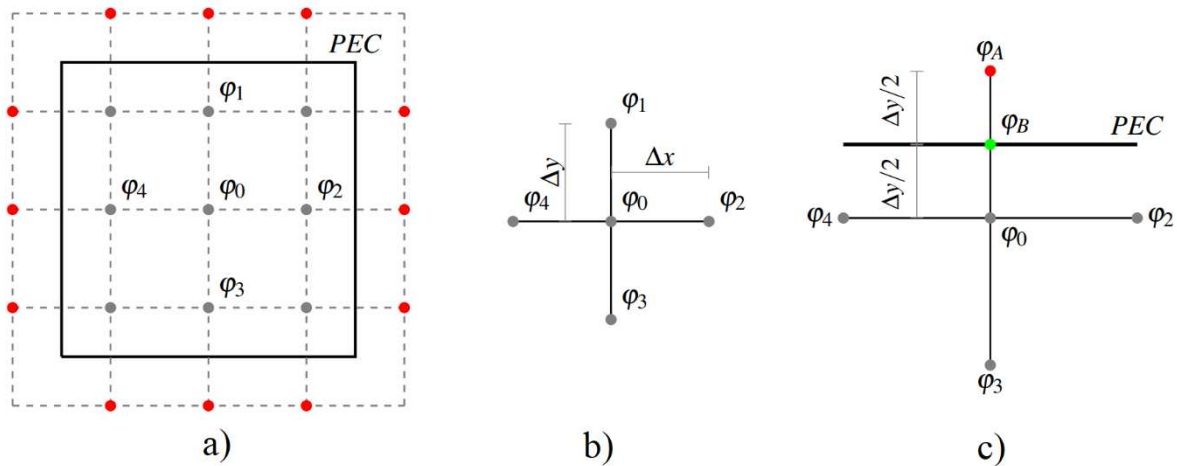
em que k_c é chamada de constante de propagação de corte.

De acordo com as condições de contorno de Neumann e Dirichlet, considerando um ponto interno próximo a borda na configuração da Fig. 1c), o potencial do ponto externo deve ser igual ao potencial do ponto interno em análise ($\varphi_A = \varphi_0$) para o modo TE, enquanto que para o modo TM este deve ser igual a menos o ponto interno ($\varphi_A = -\varphi_0$) (ITOGH, 1989), sendo válidas apenas quando a borda do guia esteja exatamente a meia distância do ponto interno e externo ($\Delta y/2 = \Delta x/2 = h/2$).

A Eq. (2) pode ser aplicada para os n pontos da malha interna para compor um sistema de equações lineares, sendo resolvido através de autovalores e autovetores. Os autovalores correspondem as constantes de propagação, enquanto os autovetores representam os campos eletromagnéticos para cada modo no interior do guia.

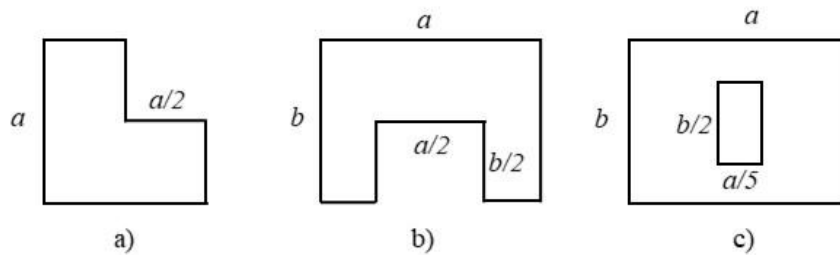
As geometrias mostradas na Figura 2 foram resolvidas por este método através de algoritmos desenvolvidos no ambiente Matlab. Os resultados para cada estrutura são comparados aos obtidos através de software comercial para simulação eletromagnética Ansys HFSS.

Figura 1- a) Malha de discretização; b) Aproximação para diferenças finitas; c) Configuração para condições de contorno.



Fonte: do autor, 2018.

Figura 2 - Geometrias analisadas: a) L shaped, b) Single ridge, c) Coaxial retangular.



Fonte: do autor, 2018.

2 METODOLOGIA

Inicialmente, estudou-se as equações de Maxwell e as condições de contorno que devem ser aplicadas na solução dos campos eletromagnéticos no interior de estruturas confinadas. Para solução destas equações optou-se pelo emprego do método das diferenças finitas no domínio da frequência. Neste método fez-se o estudo da discretização do guia de onda de secção arbitrária para redução do erro percentual devido a aproximação das derivadas.

