

OBJETOS DE APRENDIZAGEM PARA VISUALIZAÇÃO GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DE DIAGRAMAS DE RADIAÇÃO DE ANTENAS

Marinoel Joaquim – e-mail: marinoel@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Eletrônica
Av. Sete de Setembro, 3165, Bairro Rebouças
CEP 80230-901 – Curitiba - PR

Sérgio Scheer – e-mail: scheer@ufpr.br

Universidade Federal do Paraná, PPGMNE
Centro Politécnico, Bloco LAME/CESEC, Bairro Jardim das Américas
CEP 81531-980 – Curitiba - PR

Resumo: *Este artigo descreve objetos de aprendizagem (ou simuladores) desenvolvidos para auxiliar no ensino de antenas ao nível de um curso superior em tecnologia. Três dos quatro objetos de aprendizagem aqui analisados utilizam a biblioteca gráfica OpenGL e permitem visualizar diagramas de radiação bidimensional e tridimensional dos seguintes tipos de antenas: conjuntos de antenas isotrópicas, dipolos no espaço livre e com presença de plano terra, e antenas Yagi-Uda. Outras informações relevantes são fornecidas durante as simulações como diretividade, impedância, ângulos de meia potência, etc.*

Palavras-chave: *Visualização científica, Objetos de aprendizagem, OpenGL, Antenas.*

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o advento dos computadores pessoais e outras tecnologias, muitos artigos e livros de pedagogia têm enfatizado a necessidade e as vantagens de se utilizar mídias alternativas em sala de aula, como equipamentos de áudio, TV, vídeos, e principalmente computadores que permitem a utilização de softwares educativos, simuladores, linguagens de programação, Internet, etc..

Outra modalidade de ensino, que tem tido o apóio dos governos, universidades, da indústria e da sociedade como um todo, é o ensino à distância (MASON, 1998). Hoje, com as modernas tecnologias de informação e telecomunicações, professores e instrutores especializados podem ensinar em tempo real (vídeo e teleconferências) a qualquer distância dos alunos ou por redes de computadores (intranet, Internet) ou por outras mídias como TV analógica ou digital, CDs, DVDs, etc..

As vantagens do ensino à distância são inúmeras como redução ou ausência de custo em transporte de pessoal, equipamentos, materiais ou com hospedagem e alimentação; redução de custo com honorários de professores, instrutores e funcionários; aumento da capacidade de competitividade das instituições de ensino, dos indivíduos, da indústria e comércio; e principalmente na redução de tempo perdido em locomoção e outras tarefas secundárias.

Na Internet existem muitos softwares e objetos de aprendizagem, alguns gratuitos, outros comerciais ou ainda contidos em CDs vendidos juntos com livros, como por exemplo, (BALANIS, 2009), mas protegidos por leis de direitos autorais e *copyright* que impedem o seu uso livre e gratuito em sala de aula por alunos que não podem comprar estes livros. Assim, uma motivação importante para o desenvolvimento dos objetos de aprendizagem que

serão apresentados neste artigo é permitir um processo de ensino-aprendizagem com qualidade pedagógica e ergonômica (GAMA, 2007), adaptado às necessidades das universidades e centros tecnológicos brasileiros, de forma totalmente gratuita e de uso livre, sem a necessidade de altos investimentos em softwares comerciais.

As considerações feitas acima têm como objetivo mostrar resumidamente a importância das tecnologias de informação e telecomunicações diante dos novos paradigmas da educação. O assunto é muito amplo e profundo, sendo mais bem explicado por pedagogos, filósofos e sociólogos (MASON, 1998). Assim, os objetos de aprendizagem, descritos neste artigo, têm como objetivo trazer uma contribuição aos esforços de instituições de ensino e outras organizações pelo ensino tanto presencial como à distância com qualidade, gratuito, de forma eficiente, flexível, individualizada, adaptada às necessidades e ao tempo precioso e escasso dos seres humanos.

2 COMPUTAÇÃO NUMÉRICA E GRÁFICA PARA ANTENAS

Antenas e outros dispositivos eletromagnéticos são atualmente analisados e projetados utilizando recursos computacionais poderosos e métodos numéricos sofisticados. Alguns dos métodos numéricos mais utilizados na área de antenas e microondas são: o método dos momentos (WANG, 1991), o método dos elementos finitos (VOLAKIS et al., 1998) e o método no domínio do tempo das diferenças finitas (SULLIVAN, 2000). Na teoria de antenas se estuda desde antenas relativamente simples como dipolos e monopolos, até estruturas mais complexas como, por exemplo, conjuntos de dipolos, antenas microstrip e antenas adaptativas ou inteligentes (VOLAKIS, 2007).

