

## ENSINO DE MICROONDAS NO SÉCULO XXI

**Ricardo Rhomberg Martins** - [ricardo@del.ufrj.br](mailto:ricardo@del.ufrj.br)

Depto de Eng Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica da UFRJ  
Centro de Tecnologia, Bloco H, sala 200, ilha do Fundão  
21.945-970 - Rio de Janeiro – RJ

**Resumo:** Este artigo apresenta alguns componentes de microondas da faixa de 2.4 GHz (em que funciona o WIFI) fabricados pelos alunos das disciplinas Antenas e de Microondas do curso de Engenharia Eletrônica e de Computação da Escola Politécnica da UFRJ. Do ponto de vista pedagógico é mais um exemplo do ensino através de projetos (Mello, 2011) ou Problem Based Learning (PBL) - Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

**Palavras chave:** Antenas, microondas, Wifi, Ensino.

### 1 INTRODUÇÃO

O ensino de Antenas, Microondas e todo o Eletromagnetismo Aplicado em geral vem sofrendo consequências do maior interesse que os alunos demonstram atualmente pelas áreas mais diretamente ligadas a programação e computação. O presente artigo mostra algumas experiências de conexão entre ambos os ramos do conhecimento com o intuito de tentar aproximar os estudantes daquelas áreas de estudo.

São apresentados alguns componentes (antenas, alimentadores, receptores, etc) feitos pelos próprios alunos com o intuito de, por exemplo, melhorar a recepção de sinais de WIFI.

### 2 GUIAS - BASE TEÓRICA

#### 2.1 Guias retangulares

Assumindo a disposição de um guia retangular no sistema de coordenadas mostrada na figura 1:

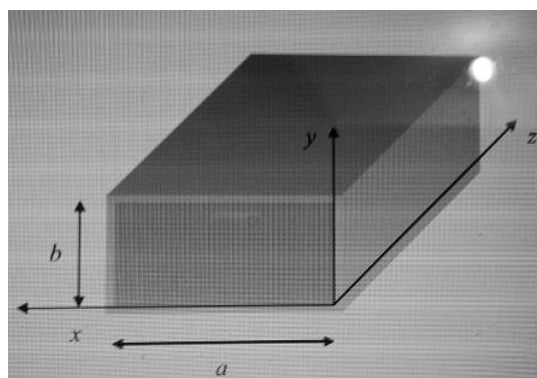


Fig. 1. Guia retangular e sistema de coordenadas utilizado

Segundo Carvalho (CARVALHO, 2005) a frequência de corte (frequência acima da qual existe propagação no guia) de um modo  $TE_{m,n}$  (sem componentes de campo ao longo de  $z$ ) de uma onda que se propague na direção  $z$ , pode ser dada por:

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

Admitindo-se modo  $TE_{1,0}$  (uma variação de campo ao longo de  $x$ , donde  $m = 1$ , e nenhuma variação ao longo de  $y$ , donde  $n = 0$ ) de propagação, chega-se a:

$$f_c = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{1}{a}\right)^2}$$

Para um guia sem dielétrico (ou cujo dielétrico é o ar),  $\mu = \mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  e  $\epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ .

Se a frequência de trabalho desejada for uma das usadas para a distribuição de WIFI (2,4GHz), usando-se  $f_c = 2\text{GHz}$  (para garantir a propagação de uma onda com aquela frequência) conclui-se que  $a = 7,5$  cm. Costuma-se usar  $b$  da ordem de  $a/2$ .

### 3 PRIMEIRAS REALIZAÇÕES PRÁTICAS

#### 3.1 Alimentadores

Com estes dados podem-se construir, por exemplo, alimentadores e receptores de microondas na faixa de WIFI com latas de óleo de dimensões adequadas como se vê abaixo:



Fig. 2. Monopolo transmissor dentro do guia



Fig. 3. Monopolo receptor dentro do guia.

O monopolo do transmissor deve ficar a  $\lambda/4$  do fim do “guia” para se obter coincidência de fase entre os sinais que se propagam na direção desejada, levando-se em

consideração que há também uma inversão total de fase na reflexão na parede da direção oposta.