O Matlab foi escolhido como plataforma para implementação do método por apresentar ferramentas gráficas versáteis e incluir técnicas para soluções matriciais. A validação foi realizada através da comparação dos resultados com os obtidos através de software comercial reconhecido internacionalmente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As constantes de propagação de corte para as geometrias apresentadas na Fig. (2) foram determinadas a partir da ferramenta proposta. Os resultados para os quatro primeiros modos TE e TM são comparados com os obtidos pelo software comercial e apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. As distribuições de campos $E_z(x, y)$ e $H_z(x, y)$ são apresentadas nas Figs. 3, 4 e 5.

Tabela 1- Constante de propagação para geometria L shaped: $a = 4\text{ cm}$.

Modo	TE		TM	
	Ferramenta	HFSS	Ferramenta	HFSS
1	60,683	60,6118	155,084	155,362
2	93,988	93,9336	194,869	194,821
3	157,039	156,975	222,087	222,005
4	157,039	156,975	271,536	271,559

Fonte: do autor, 2018.

Tabela 2- Constante de propagação para geometria single ridge: $a = 4\text{ cm}$ e $b = 2\text{ cm}$.

Modo	TE		TM	
	Ferramenta	HFSS	Ferramenta	HFSS
1	56,173	56,129	302,581	303,666
2	121,191	120,867	309,616	310,871
2	161,226	161,038	349,815	350,203
4	187,937	187,846	389,444	389,414

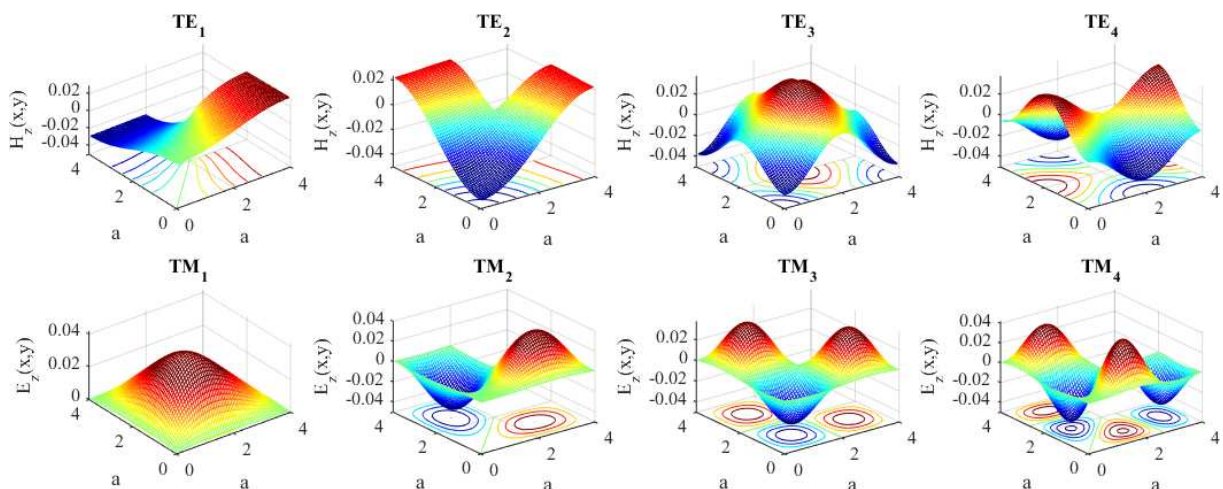
Fonte: do autor, 2018.

Tabela 3- Constante de propagação para geometria coaxial retangular: $a = 4\text{ cm}$ e $b = 2\text{ cm}$.

Modo	TE		TM	
	Ferramenta	HFSS	Ferramenta	HFSS
1	61,538	61,596	249,976	250,154
2	136,552	136,470	250,002	250,154
2	167,586	167,551	366,932	367,356
4	172,718	172,745	367,043	367,356