Um dos parâmetros fundamentais de qualquer antena é seu diagrama de radiação que define as direções em que os sinais de rádio são transmitidos ou recebidos com mais intensidade. A partir do diagrama de radiação, é possível se determinar outros parâmetros importantes como diretividade, ângulo de meia potência, relação frente-costa, níveis de lóbulos laterais, eficiência de feixe, etc. O diagrama de radiação real é sempre tridimensional (3D), embora em muitos casos possa ser dividido em dois diagramas bidimensionais (2D) para fins de análise. Assim, é muito necessário, a simulação e visualização gráfica destes diagramas de radiação (2D ou 3D), que para antenas simples como dipolos e monopolos utiliza equações relativamente simples, mas para antenas mais complexas como, por exemplo, conjuntos de antenas microstrip, necessita de métodos numéricos mais sofisticados como o método dos momentos ou o método dos elementos finitos.

Outro parâmetro muito importante da antena é sua impedância (em ohms) que geralmente apresenta uma parte resistiva e uma parte reativa (indutiva ou capacitiva). O conhecimento desta impedância é crucial para permitir o casamento de impedância entre a antena e a linha de transmissão; sem um grau aceitável de casamento de impedância a transmissão ou recepção de sinais de rádio poderá ser severamente prejudicada tornando inoperante o sistema de comunicação para os usuários deste sistema.

A determinação desta impedância utiliza equações relativamente complexas, mesmo para antenas simples como dipolos e monopolos, mas relativamente simples de serem codificadas em um programa de computador. Para antenas de estrutura mais complexa, a determinação da impedância poderá exigir a utilização do método dos momentos ou o método dos elementos finitos. A partir do conhecimento preciso da impedância de uma antena é possível se utilizar várias técnicas ou estruturas (baluns, transformadores, dipolo dobrado, linhas microstrip, etc.) para se fazer o casamento de impedância com a linha de transmissão ou diretamente a um dispositivo ativo (transistores, circuitos integrados, etc.). Nesta seção procurou-se demonstrar de forma resumida a importância da utilização da computação numérica e gráfica na análise e projeto de antenas.

3 DESCRIÇÃO DOS OBJETOS DE APRENDIZAGEM

Nesta seção se descreve resumidamente quatro objetos de aprendizagem desenvolvidos para auxiliar o ensino da teoria de antenas: simulador de diagramas de radiação 2D de elementos e conjuntos uniformes; simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de conjuntos de antenas isotrópicas; simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de dipolos; e simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de antenas Yagi-Uda.

3.1 Simulador de diagramas de radiação bidimensional

O simulador de diagramas de radiação 2D (Figura 1) foi desenvolvido para permitir a simulação aproximada de vários diagramas de radiação importantes como diagramas de antenas isotrópica, dipolo, monopolo, antenas de alta diretividade (como Yagi-Uda, parabólicas, etc.) e conjuntos uniformes de antenas. Este simulador é capaz de calcular o ganho ou diretividade adimensional e em dBi para o diagrama tridimensional cuja rotação pode estar no eixo $0^\circ - 180^\circ$ ou no eixo $90^\circ - 270^\circ$. É capaz também de determinar visualmente os ângulos de meia potência de qualquer diagrama e permite gerar diagramas de radiação de campo ou potência. Uma folha tarefa (não incluída neste texto) explica o funcionamento de simulador e fornece um roteiro de simulação para que o aluno compreenda vários conceitos importantes.

