

Método dos Elementos Finitos para Estudo de Propagação com Polarização Horizontal e Vertical em Floresta com Extensão Semi-Infinita

Alexandre Cardoso Oliveira e Karlo Queiroz da Costa

Resumo— Este artigo mostra uma análise da propagação de ondas eletromagnéticas com polarização vertical (fonte corrente magnética) e horizontal (fonte corrente elétrica) sobre regiões formadas por quatro meios no plano xy . Assim, foi utilizado o Método Numérico dos Elementos Finitos para resolver o sistema físico. Os resultados consistem de quatro simulações, variando o tipo de fonte e sua altura, uma abaixo da altura da floresta e outra acima, sendo a floresta um obstáculo para mostrar os efeitos de difração, refração, reflexão e absorção.

Palavras-Chave— radiação de corrente magnética, difração em meio à floresta; meio não homogêneo, Método dos Elementos Finitos.

I. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por envio de sinais de comunicação sem fio em vastas distâncias e com ecossistemas diversos que se encontram no nosso planeta, em especial o Brasil, levou ao desenvolvimento de tecnologias que necessitam menos de estrutura física como fios, como a radiofrequência. [1].

Com isso novos modelos físicos que descrevem o comportamento da onda com fundamento nas equações de Maxwell e Eletromagnetismo Clássico, em especial a sua intensidade, direção e fase em função do espaço e do tempo. O problema pode ser estudado com maior complexidade acrescentando mais meios não homogêneos, no caso em tela temos quatro meios, sendo o enfoque do estudo o comportamento no ar e floresta[2]. Em [3], discute-se a existência de dois modelos que não são puramente físicos mas também não puramente aleatórios, de forma a ganhar acurácia nos resultados sem um altíssimo custo computacional.

Para realizar este trabalho, utilizou-se o software COMSOL Multiphysics [5], que trabalha com o Método Numérico dos Elementos Finitos (FEM) para o estudo de problemas físicos que envolvem vários campos de estudo simultaneamente.

II. MODELAGEM PARA SIMULAÇÃO DE SOFTWARE

Consideramos uma região não homogênea no plano xy para a radiação da onda eletromagnética a uma frequência de 521 MHz, comprimento de onda $\lambda_0 = 57,56$ cm no vácuo. Essa região é dividida em quatro meios: ar, floresta, água e solo, estes últimos abaixo do meio principal de propagação, sem muita relevância para o problema. A Fig. 1 mostra a geometria do problema e foi desenhada no software Comsol, apresentando um círculo de raio $17 \lambda_0$ e camada externa de PML de aproximadamente $1 \lambda_0$.

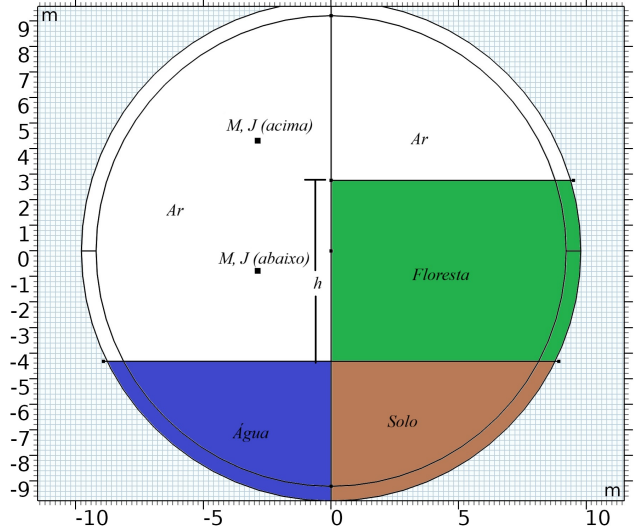


Fig. 1. Geometria do problema considerado, com ar (área branca), floresta (área verde), água (área azul escuro) e solo (área marrom). Os pontos são as localizações das fontes.

Dessa forma, utilizou-se as fontes de corrente magnética e elétrica, ambas saindo para fora do papel, descritas pelas equações 1 e 2, respectivamente:[4]

$$M_u(x, y) = M_u \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) a_z \quad 1$$

$$J_u(x, y) = J_u \delta(x - x_0) \delta(y - y_0) a_z \quad 2$$

Foram feitas quatro simulações, a primeira considerando somente a fonte de corrente magnética localizada no ponto coordenado $P_1 = (-5\lambda_0 ; 7,5\lambda_0)$, a segunda somente a corrente magnética no ponto $P_2 = (-5\lambda_0 ; -1,35\lambda_0)$, a terceira a fonte corrente elétrica em P_1 , e a quarta a corrente elétrica em P_2 .

TABELA I. PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS MEIOS.

Meios	Permissividade e relativa ϵ_r	Permeabilidade de relativa μ_r	Condutividade elétrica σ (mS/m)
Ar	1	1	0
Floresta	1,1	1	0,1
Água	80	1	50
Solo	1,9	1	20

A floresta no problema apresenta uma altura de $12,3\lambda_0$ (aproximadamente 7,08 metros) e estende-se infinitamente para a direita, simulando vasta distância. A Fig. 2 mostra um zoom da malha do problema, no centro do círculo mostrado na Fig.1, com triângulos sendo os objetos de discretização para executar a técnica do FEM, percebe-se elementos menores na região que simula a água devido ao comprimento de onda ser menor nela.

