

PSI3482 – ANTENAS, MICROONDAS E ÓPTICA MODERNA

Profa. Ariana Serrano aserrano@usp.br sala C2-62
Prof. Gustavo Rehder gprehder@usp.br sala C2-66
2019

Tipos de Antenas

- Geralmente são estruturas metálicas
- Podem combinar estruturas metálicas e dielétricas
 - Antenas de fio ou filamento (diâmetro $(d) \ll$ comprimento (L))
 - Antenas cornetas
 - Antenas de microfita
 - Antenas refletoras
 - Arranjos de antenas
 - Antenas-lente

Usadas em carros, prédios, navios, aviões, naves espaciais, ...

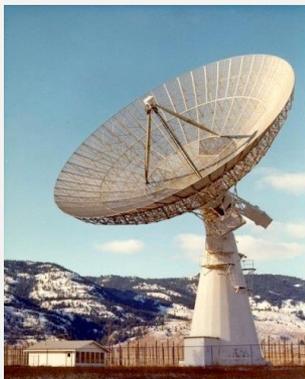
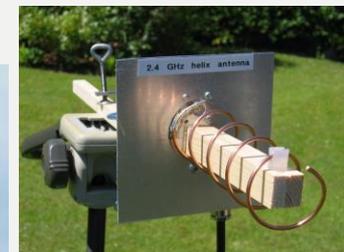
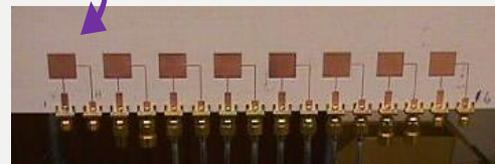
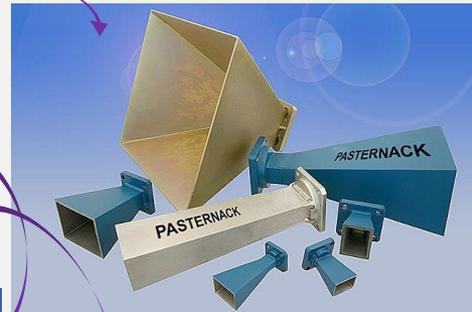
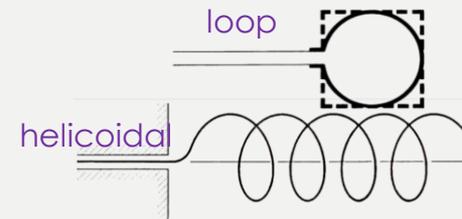


Diagrama de Radiação

- Propriedades de radiação da antena
 - Densidade de fluxo de potência (potência por área da esfera)
 - Intensidade de radiação
 - Intensidade de campo (amplitude)
 - Diretividade / ganho
 - Fase
 - Polarização
- Diagrama de campo (escala linear): $|E|$ ou $|H|$
- Diagrama de potência (escala linear): $\rightarrow |E|^2$ ou $|H|^2$
- Diagrama de potência normalizado (dB): $10 \cdot \log |E/E_{MAX}|^2$ ou $10 \cdot \log |H/H_{MAX}|^2$
 - Todos em função do espaço angular

Em geral: valores normalizados em relação ao máximo

Diagrama de Radiação

- Elementos do diagrama de radiação
 - Lóbulos: porção do diagrama de radiação limitada por regiões de intensidade de radiação relativamente fraca
 - Tipos de lóbulos
 - Principal
 - *Máxima radiação*
 - *Largura de Feixe de Meia Potência*
 - Secundário
 - *Lateral*
 - *Posterior*
 - Zeros ou nulos
 - Pontos de mínima radiação
 - **Half Power Beam Width** → **HPBW** ou
 - **Largura de Feixe de Meia Potência** → **LFMP** do lóbulo principal