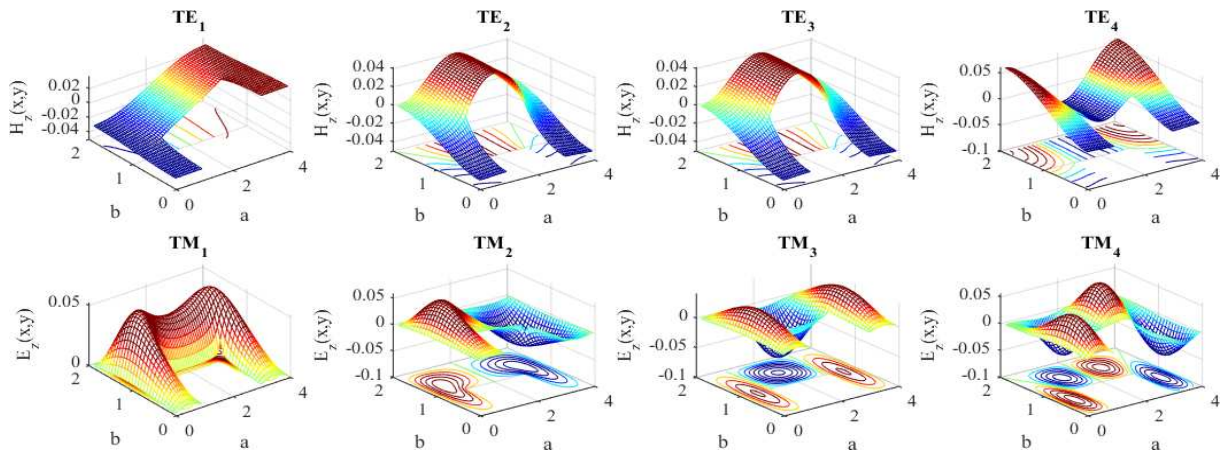
Fonte: do autor, 2018.

Figura 3- Campos para geometria L shaped: $a = 4\text{ cm}$.



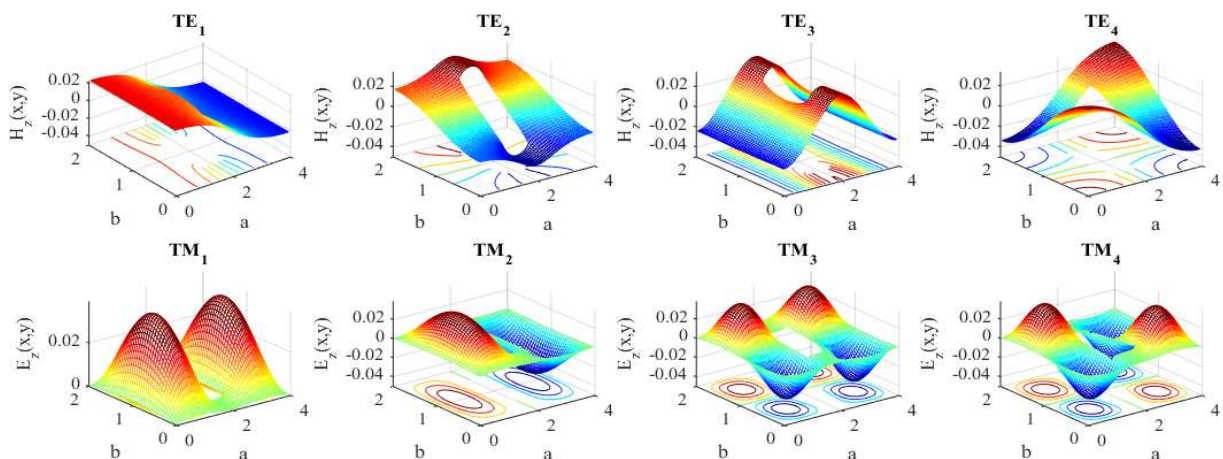
Fonte: do autor, 2018.

Figura 4- Campos para geometria single ridge: $a = 4\text{ cm}$ e $b = 2\text{ cm}$.



Fonte: do autor, 2018.

Figura 5- Campos para geometria coaxial retangular: $a = 4\text{ cm}$ e $b = 2\text{ cm}$.



Fonte: do autor, 2018.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de uma ferramenta baseada na solução eletromagnética de guias de onda de secção arbitrária através do método das diferenças finitas. Os resultados obtidos apresentaram excelente concordância com do software comercial, além de baixo tempo computacional para execução do programa implementado.

REFERÊNCIAS

ITOGH, T. **Numerical techniques for microwave and millimeter-wave passive structures**. New York, NY: John Wiley & Sons, c1989.

SARKAR, T. K.; ATHAR, K.; ARVAS, E.; MANELA, M.; LADE, R. Computation of the Propagation Characteristics of TE and TM Modes in Arbitrarily Shaped Hollow Waveguides Utilizing the Conjugate Gradient Method. **Journal of Eletromagnetic Waves and Applications**, Brasília, v. 3, n. 2, p. 143-165. 1989.