Simulações de Nanoantenas Dipolo Cônicas na Faixa de Terahertz

Maísa Santos, Yago Simões, Alfredo Neto e Danilo Regis

***Resumo*— O presente trabalho apresenta um estudo teórico do comportamento de nanoantenas plasmônicas quando excitadas por fonte de tensão, além de uma análise das respostas em relação à geometria da antena. São analisadas antenas na faixa do Terahertz na qual são investigadas a largura de banda, a impedância de entrada, a frequência de ressonância e o digrama de irradiação. Os resultados obtidos podem ser úteis para projetar nanoantenas eficientes voltadas a comunicações em Terahertz.**

***Palavras-Chave*— Nanoantena, COMSOL, Plasmônica, Terahertz.**

***Abstract*— The present paper present a theoretical study on the behavior of nanoantennas when excited by a voltage source, in addition to an analysis of the responses in relation to the antenna geometry. Antennas in the distance range where they are investigated are analyzed, a bandwidth, an input impedance, a resonance frequency and irradiation diagram. The selected results can be useful for designing efficient nanoantennas for terahertz communications.**

***Keywords*— Nanoantenna, COMSOL, Plasmonic, Terahertz.**

I. INTRODUÇÃO

As nanoantenas são nanoestruturas usadas para confinar, receber e transmitir campos ópticos [1]. Surgiram como resultado da mudança teórica e potencial de pesquisa industrial para comprimentos de onda mais curtos em escalas nanométricas [2].

Uma antena é baseada nos fenômenos de ressonância e de fato representa um ressonador que irradia. Para antenas de RF (Radiofrequência), lida-se com fenômenos de ressonância de corrente de superfície [3]. Contudo, em escala nano o metal se comporta como plasma e as ressonâncias são chamadas ressonâncias plasmônicas.

O estudo de nanoantenas vem sendo alvo de intensivas pesquisas e desenvolvimento constante na área da nanofotônica. Tais estudos envolvem a análise do comportamento de antenas ópticas, de modo a facilitar a realização de projetos e construção de estruturas específicas.

Recentemente, têm sido trabalhadas diversas geometrias como em [4] onde são analisadas nanodipolos planares de grafeno com geometrias retangulares, elípticas, triangulares e circulares. O trabalho de [5] apresenta análise de banda larga de dipolo-espira de ouro. O artigo apresentado em [6] estuda o comportamento de uma nanobarra e um nanodipolo cilíndrico quando excitados a uma onda planar e fonte de tensão.

Maísa Santos, Yago Simões, Alfredo Neto e Danilo Regis, Programa de Pós Graduação de Engenharia Elétrica, Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, e-mail: maisalfsantos@gmail.com, yagwanderleysimoes@hotmail.com, alfredogomes@ifpb.edu.br e danilo.regis@ifpb.edu.br

Neste artigo é apresentado uma análise numérica de duas nanoantenas plasmônicas de ouro em formato cônico com dimensões diferentes. As antenas são estudadas numericamente pelo método dos elementos finitos (MEF). Os parâmetros analisados são: largura de banda, a impedância de entrada, frequência de ressonância, digrama de irradiação e diretividade.

II. MODELAGEM NUMÉRICA

Para a modelagem numérica foi utilizado o software COMSOL Multiphysics 5.5 para a simulação do dipolo com alimentação por fonte de tensão localizada no centro do gap.

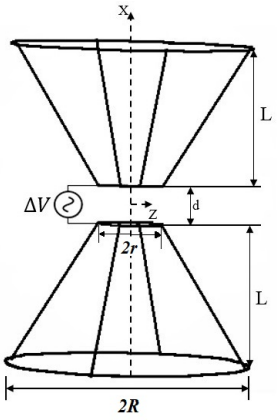

Fig. 1. Geometria do dipolo analisado.

A geometria escolhida para analise é ilustrada na Fig. 1 e possui formato de cone. O r é o raio menor e R o raio maior do dipolo, o L é o comprimento, d é o comprimento do gap e ΔV é a fonte de tensão de referência, que nesse trabalho é de 1 V.

O material utilizado para do dipolo foi o ouro, desse modo o modelo adotado para o cálculo da permissividade foi proposto por Lorentz-Drude [1], equação (1). Este modelo foi escolhido devido sua acurácia, pois apresenta resultados bem próximos dos obtidos experimentalmente.

$$\varepsilon_{LD} = 1 - \frac{\omega_{p1}^2}{\omega^2 - j\Gamma_D\omega} + 1 + \frac{\omega_{p2}^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + j\gamma\omega} + \varepsilon_{inf} \quad (1)$$

O ω a frequência angular, para o ouro $\omega_{p1} = 13,8.10^{15}s^{-1}$ e $\omega_{p2} = 45.10^{14}s^{-1}$ são as frequências de plasma, $\Gamma_D = 1,075.10^{14}s^{-1}$ e $\gamma = 9.10^{14}s^{-1}$ são as frequências de amortecimento, ω_0 é a frequência angular fundamental e $\varepsilon_{inf} = 6$ é um termo de off-set da permissividade.

As simulações foram executadas para as frequências entre 100 THz e 420 THz. Além disso, a malha utilizada foi configurada para 10.000 elementos.

III. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos das simulações de dois exemplos de dipolos cônicos de ouro com diferentes dimensões. Os parâmetros de cada antena são apresentados na Tabela I, onde foram nomeadas de Antenas 01 e 02.

TABELA I
PARÂMETROS DAS ANTENAS.

