

Simulação no COMSOL de Diferentes Configurações de Nanoantenas Cilíndricas

Gustavo L. Silvano e Karlo Q. da Costa

Resumo—O presente trabalho visa estudar o comportamento de nanoantenas quando excitados de várias formas, além de uma análise das respostas em relação à geometria da antena. Será utilizado uma nanobarra e um nanodipolo sendo excitados por uma onda plana, e em seguida o nanodipolo será excitado por uma fonte de tensão. Para isso será utilizado o *software* COMSOL Multiphysics 3.4, e os resultados serão comparados com um programa baseado no Método dos Momentos (MoM), além de referências providas da literatura.

Palavras-Chave—Nanoantena, nanoantena cilíndrica, nanodipolo, nanobarra, onda plana, THz, COMSOL, plasmônica.

Abstract— The present paper aim to study the behavior of nanoantennas when excited by different ways, and an analysis of the results in relation to the geometry of the antenna. It will be used a nanobar and a nanodipole been excited by a plane wave, and after the nanodipole will be excited by a voltage source. For that it will be used the software COMSOL Multiphysics 3.4, and the results will be compared with a program based on the Method of Moments (MoM), and by references from the literature.

Keywords—Nanoantenna, cylindric nanoantenna, nanodipole, nanobar, plane wave, THz, COMSOL, plasmonic.

I. INTRODUÇÃO

A área da nanoplasmonica vem sendo alvo de intensivos estudos e desenvolvimento constante, onde se podem encontrar artigos novos a cada momento. Isto se deve, principalmente, pelas avançadas tecnologias desenvolvidas de construção de nandispositivos, tais como a nanolitografia.

Ao atingir frequências ópticas ocorre o fenômeno de SPPs (*surface plasmon polaritons*) [1], que são ondas eletromagnéticas sendo guiadas por uma oscilação coletiva de cargas, que se encontram ao longo de uma interface entre um dielétrico e um metal, sendo que os utilizados serão os metais nobres, pois para estes tal efeito ocorre na faixa visível, limitando a faixa de ocorrência, diferente dos metais alcalinos, em que a banda se estende para o ultravioleta [2].

Uma das aplicações mais interessantes e difundidas seria o uso de SERS (*Surface Enhanced Raman Spectroscopy*) [3], principalmente porque atualmente se pode construir nanoantenas que possuem um *gap* bem inferior a 10 nm [4]. Outro exemplo é em relação à melhora no desempenho computacional, onde tal tecnologia seria utilizada em memória de armazenamento maciço de dados magneto-ópticos [5].

II. MODELAGEM TEÓRICA

Será utilizado o *software* COMSOL Multiphysics 3.4 para a realização das simulações, em que será realizada a simulação de uma nanobarra e um nanodipolo sendo excitado por uma onda plana, e em seguida o nanodipolo sendo excitado por uma fonte de tensão localizada no centro do seu *gap* (Fig. 1).

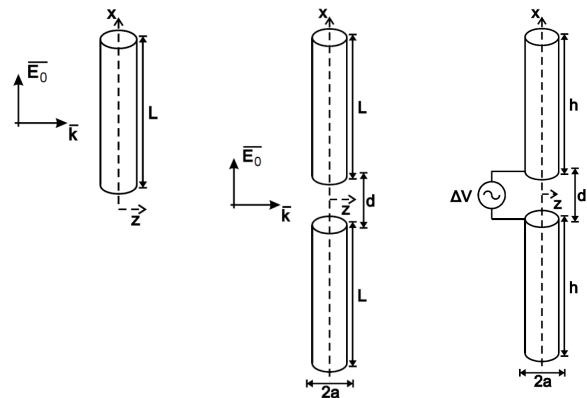


Fig. 1. Esquemas das antenas utilizadas nas simulações, onde o primeiro representa a nanobarra sendo excitado por uma onda plana, o segundo representa o nanodipolo com a mesma excitação e terceiro o nanodipolo excitado por uma fonte de tensão. Na figura, k é a direção da propagação da onda e E_0 a polarização da onda.

