

Felipe G. L. Assis (Bolsista CNPq/Unicamp), Tércio G. S. Cruz (Orientador), Leonardo A. Ambrósio (Co-Orientador)  
CESET/UNICAMP

Palavra chave: SAR, FDTD

## Introdução

Devido à intensificação no uso de ondas eletromagnéticas nos últimos anos, houve a preocupação em estudar possíveis efeitos danosos causados pela radiação emitida por aparelhos como o telefone celular. A radiação emitida por esses equipamentos é considerada não-ionizante, ou seja, não é capaz de quebrar ligação química, mas é capaz de causar efeitos térmicos. Um importante parâmetro para medir esses efeitos é a Taxa de Absorção Específica (SAR - *Specific Absorption Rate*). Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos térmicos da radiação eletromagnética através de simulações em duas dimensões (2D). Foram realizadas simulações da SAR na cabeça humana, através de cortes transversais da mesma, devidamente discretizados, usando o método FDTD (Finite-Difference Time-Domain).

## Metodologia

FDTD é um método numérico que permite analisar equações diferenciais computacionalmente. Originou-se do trabalho de Kane Yee<sup>1</sup> que representou em um grupo de equações de diferenças finitas o sistema de equações rotacionais de Maxwell<sup>2</sup> (Lei de Faraday e Lei de Ampère).

Neste método, o domínio (no caso das simulações propostas, esse domínio seria os campos EM) é dividido através de uma malha regular com nós. Um nó sobre o contorno da região onde o campo eletromagnético é especificado e denominado um nó fixo (fixado no problema) e pontos internos na região são denominados de pontos livres (pontos os quais o campo é desconhecido).

A Figura 1 mostra uma célula básica FDTD. As componentes **E** e **H** do algoritmo FDTD estão no centro de um determinado espaço tridimensional de maneira que cada componente de campo elétrico está envolvido por quatro componentes de campo magnético, e vice-versa.