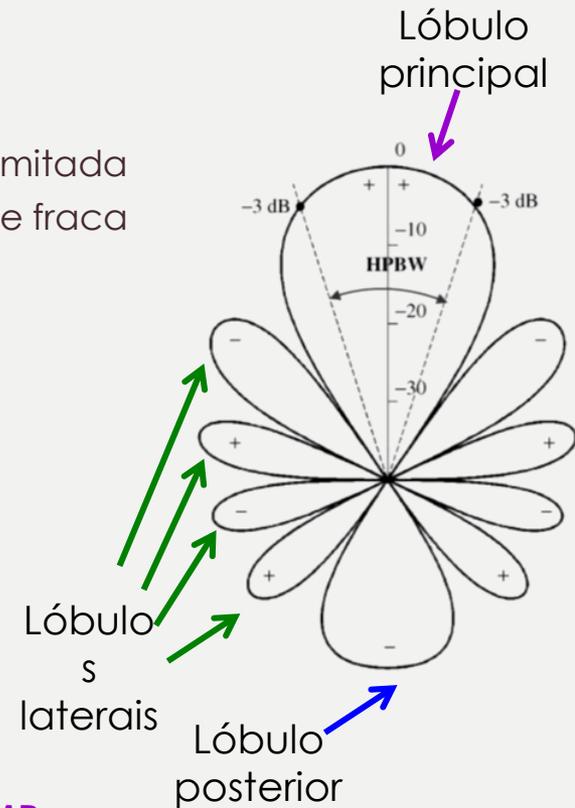


Fig 2.2c - Balanis

Diagrama de Radiação

- Campo elétrico distante (onda TEM)

$$\vec{E}_s(r, \theta, \phi) = [F_\theta(\theta, \phi) \cdot \hat{\theta} + F_\phi(\theta, \phi) \cdot \hat{\phi}] \cdot \frac{e^{-j \cdot k_0 \cdot r}}{r}$$

- Campo magnético distante (onda TEM)

$$\vec{H}_\phi = \frac{E_\theta}{\eta_0} \cdot \hat{\phi} \quad \vec{H}_\theta = -\frac{E_\phi}{\eta_0} \cdot \hat{\theta} \quad \eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$$

- Propagação na direção r , sem componentes de E e H
- Amplitude decai com $1/r$
- A fase varia com $e^{-j \cdot k_0 \cdot r}$
- Polarização de E e H: perpendiculares à direção de propagação, nas direções Φ (azimute) ou θ (elevação): $E_\theta(\theta, \phi)$ e $E_\phi(\theta, \phi)$ $H_\theta(\theta, \phi)$ e $H_\phi(\theta, \phi)$

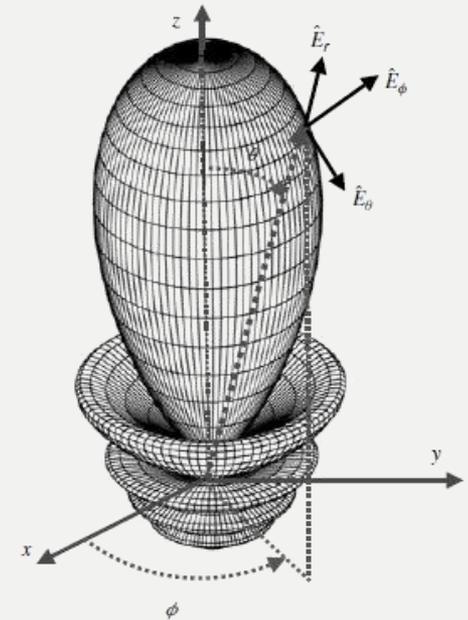


Diagrama de Radiação

■ Densidade de potência radiada

- Potência que atravessa uma área unitária (W/m²)
- Vetor de Poynting instantâneo
 - Densidade de potência instantânea

$$\vec{S}(t) = \vec{E}(t) \times \vec{H}(t)$$

- Valor médio temporal da densidade de potência (W/m²)

$$S_{\text{médio}} = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E}_s \times \vec{H}_s^*]$$

$$\left. \begin{array}{l} \vec{E}_s \\ \vec{H}_s \end{array} \right\} \text{Fasores}$$