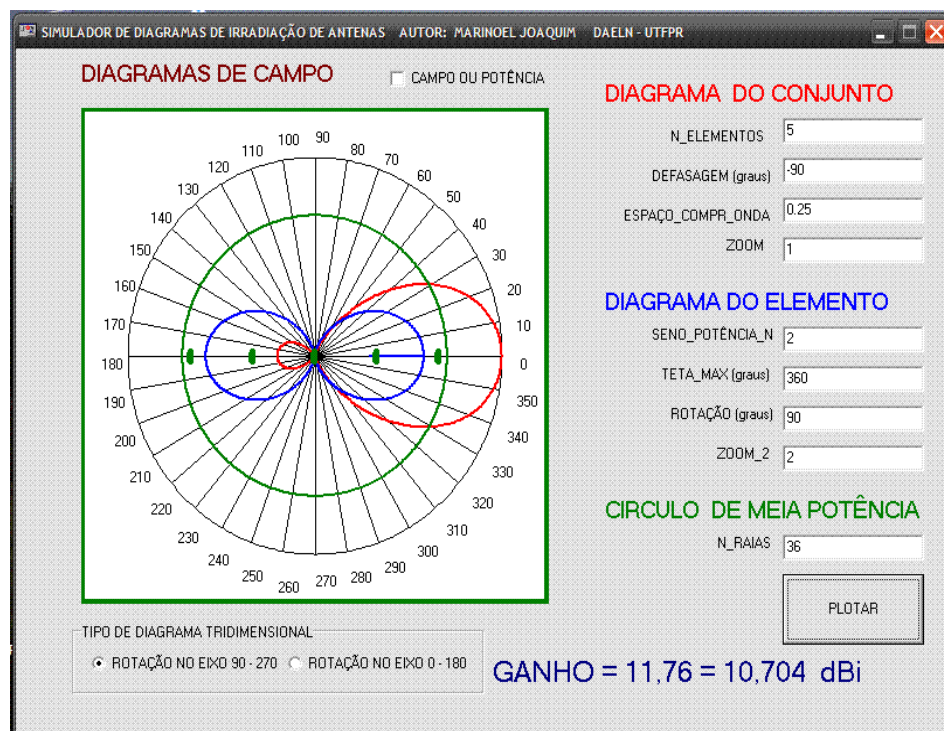


Figura 1 - Captura de tela do simulador de diagramas de radiação bidimensional.

3.2 Simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de conjuntos de antenas isotrópicas

Recentemente tem-se desenvolvido um simulador de diagramas de radiação tridimensional (3D) utilizando equações similares a do simulador de diagrama de radiação bidimensional (2D) da Figura 1. Este simulador foi desenvolvido utilizando a biblioteca gráfica OpenGL, bibliotecas Glut e Glui, e um compilador C++. A biblioteca OpenGL

(COHEN & MANSSOUR, 2006) é uma especificação aberta e multiplataforma de uma biblioteca de rotinas gráficas e de modelagem utilizada para o desenvolvimento de aplicações gráficas sofisticadas tais como animações, jogos de computador e visualização gráfica. Esta biblioteca permite utilizar os recursos internos e a velocidade de aceleração do hardware gráfico que acompanha os computadores pessoais atuais.

Na Figura 2, é possível observar diagramas de radiação do tipo campo 2D e 3D de um conjunto linear e uniforme de N elementos (neste caso N é igual a 7), onde o elemento é uma antena isotrópica. Utilizando uma interface gráfica com o usuário (GUI) é possível girar o diagrama 3D em torno dos eixos X e Y, fazer zoom nos diagramas 2D e 3D, modificar a cor da superfície e introduzir malhas no diagrama 3D, e introduzir os parâmetros de entrada: número de elementos, separação dos elementos em comprimentos de onda e ângulo de fase de alimentação (em graus) entre os elementos. A velocidade de processamento é suficientemente rápida, de forma que as mudanças nos formatos dos diagramas 2D e 3D, quando se pressiona os controles da GUI (que alteram os parâmetros de entrada, zoom e rotação), ocorrem de forma instantânea, ou seja, em tempo real na percepção visual do usuário.