As nanoantenas serão compostas de ouro, onde o modelo da permissividade utilizado será o de Lorentz-Drude [6], mostrado em (1), pois este se mostrou bastante próximo de dados experimentais, devido ao fato de incluir o efeito dos elétrons das camadas inferiores.

$$\varepsilon = 8 - \frac{\omega_{p1}^2}{\omega^2 - j\Gamma\omega} + \frac{\omega_{p2}^2}{(\omega_0^2 - \omega^2) + j\gamma\omega} \quad (1)$$

onde $\omega_{p1} = 13.8 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$, $\Gamma = 1.075 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$, $\omega_0 = 2\pi c / \lambda_0$, $\lambda_0 = 450 \text{ nm}$, $\omega_{p2} = 45 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ e $\gamma = 9 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$.

Para todas as simulações realizadas se utilizou um intervalo de frequência entre 100THz a 500THz, com um passo de 10THz. Além disso, a malha utilizada (pois o COMSOL se baseia no método dos elementos finitos) estava em torno de 29000 elementos.

III. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos das simulações. Para a nanobarra excitada por uma onda plana (Fig. 2), será computado o campo elétrico a 10 nm da

extremidade do condutor. Se tomou como comparação um programa desenvolvido no Matlab com base no MoM pulso senoidal [7] e um artigo [8], que foi utilizado como referência para a construção da Tabela I. Em seguida para o dipolo excitado por uma onda plana (Fig. 2), o campo elétrico foi calculado na origem (no centro do *gap*). Utilizou-se como comparação o mesmo programa, configurado para um nanodipolo [9].

Será mostrado, além do campo elétrico em função da frequência, o campo próximo a 10 nm, em Z, da nanoantena. Serão colhidos os campos para os valores de ressonância, pois são os mais relevantes para a nossa análise (Fig 3).

Finalmente para o dipolo excitado por uma fonte de tensão (Fig. 4), se utilizou como comparação o mesmo programa, porém com a fonte de excitação corretamente ajustado.

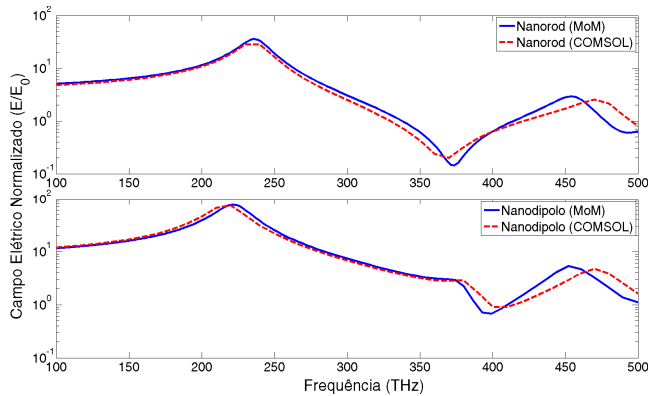


Fig. 2. Perfil do campo elétrico em relação à frequência da onda incidente resultante da excitação por onda plana de uma nanobarras e de um nanodipolo de ouro.

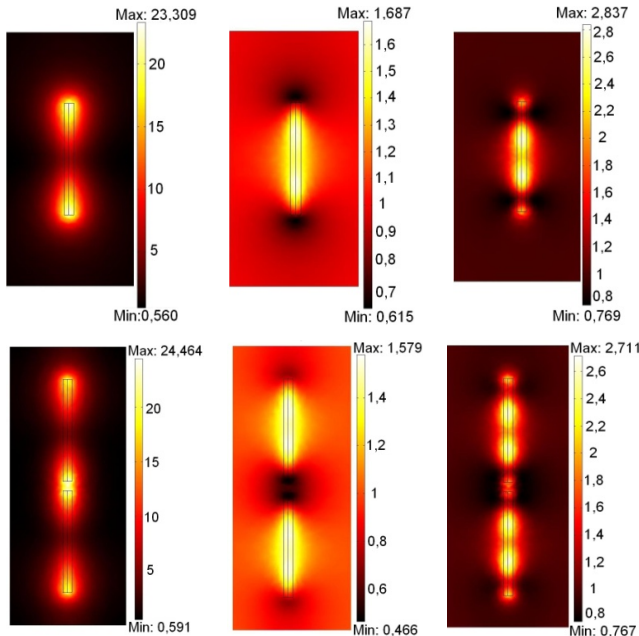


Fig. 3. Campo elétrico próximo, da nanobarras e do nanodipolo, coletado a partir das frequências de ressonância mostradas na Tabela I. cima - nanobarras, baixo - nanodipolo, esquerda - $f_{\lambda/2}$, centro - f_{λ} , direita - $f_{3\lambda/2}$.