No corpo do conector do receptor há um diodo capaz de detetar, junto com a capacitância parasita do cabo, o sinal de 2.4 GHz.

Nos testes realizados com estas antenas os alunos compararam os sinais por elas irradiados ou recebidos e verificaram que eram menores que os dos monopolos originais dos APs que eles estavam usando. Surgiram então discussões muito interessantes, por exemplo, em relação à influência dos cabos que eles estavam utilizando, profundidade de penetração, resistência do cabo a sinais de AC, etc. Após mais alguns experiências chegaram à conclusão de que o cabo atenuava o sinal a  $\frac{1}{4}$  do seu valor original a cada metro... comparando seus resultados com os de calculadores de atenuação disponíveis na internet.

### 3.2 Antenas piramidais

Segundo Balanis (BALANIS, 1997) ao tipo de antenas visto na figura abaixo pode-se dar o nome genérico de “cornetas” (horn antennas):

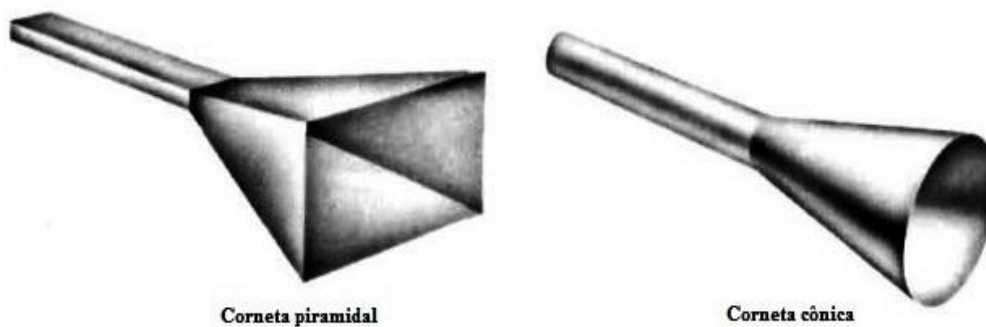


Fig. 4. Antenas tipo corneta

Seguindo o objetivo didático a que se referiu acima e o deste texto em particular, as cornetas de tipo piramidal são bem mais fáceis de construir. Seus diagramas de irradiação costumam ser como o que aparece na figura abaixo:

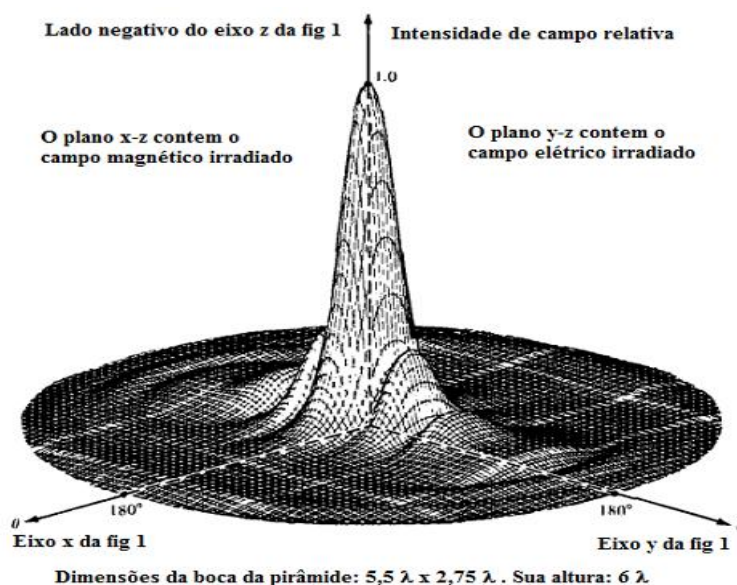


Fig. 5. Diagrama típico de antenas tipo corneta

O mesmo autor [pp. 693 - 695] propõe e exemplifica o procedimento teórico do projeto deste tipo de antenas partindo do ganho pretendido (entendido como capacidade de concentração do campo irradiado). Na perspectiva deste trabalho parecem bastar as seguintes informações para os alunos:

- i. Quanto maiores as dimensões da “boca” da pirâmide, maior o seu ganho, justificando a informação com o princípio de Huygens (cada ponto de uma frente de onda funciona como se fosse um microgerador das frentes de onda seguintes).
- ii. Quanto maior o comprimento de uma corneta, melhor seu casamento de impedância com o guia que a alimenta, alegando serem menos “drásticas” as alterações das dimensões do guia que se “abre” formando a antena.