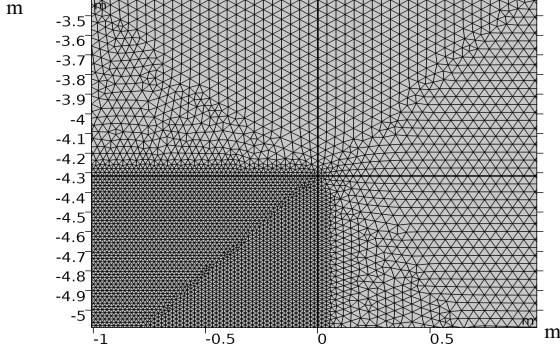


Fig. 2. Malha final do problema simulado com zoom aplicado.

III. RESULTADOS

A. Campos H_z e E_z no Plano xy

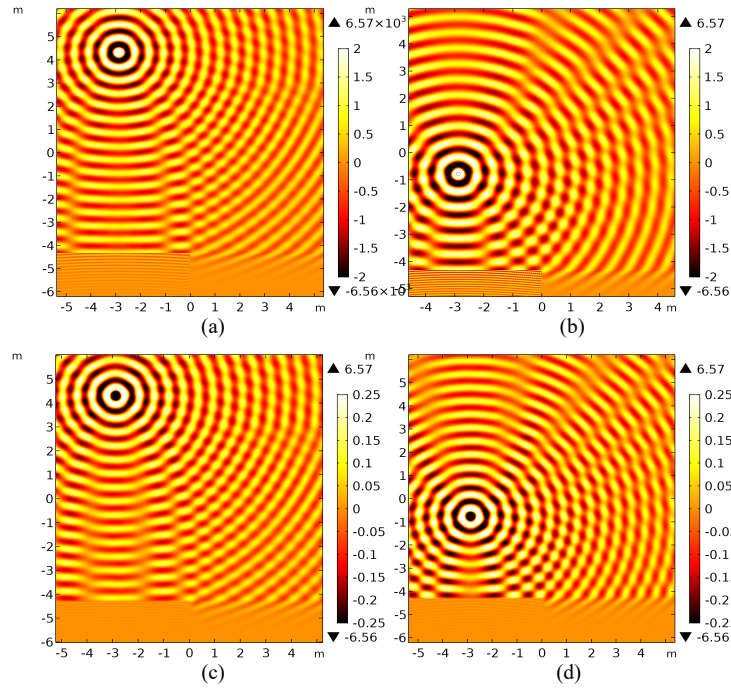


Fig. 3. Gráficos de cor. Em (a) de $Real(H_z)$ com fonte localizada acima da altura da floresta, em (b) de $Real(H_z)$ com fonte localizada abaixo da floresta, em (c) de $Real(E_z)$ com fonte localizada acima da altura da floresta, em (d) de $Real(E_z)$ com fonte localizada abaixo da altura.

A Fig. 3 mostra os gráficos de cor no plano do círculo da parte real do campo magnético e elétrico na direção do eixo z (H_z e E_z). Os círculos são exatamente os mesmos da Fig.1, mas mostrando uma fotografia da onda no espaço.

Temos que o comportamento do campo elétrico e magnético são portanto extremamente similares, tanto quanto à perda de amplitude da onda no decorrer de sua propagação quanto a alteração de altura, com perdas aproximadas de 15 dB/96 m.[4] Vemos diferenças de frequência e fase bem ligeiras, bem como uma maior reflexão para a polarização horizontal dentro da floresta do que na vertical.

A função que calcula a parte real da onda une as informações de módulo e da fase da onda, onde percebemos uma leve alteração na parte da floresta, com leve absorção da onda e interferência. Também é possível ver a maior reflexão do caso da polarização horizontal dentro da floresta do que a vertical.

Já quando escolhemos alterar a altura, presenciamos uma perda maior significativa no meio florestal quando a fonte se apresenta em altura mais baixa, o que justifica a maior altura de antenas quando deseja-se emitir sinais de longa distância, apesar da floresta ter propriedades similares a do ar.

É importante ressaltar a eficiência do método para modelagem de problemas desse tipo, com relativo baixo custo computacional e resultados corroborados pela literatura.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma análise e resultados gráficos de simulação do problema de radiação eletromagnética em meios não homogêneos que se assemelham à Amazônia.

É esperado que em trabalhos futuros haja maior grau de complexidade na modelação da floresta, utilizando obstáculos mais complexos para modelar a floresta, como blocos geométricos indicando árvores singulares, como apresentado em [3], mas como a Amazônia possui florestas extremamente densas, escolhemos tratar como um meio homogêneo na simulação, pois o computador utilizado apresenta somente 8 Gb de RAM.

V. REFERÊNCIAS

- [1] T. L. S. Oliveira, "Análise Numérica de Propagação de Ondas Eletromagnéticas em Meios Mistos", Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará Tucuruí, 2019.
- [2] J. B. N. Leite e K. Q. Costa, "Radiação Bidimensional de uma Linha de Corrente em Regiões Estratificadas na Horizontal e Vertical", *xl simpósio brasileiro de telecomunicações e processamento de sinais – SBt, 2022*.
- [3] Roshanak Zabihi e Rodney G. Vaughan, "Simplifying Through-Forest Propagation Modelling", *IEEE, 23 de Janeiro, 2020*
- [4] A. C. Oliveira e K. Q. Costa, "Análise pelo Método dos Elementos Finitos do Efeito da Polarização em Problemas de Radiação em Regiões Mistadas de Rios e Florestas", *XLII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais - SBt 2023*.
- [5] Comsol software. <https://www.comsol.com>.