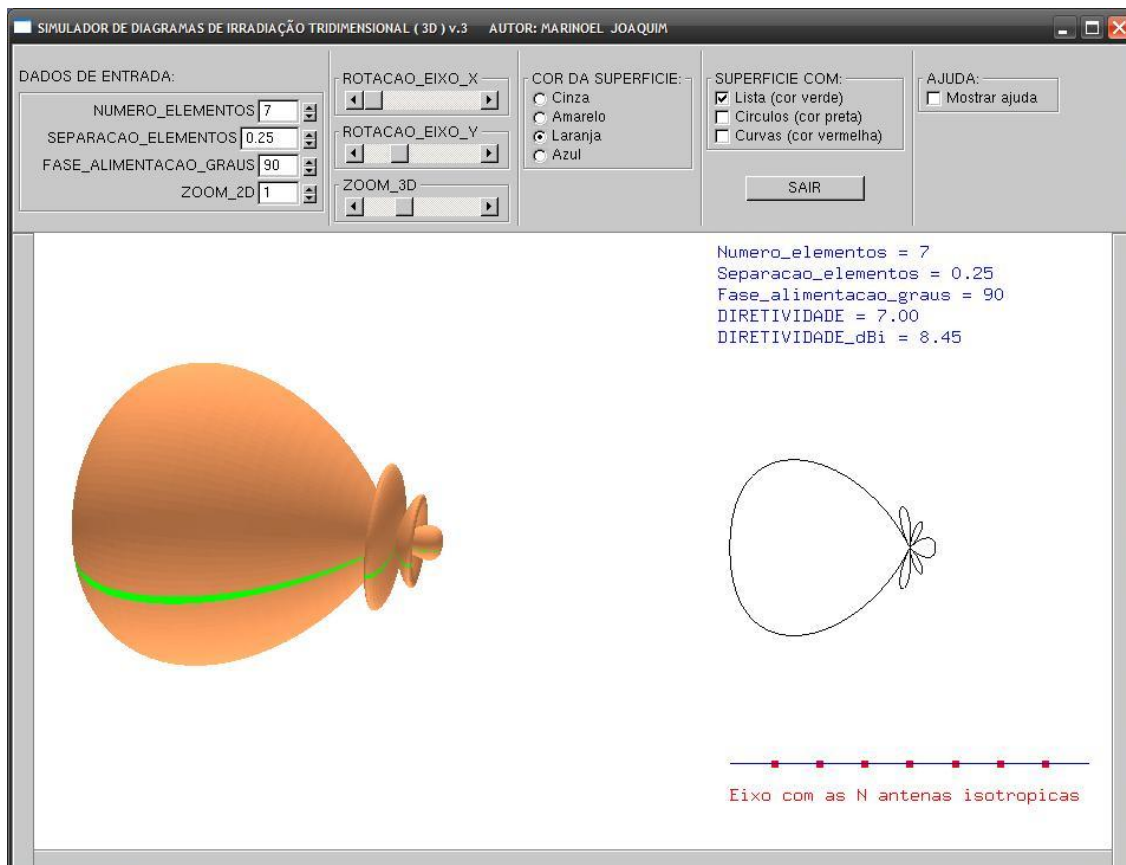


Figura 2 - Captura de tela do simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de conjunto de 7 antenas isotrópicas.

3.3 Simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de dipolos

Este simulador permite gerar diagramas de radiação do tipo campo 2D e 3D de dipolos curtos ou longos no espaço livre ou com presença de plano terra perfeito nas polarizações vertical ou horizontal. Plano terra perfeito é aquele que reflete as ondas eletromagnéticas como um espelho perfeito, ou seja, possui alta condutividade elétrica como, por exemplo, a

lataria de um automóvel (para qualquer frequência) ou mesmo a terra (física) para frequências inferiores a 3 MHz.

A entrada de dados, basicamente, consiste em entrar com o comprimento do dipolo em termos de comprimentos de onda e com altura, também em comprimentos de onda, do dipolo vertical ou horizontal em relação ao plano terra. É possível selecionar na interface gráfica com o usuário três tipos de diagrama de radiação: diagrama no espaço livre (onde a altura é ignorada) e diagramas de radiação vertical ou horizontal em relação ao plano terra (onde a altura é considerada). Em todos os diagramas a diretividade é calculada usando integração numérica (BALANIS, 2009).

O tipo de diagrama de radiação 3D mais complexo é aquele que é gerado para dipolo horizontal na presença de plano terra. Este diagrama de radiação 3D apresenta detalhes que não são percebidos nos dois diagramas de radiação 2D; um obtido no plano que contém o eixo do dipolo (em cor preta) e o outro no plano transversal ao eixo do dipolo (em cor vermelha), como mostra a Figura 3.