Sugere-se a eles então que montem diferentes estruturas para testar as afirmações acima.

A figura a seguir mostra alguns exemplos de antenas para a banda X e uma da faixa de WIFI feitas pelos alunos de um curso de antenas no Laboratório de Telecom da Escola Politécnica da UFRJ. Ainda não se dispõe de um conjunto completo para a faixa de WIFI que possa demonstrar a técnica didática de que se vem falando.

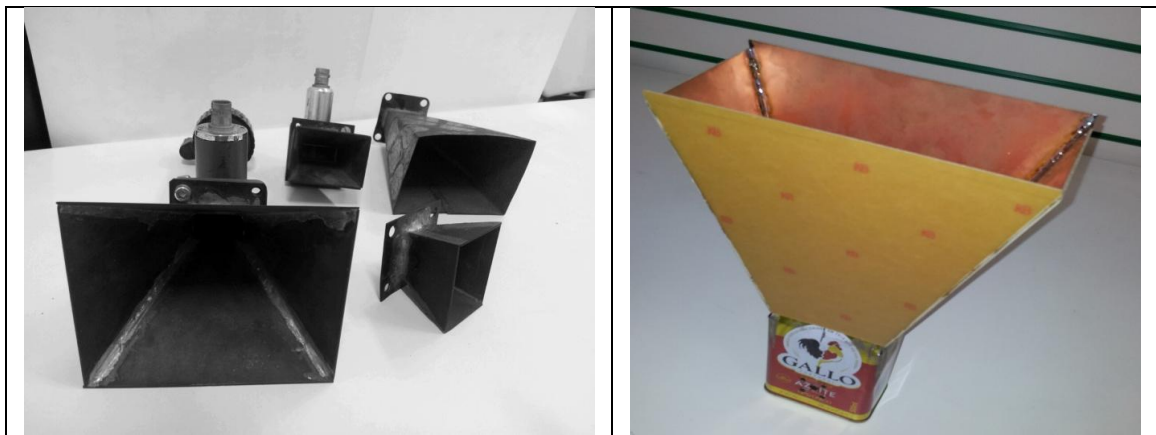


Fig 6 Antenas piramidais da banda X (9 GHz) e de 2,4 GHz

### 3.3 Antenas parabólicas

O tipo mais comum de antena refletora é a parabólica (MARTINS 2012) que, quando usada para transmissão, reflete os raios que saem do foco para o espaço, formando ondas de frentes planas. Quando usada na recepção, ela reflete para o seu foco as ondas de frentes planas que vêm do espaço.

Normalmente se aprende que uma equação do 2º. grau é representada graficamente por uma parábola. É menos conhecida uma propriedade geométrica destas curvas: uma parábola é o lugar geométrico entre uma reta chamada suporte e um ponto chamado foco.



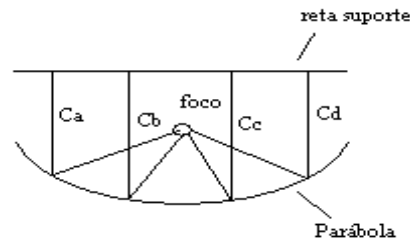


Fig 7. Definição de parábola

Na figura acima, um raio que percorra qualquer um dos caminhos a,b,c,d ou outro qualquer andar a mesma distância. Isto implica em que se algum sinal sair do foco, estará em fase em todos os pontos da reta suporte, tornando-a uma frente de onda. A partir dali todas as retas paralelas à suporte serão frentes de onda...

Com o caminho inverso acontece a mesma coisa: uma frente de onda paralela vai se concentrar em fase no foco da parábola.