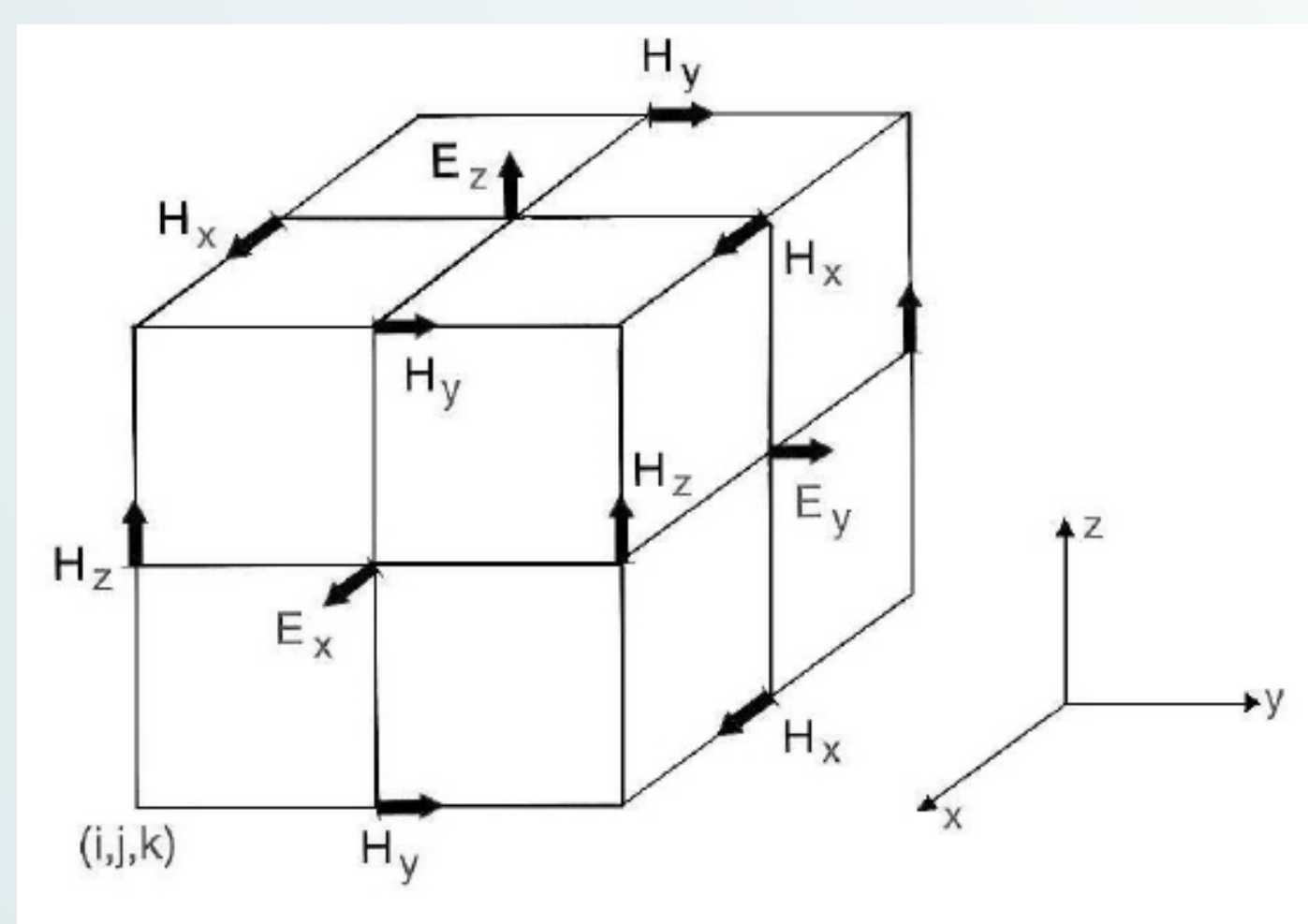


Figura 1: Representação Gráfica do Algoritmo de Yee

A SAR é uma medida de referência aos efeitos de aumento de temperatura dos tecidos biológicos. A energia absorvida por tecidos com condutividade diferente de zero é dissipada por efeito Joule e pode ser quantificada através da expressão (1) para o cálculo da SAR:

$$SAR = \frac{|E|^2}{\rho} \quad (1)$$

As simulações foram feitas baseadas em cortes transversais de 40 x 40 células FDTD da cabeça humana<sup>3</sup>, sendo que cada célula é de 5 mm x 5 mm. A figura 2 ilustra um dos cortes utilizado nas simulações, o corte 12. Essa numeração de corte se refere a um dos 50 cortes horizontais que compõe o modelo computacional da cabeça humana.



Figura 2: Corte 12

## Resultados e Discussão

As simulações foram feitas utilizando FORTRAN e os gráficos com resultados foram gerados no MATLAB. A figura abaixo ilustra um dos resultados gerados, no caso é para o corte 12 do modelo computacional da cabeça humana, a 2 cm da fonte e a uma frequência de 900Mhz.