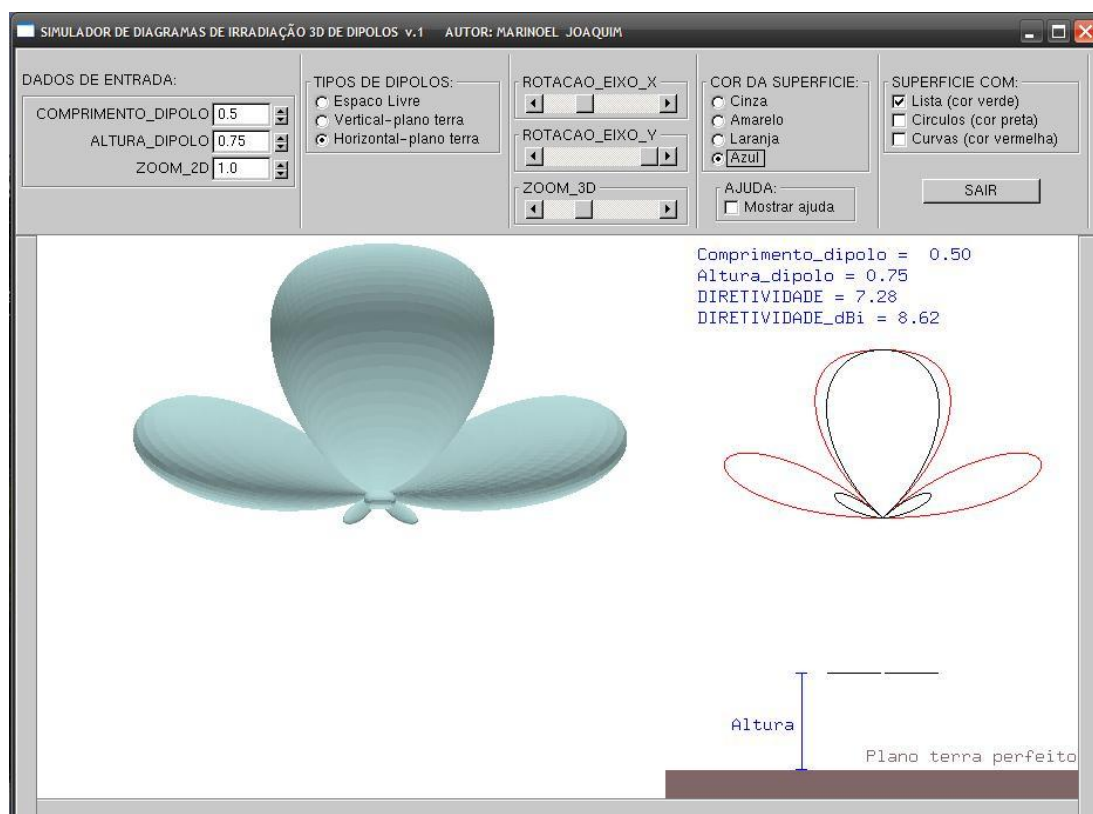


Figura 3 - Captura de tela do simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de dipolos.

3.4 Simulador de diagramas de radiação 2D e 3D de antenas Yagi-Uda

Este simulador apresenta muito mais recursos e informações que os simuladores anteriormente analisados e permite projetar e analisar o desempenho de antenas Yagi-Uda. Antenas Yagi-Uda possuem N elementos ou dipolos como ilustra a Figura 4. O elemento ou dipolo 2 é o único elemento ativo, ou seja, aquele que, conectado a uma linha de transmissão, transmite ou recebe ondas eletromagnéticas. O elemento passivo 1 é chamado de refletor e os elementos passivos de 3 a N são conhecidos como diretores. Normalmente uma antena Yagi-Uda terá pelos menos 2 elementos (1 e 2) ou um número de elementos que poderá chegar a mais de 30; na prática, normalmente o número de elementos situa-se entre 3 a 17.

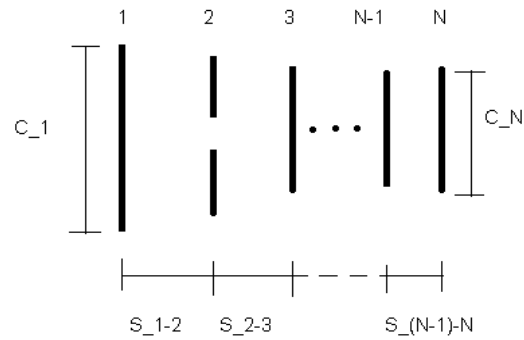


Figura 4 - Desenho esquemático de uma antena Yagi-Uda de N elementos (ou dipolos).

Os principais parâmetros de entrada, como mostrado na Figura 5, são o número de elementos (ou dipolos) que pode chegar a 17, o diâmetro dos elementos (considerado único por simplicidade), comprimentos de todos os elementos e separações entre elementos; todas estas dimensões em termos de comprimentos de onda, ou seja, comprimento elétrico.