Antena	L	d	R	r
01	500nm	80nm	500nm	80nm
02	280nm	40nm	150nm	40nm

O primeiro resultado obtido é o gráfico das impedâncias de entrada da nanoantena $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$ calculado pelo método dos elementos finitos, Fig 2. Para a Antena 01 a frequência de ressonância obtida foi de 112 THz e a impedância equivalente corresponde a $Z_{in} = 100,4\ \Omega$ com coeficiente de reflexão $S_{11} = -20,1dB$ apresentando uma largura de banda de 30 THz. A Antena 02 obteve frequência de ressonância de 148 THz e a impedância para esta frequência é de $Z_{in} = 52,02\ \Omega$, com coeficiente de reflexão de $S_{11} = -30,3dB$ e apresentando uma largura de banda similar a Antena 01.

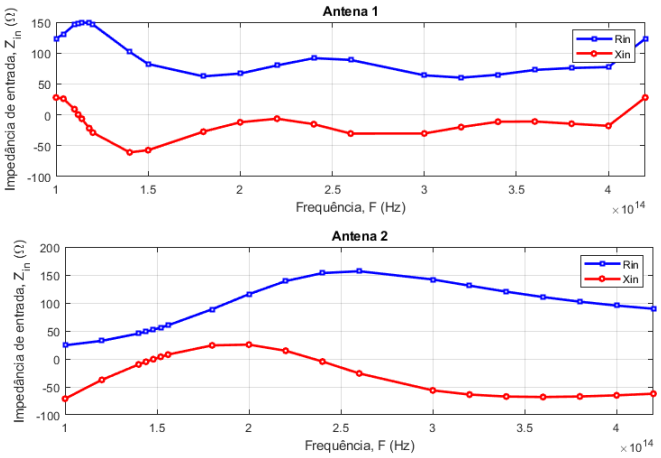

Fig. 2. Variação da impedância de entrada em relação à frequência.

O diagrama de irradiação 2D para Antena 01 é exibido na Fig 3 e apresenta comportamento similar para a Antena 02. Para a frequência de ressonância as Antenas 01 e 02 apresentam uma diretividade de $1,96dB$ e $2,02dB$, respectivamente.

Na Fig. 4 é apresentado o diagrama de irradiação 3D da Antena 01 para a frequência de ressonância, o ganho máximo para mesma é de $0,9dB$. É possível observar na Figura 4 que a forma do diagrama de irradiação de ganho 3D da nanoantena é aproximadamente a mesma de um dipolo de micro-ondas.

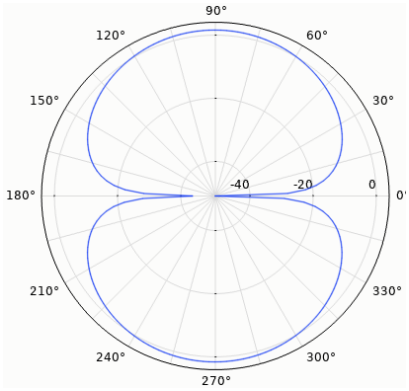

Fig. 3. Diagrama de irradiação 2D.

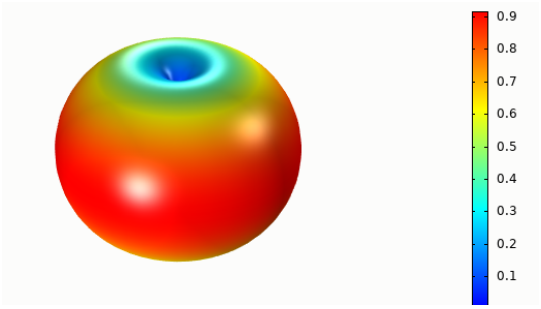

Fig. 4. Diagrama de irradiação 3D.

IV. Conclusões

Neste trabalho foi apresentado uma análise numérica de duas nanoantenas plasmônicas de ouro em formato cônico com dimensões diferentes trabalhando na faixa de THz. Foi utilizado o software COMSOL Multiphysics 5.5 devido a linguagem empregue ser simples e visual além de utilizar para o cálculo o método dos elementos finitos. Para trabalhos futuros, serão acoplados a estas antenas nanosensores e nano-receptores ópticos a fim de formar um nanocircuito e serão investigados o casamento de impedância e a otimização dos modelos encontrados.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação de Engenharia Elétrica (PPGEE), ao Instituto Federal de Educação da paraíba (IFPB).

Referências

[1] L. Novotny, and B. Hecht, "Principles of Nano-Optics", New York: Cambridge, 2006.
[2] P. Muhlschlegel, H.J.Eisler, O.J.F.Martin, B.Hecht, and D.W.Pohl, “Resonant optical antennas, ”Science, vol.308, pp.1607–1609,2005.
[3] A. Y. Svezhentsev, V. Volski, S. Yan and G. A. E. Vandenbosch, "Shaped nanoantennas on cylindrical and planar substrate,"IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, pp. 650-654.
[4] K. Q. Costa, V. Dmitriev, C. M. Nascimento and G. L. Silvano, "Graphene nanoantennas with different shapes,"2013 SBMO IEEE MTT-S International Microwave Optoelectronics Conference (IMOC), Rio de Janeiro, 2013, pp. 1-5.
[5] P. C. Lopez. "Análise Numérica de Nanoantena Dipolo-Espira de Banda Larga". Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará, Pará, 2017.
[6] G. L. Silvano, K. Q. Costa. "Simulação no COMSOL de Diferentes Configurações de Nanoantenas Cilíndricas". Anais do XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações– SBrT’12, set 2012, Brasília, DF.