TABELA I. COMPARAÇÃO DAS RESSONÂNCIAS DA NANOBARRA OBTIDAS ATRAVÉS DO MOM [7], DE SIMULAÇÕES REALIZADAS NO COMSOL E DE UM TRABALHO EM [8] COMO REFERÊNCIA.

| | MoM [7] | COMSOL | Artigo [8] |
|------------------|-----------|---------|------------|
| $f_{\lambda/2}$ | 235,7 THz | 230 THz | 230,8 THz |
| f_{λ} | 373,9 THz | 370 THz | 384,6 THz |
| $f_{3\lambda/2}$ | 454,3 THz | 470 THz | 461,5 THz |

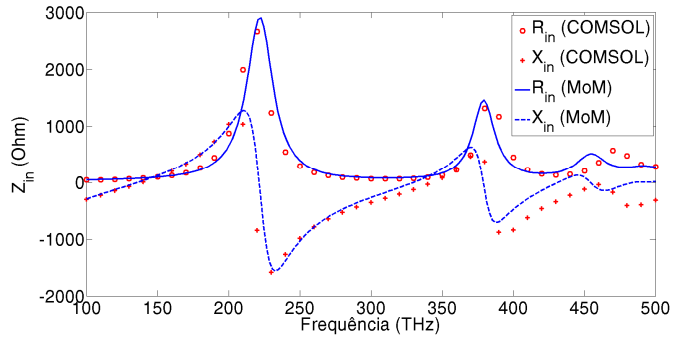


Fig. 4. Perfil da impedância de entrada de um nanodipolo sendo excitado por uma fonte de tensão de 1V que se encontra em seu centro. A linha sólida descreve a parte real da impedância, e a linha tracejada, a parte imaginária.

IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho apresentou-se uma análise numérica de nanocilindros de ouro com diferentes geometrias e fontes de excitação. Utilizou-se o *software* COMSOL Multiphysics 3.4 e alguns resultados foram calculados utilizando o MoM para comparação. Três configurações foram analisadas, e comparadas em termos do campo próximo e propriedades ressonantes. Para trabalhos futuros, serão acoplados a estas antenas linhas de transmissão ópticas para formação de um nanocircuito e os problemas de casamento e otimização serão investigados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa (CNPq) pela ajuda financeira e ao Campus de Tucuruí – UFPA.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Novotny, and B. Hecht, “Principles of Nano-Optics”, New York: Cambridge, 2006.
- [2] S. A. Maier, “Plasmonics: Fundamentals and Applications”, New York: Springer, 2007.
- [3] K. Kneipp, *et al.* “Single molecule detection using surface-enhanced Raman scattering (SERS)”, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 78, pp. 1667–1670, 1997.
- [4] W. Zhu, *et al.* “Lithographically Fabricated Optical Antennas with Gaps Well Below 10 nm”, *Small*, Vol. 7, N13, pp. 1761-1766, 2011.
- [5] W. L. Barnes, A. Dereux, and T.W. Ebbesen, “Surface plasmon sub-wavelength optics”, *Nature*, Vol. 424, pp. 824-830, 2003.
- [6] P. B. Johnson, and R. W. Christy, “Optical constants of the noble metals”, *Phys. Rev. B*, Vol. 6, pp. 4370, 1972.
- [7] K. Q. da Costa, and V. Dmitriev, “Aplicação do Método dos Momentos Linear para Análise de Nanoantenas Cilíndricas”, *XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações – SBt'11*, Out. de 2011, Curitiba, PR.
- [8] R. Kappeler, D. Ernil, C. Xudong and L. Novotny, “Field computations of optical antennas”, *J. Comput. Theor. Nanosci.*, Vol 4, N3, pp. 686-691, 2007.
- [9] K. Q. da Costa, and V. Dmitriev, “Numerical Analysis of Cylindrical Nanodipoles by Linear Moment Method”, *IMOC 2011 - International Microwave and Optoelectronics Conference*, Natal - RN, 2011.