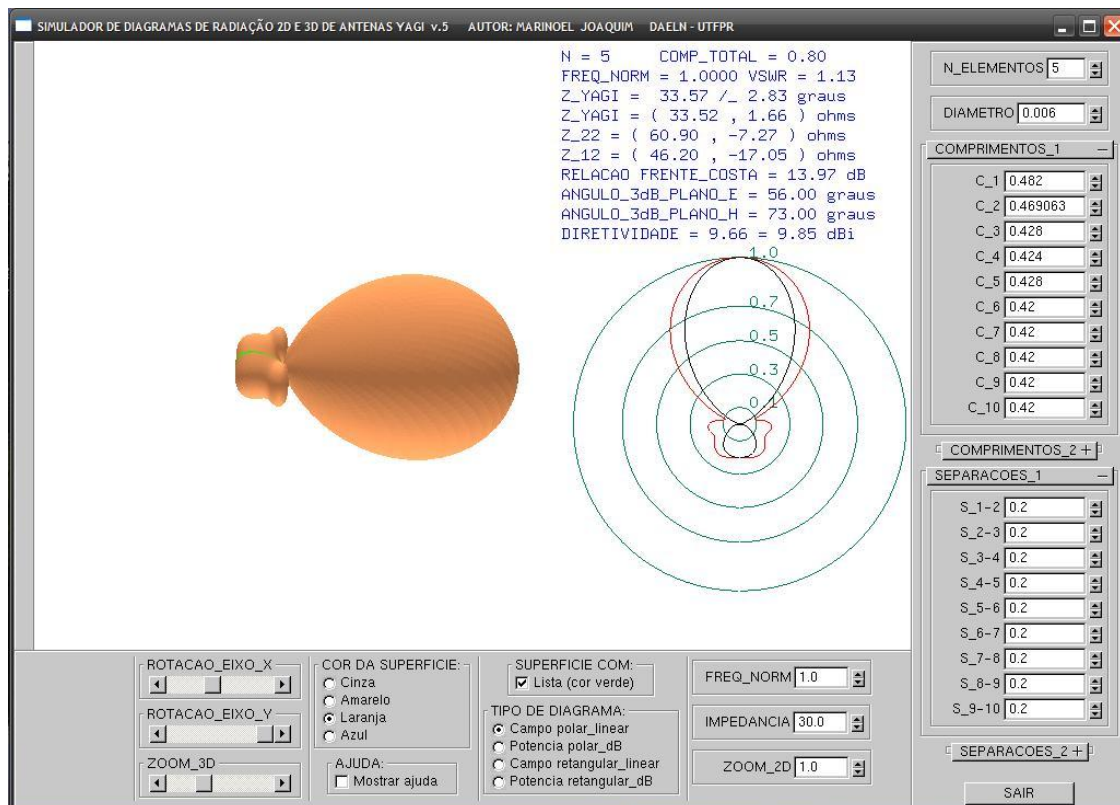


Figura 5 – Captura de tela do simulador de diagramas de radiação 3D de antenas Yagi-Uda.

O programa desenvolvido utiliza o método da força eletromotriz induzida para o cálculo da impedância própria de cada dipolo e impedância mútua entre dois dipolos com comprimentos diferentes (FERNANDES, 1980), gerando uma matriz de impedâncias complexas N por N . A partir desta matriz é possível calcular a impedância final da antena (Z_{YAGI}) no único elemento ativo (2) com boa precisão. Valores de impedância própria (Z_{22}) do elemento 2 (dipolo ativo) e impedância mútua (Z_{12}) entre elementos 1 e 2 também com boa precisão são fornecidas por questões didáticas. Comparações dos valores de impedância

obtidos com este método e com outras referências (BALANIS, 2009), (MILLIGAN, 2005), mostram boa concordância quando o diâmetro elétrico dos dipolos é menor que 0,007 comprimentos de onda. Para diâmetros maiores o método dos momentos é mais preciso, mas apresenta um custo computacional mais alto.

Aproveita-se os valores de correntes complexas, obtidos através do cálculo da matriz de impedâncias complexas, para gerar o diagrama de radiação 3D e diagramas de radiação 2D do plano E (cor preta) e do plano H (cor vermelha). A partir destes diagramas de radiação é possível calcular aproximadamente a diretividade, relação frente-costa e ângulos de meia potência dos planos E (campo elétrico) e H (campo magnético). Estes valores não têm a mesma precisão de métodos numéricos mais sofisticados como o método dos momentos ou dos elementos finitos, mas apresentam uma precisão razoável para diâmetro elétrico dos dipolos menor que 0,007 comprimentos de onda. Isto se deve ao fato de se considerar as distribuições de corrente como cossenoidais. No entanto, este simulador tem sido usado com sucesso juntamente com um artigo para dimensionar antenas Yagi-Uda (VIEZBICKE, 1976) e técnicas de casamento de impedância (BALANIS, 2009), para o projeto e testes de antenas Yagi-Uda em laboratório.