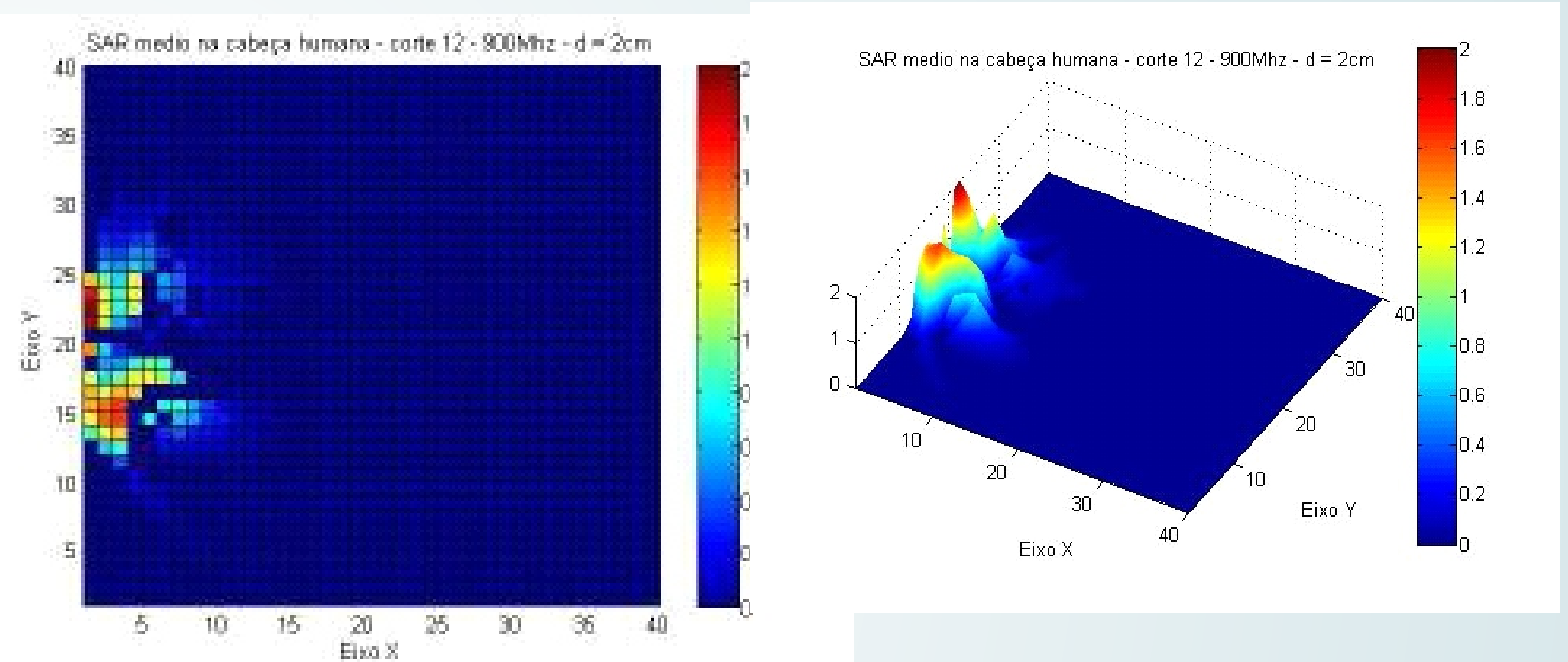


Figura 3 – SAR média (W/kg) – Corte 12 – Frequência de 900Mhz e distancia de 2cm da antena

Os resultados obtidos mostraram-se maiores que os das normas estabelecidas para exposição do *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) que é uma agência que estipula diretrizes para a emissão de radiações não-ionizantes. A Anatel segue o padrão ICNIRP. Observou-se que quanto mais próxima antena da cabeça maiores eram os valores de SAR.

## Conclusão

Ao analisar os gráficos gerados pela simulação percebemos o aumento da quantidade de SAR ao aproximarmos a antena da cabeça humana. Isso mostra o potencial danoso que a aproximação da antena do celular à cabeça poderia provocar. Alguns resultados gerados, conforme se observa nos gráficos, mostram uma quantidade de SAR superior aos limites de exposição do ICNIRP. Mas deve-se considerar que as simulações não são totalmente fiéis a realidade, visto que foram feitas no domínio do tempo. Necessitar-se-ia implementar um algoritmo de Fast Fourier Transform (FFT) para passá-las para o domínio da frequência.

## Referências Bibliográficas

- 1 – Allen Taflove, Susan C. Hagness, “Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method”;
- 2 – N. O. Sadiku, Matthew, “Elementos de Eletromagnetismo”, Bookman, 2004;
- 3 – L. A. Ambrósio, “Estudo da Radiação Eletromagnética na Cabeça Humana Considerando Efeitos Quirais”, Tese de Mestrado, FEEC, Unicamp, Jun/2005.