O parabolóide (figura de revolução formada pela rotação de uma parábola) tem as mesmas propriedades em três dimensões como se pode ver na figura a seguir:

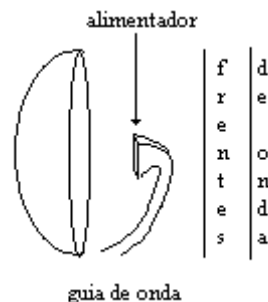


Fig 8. Parabólica com alimentador de guia

Numa transmissão o guia conduz a onda desde um monopolo como o da figura 2 colocado na sua outra extremidade e a corneta a libera no espaço em direção ao parabolóide. As frentes de onda resultantes do sistema são planas e tendem a se manter paralelas, fazendo com que a energia irradiada se concentre na direção do eixo do parabolóide. Este é o motivo destas antenas terem alto ganho.

No caminho inverso a parabólica funciona como uma receptora de alta receptividade (também chamada de área efetiva de recepção).

### **Realização experimental**

Um dos trabalhos realizados pelos alunos com APs foi a conexão da rede do Laboratório de Telecomunicações com o alojamento de estudantes, assim relatada pelos mesmos:

“Inicialmente foi usado o AP da TP-Link (TL-WA701ND) para tentar estabelecer uma conexão com um local medianamente distante. Foi medida a potência recebida: -60 dBm a **vinte** metros de distância (sinal relativamente fraco).

Substituindo o monopolo original por uma antena parabólica, conseguiu-se obter -50 dBm a **sessenta** metros de distância, demonstrando a diretividade e aumento da potência do sinal numa direção específica.

Foi então montado um link que usa no Telecom's Lab (H200B do CT da UFRJ) um AP funcionando como transmissor/receptor e no alojamento de estudantes outro funcionando como "client" (distância aproximada de 2 Km). O sistema está funcionando perfeitamente há cerca de 5 anos" com antenas do tipo da que se vê abaixo":



Fig. 9 Parabólica usada nas experiências de laboratório

### 3.4 Perdas nos cabos

A montagem imediatamente anterior também exige a conexão do AP à antena através de cabos. Surge então naturalmente uma discussão coerente com os conhecimentos anteriormente adquiridos... o que é uma prova de que houve absorção das informações a ponto de influir nas suas reações a situações novas que se lhes apresentam.

## 4 EQUIPAMENTO DE TESTE

Para testar as antenas montadas e verificar a realidade das premissas em que os projetos foram baseadas tem-se utilizado o software inSSIDer3 for Home da Metageek<sup>1</sup> do qual uma das telas aparece na figura a seguir:

---

<sup>1</sup> Disponível gratuitamente em: <http://www.metageek.net>.

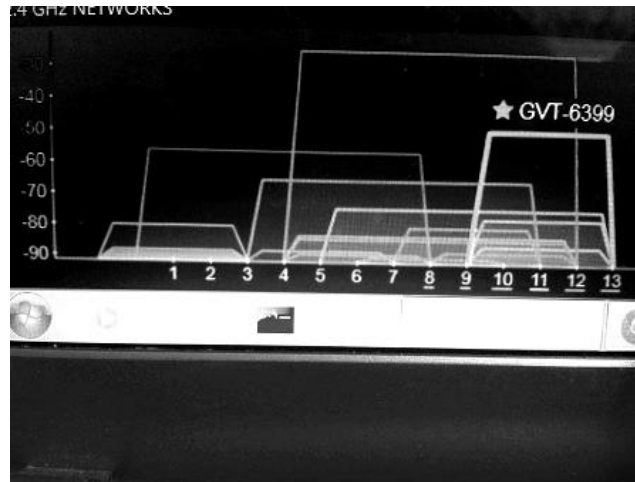


Fig. 10. Tela do inSSIDer 3 num computador conectado a um AP de SSID = GVT 6399.

Com este software instalado num laptop é possível ver a intensidade de todos os sinais de wifi incidentes na máquina. No caso retratado na figura o equipamento em teste estava conectado ao AP de SSID 6399 e a tarefa dos alunos era comparar as intensidades do sinal para diferentes antenas.