Outra simulação (Figura 6) com uma antena Yagi-Uda de 17 elementos, ilustra o aumento da complexidade dos diagramas de radiação 2D e 3D que são mais lobulados, mas com redução dos ângulos de meia potência dos planos E e H, e conseqüente aumento de diretividade. Há, também, uma tendência na redução da impedância final da antena Yagi-Uda à medida que o número de elementos (ou dipolos) aumenta.

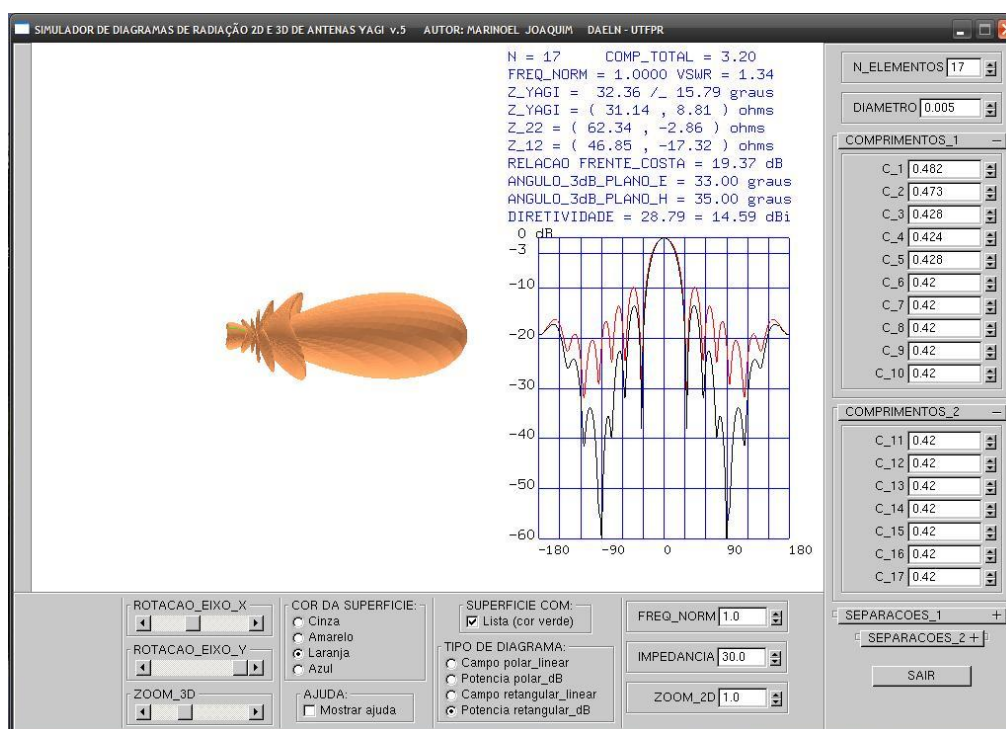


Figura 6 - Captura de tela de uma simulação para uma antena Yagi-Uda de 17 elementos.

Nas simulações das Figuras 5 e 6 é fácil perceber que se pode tornar a impedância final (Z_{YAGI}) da antena Yagi-Uda, praticamente resistiva, alterando o comprimento do dipolo ativo (C_2). É também possível aumentar a impedância final da antena Yagi-Uda aumentando um pouco o espaçamento entre refletor e dipolo ativo (S_{1-2}); o aumento não deve, normalmente, ser superior a 0,25 comprimentos de onda, para não degradar outras características da antena como, por exemplo, a relação frente-costa. Estas alterações na impedância final da antena

Yagi-Uda facilitam e aumentam a eficiência do casamento de impedância entre a antena e linha de transmissão.

Na última versão deste simulador (Figura 5 ou 6) pode-se gerar até quatro tipos de diagramas 2D: diagrama de campo na forma polar e escala linear; diagrama de potência na forma polar e escala logarítmica (em dB); diagrama de campo na forma retangular e escala linear; e diagrama de potência na forma retangular e escala logarítmica (em dB). O diagrama de radiação 3D é sempre um diagrama de campo com escala linear. Foram, também, adicionados os recursos de frequência normalizada e impedância de carga (associada ao valor da relação de onda estacionária ou VSWR, do inglês: *Voltage Standing Wave Ratio*), que permite verificar a variação dos diversos parâmetros de saída em uma banda de frequências (por exemplo, valores de frequência normalizada entre 0,95 e 1,05). Assim, este simulador não é apenas uma ferramenta de projeto, mas uma interessante ferramenta pedagógica de visualização gráfica para compreender vários conceitos importantes que fazem parte da engenharia de antenas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de poderosas e rápidas unidades de processamento gráfico (GPUs) de baixo custo existentes nos computadores atuais, aliadas ao uso de bibliotecas gráficas em constante desenvolvimento e gratuitas como a OpenGL, permitem o desenvolvimento de interessantes e úteis aplicações de visualizações gráficas para ensino, pesquisa e desenvolvimento, como demonstrado neste artigo.

Lembrando do modelo de visualização gráfica, analisado em (WIJK, 2005), em que se demonstra que o conhecimento final obtido por um usuário, usando um ambiente de visualização gráfica, depende do seu conhecimento inicial, da sua capacidade de percepção e cognição, das próprias especificações do ambiente de visualização (dados, hardware, algoritmos, interface gráfica, etc.), e como ocorre a interação no tempo entre o usuário e este ambiente (exploração interativa). Assim, de acordo com (WIJK, 2005), a visualização gráfica é um assunto que trata com certa dose de subjetividade, complexidade e empirismo, bem como envolve ciência e arte, mas é fundamental para o desenvolvimento de tecnologia, avanços de fronteira da ciência, inovação e negócios na sociedade.

Além da biblioteca OpenGL, existem outras bibliotecas gráficas importantes e gratuitas como, por exemplo, VTK ou Visualization Toolkit (SCHOEDER et al., 2004) e CUDA (Compute Unified Device Architecture). A linguagem de programação utilizada com a biblioteca OpenGL não necessita, necessariamente, ser C ou C++; outras linguagens de programação têm sido usadas, tais como Python, Java, C#, etc.. Todas, como a própria linguagem C++, têm suas vantagens e limitações.

O desenvolvimento dos objetos de aprendizagem, analisados neste artigo, foi motivado pelo desejo de facilitar e aumentar o entendimento da teoria de antenas pelos alunos e assim contribuir para um ensino de qualidade e gratuito em nossas universidades brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALANIS, C. A. **Teoria de Antenas: Análise e Síntese**. Volumes 1 e 2. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- COHEN, M., MANSSOUR, I. H. **OpenGL: Uma Abordagem Prática e Objetiva**. São Paulo: Novatec, 2006.
- FERNANDES, A. S. De C. **Antenas de Onda Estacionária: Métodos e Modelos de Análise**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

GAMA, C. L. G. Da. **Método de Construção de Objetos de Aprendizagem com Aplicação em Métodos Numéricos**. Curitiba, 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia) - PPGMNE, Universidade Federal do Paraná.

MASON, R. **Globalising Education: Trends and Applications**. London: Routledge, 1998.

MILLIGAN, T. A. **Modern Antenna Design**. 2nd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

SCHOEDER, W., MARTIN, K., LORENSEN, B. **The Visualization Toolkit**. 3rd Edition. Clifton Park, NY: Kitware Inc., 2004.

SULLIVAN, D. M. **Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method**. New York: IEEE Press, 2000.

VIEZBICKE, P. P. **NBS Technical Note 688: Yagi Antenna Design, 1976**. Disponível em: < <http://tf.nist.gov/timefreq/general/pdf/451.pdf> > Acesso em: 25 mar. 2011.

VOLAKIS, J. L., CHATTERJEE, A., KEMPEL, L. C. **Finite Element Method for Electromagnetics: Antennas, Microwave Circuits, and Scattering Applications**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

VOLAKIS, J. L., Editor. **Antenna Engineering Handbook**. Fourth Edition. New York: McGraw-Hill, 2007.

WANG, J. J. H. **Generalized Moment Methods in Electromagnetics**. New York: John Wiley & Sons, 1991.

WIJK, J. J. V. The Value of Visualization. **Proceedings of IEEE Visualization 2005**, Minneapolis, p. 79-86, 2005.

LEARNING OBJECTS FOR THREE-DIMENSIONAL GRAPHICS VISUALIZATION OF RADIATION PATTERNS OF ANTENNAS

Abstract: *This paper describes developed learning objects (or simulators) for to aid in the antennas teaching at an engineering technology level. Three among four described learning objects in this paper, make use of OpenGL graphics library and allow visualization of two-dimensional and three-dimensional radiation patterns of the following kinds of antennas: arrays of isotropic antennas, dipole antennas in free space and presence of perfect ground plane, and Yagi-Uda antennas. Important information is supplied during the simulations like as directivity, impedance, half-power angle and so on.*

Key-words: *Scientific visualization, Learning objects, OpenGL, Antennas.*