## 5 2.4 x 5 GHz

Atualmente muitos dispositivos de comunicação operam na faixa de transmissão de 2.4 GHz (GOMES & SPOHN), que é uma banda não licenciada denominada Industrial, Scientific and Medical (ISM), incluindo rádios que utilizam as tecnologias Bluetooth, WiFi e Zigbee, além de outros aparelhos como telefones sem fio, mouses, teclados sem fio e fornos de microondas. A empresa Helix-air fornece um kit (hardware+software) que permite analisar esta parte do espectro num determinado local<sup>2</sup>. A banda ISM foi inicialmente alocada para usos não comerciais, sendo mais tarde modificada para permitir mais serviços, provocando um grande fluxo de aplicações de comunicação sem fio. Essas aplicações tiram vantagem dessa banda para livre operação (LI et al, 2009). Como a banda ISM não é licenciada, nenhum usuário possui prioridade de uso em relação a outro. A única restrição para os usuários nessa banda é a potência do sinal que é imposta para limitar a interferência entre sistemas coexistentes (ETKIN et al, 2009). Como não existe proteção contra interferência de usuários coexistentes, é necessário o desenvolvimento de tecnologias eficientes de coexistência para permitir uma operação suficientemente boa de sistemas em bandas não licenciadas. Portanto, é necessário um novo tipo de abordagem para o projeto de sistemas de comunicação sem fio, que deve incluir medidas da ocupação do espectro, modelagem da interferência e avaliação de desempenho.

Existe uma tendência a passar o WIFI para outra faixa ISM de 5GHz. Do ponto de vista deste estudo a correspondente diminuição das dimensões dos componentes apenas irá facilitar os trabalhos.

<sup>2</sup> <http://helix.air.net.au/index.php/diy-2-4ghz-spectrum-scanner/>

## 6 CONCLUSÕES

A metodologia apresentada tem dado resultados positivos, mensurados no aumento do número de alunos cursando as cadeiras optativas da área de Telecom física (paralelamente estão sendo feitos esforços para apresentar aos alunos técnicas de processamento de sinais de RF como parte do campo mais amplo de Processamento de Sinais).

Inicia-se agora uma tentativa de apresentar alguns destes conceitos de forma prática já nas disciplinas de Teoria Eletromagnética que, em parte pelo seu peso matemático e em parte pela falta de visibilidade de suas aplicações em áreas de interesse dos alunos, têm alta incidência de repetências.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALANIS, Constantine A. Antenna Theory, Analysis and Design, New York, John Wiley & Sons Inc. 1997, p. 5

CARVALHO, Maria Inês Barbosa de, Guias de Onda, 1ª. ed. Porto: Ed. Universidade do Porto, 2005. 28 p.

ETKIN, Raul; PAREKH, Abhay; TSE, David, Spectrum Sharing for Unlicensed Bands. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.25, no. 3, april 2007

GOMES, Ruan D.; SPOHN, Marco A., Estudo Experimental da Utilização Espectral na Banda ISM de 2.4 GHz, Disponível em: [http://www.academia.edu/498600/Estudo\\_Experimental\\_da\\_Utilizacao\\_Espectral\\_na\\_Banda\\_ISM\\_de\\_2.4\\_GHz](http://www.academia.edu/498600/Estudo_Experimental_da_Utilizacao_Espectral_na_Banda_ISM_de_2.4_GHz), acessado em 26-02-2014.

LI, Hanyu; SYED, Mubashir, YAO, Yu-Dong; KAMAKARIS, Theodoros. Spectrum Sharing in an ISM Band: Outage Performance of a Hybrid DS/FHSpread Spectrum System with Beamforming. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. Volume 2009, Article ID 834527.

MARTINS, Ricardo Rhomberg, Antenas e Processamento de Sinais, 1ª. ed., Ed. COPPE, Rio de Janeiro, 2012, p 33 e segs.

MELLO, Guiomar Namo de, Projetos como Alternativa de Ensino e Aprendizagem, disponível em <http://www.namodemello.com.br/pdf/escritos/outros/ensinoporproj.pdf>, consultado em 11/05/2014.





**Abstract:** *This paper presents some microwave components for the 2.4GHz band (WiFi's working band) made by students from the Antennas and Microwaves class, of the Electronic and Computer Engineering Course from UFRJ's Polytechnic School. It is a Problem Based Learning (PBL) example (Mello, 2011).*

**Key words:** Antennas, microwave, Wifi, teaching.