■ Intensidade de radiação

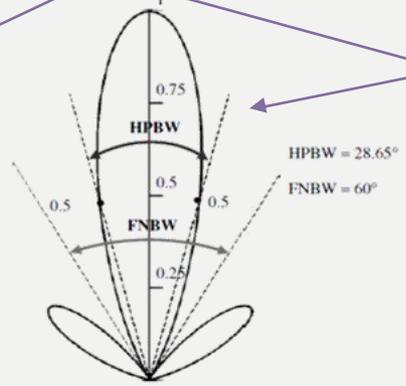
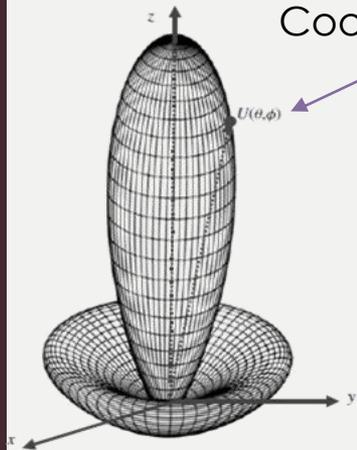
- Intensidade do campo EM radiado pela antena, $U(\theta, \phi)$

$$U(\theta, \phi) = r^2 \cdot S_{\text{médio}} \quad (\text{Potência}) / (\hat{\text{Ângulo sólido}})$$

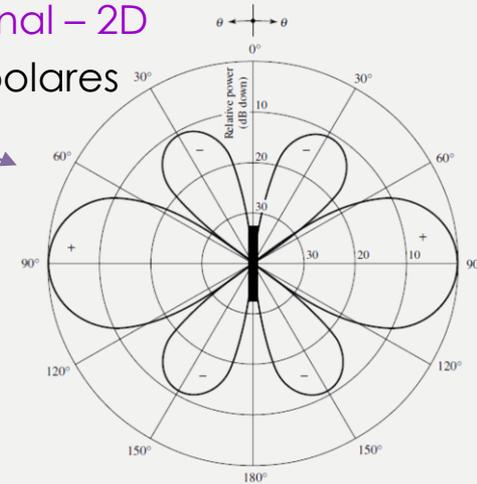
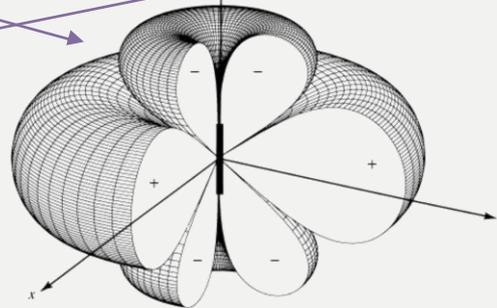
- Não depende de r , somente de θ e ϕ
- Como a radiação se distribui ao redor da antena a uma distância constante

Diagrama de Radiação

Tridimensional – 3D
Coordenadas esféricas



Corte bidimensional – 2D
Coordenadas polares



Corte bidimensional – 2D
Cartesiano

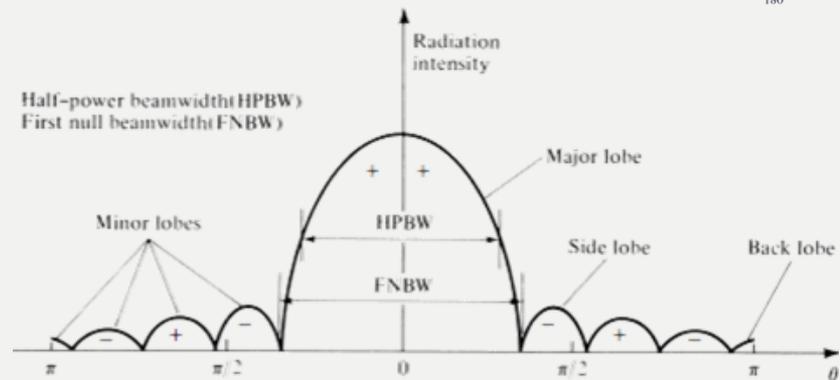
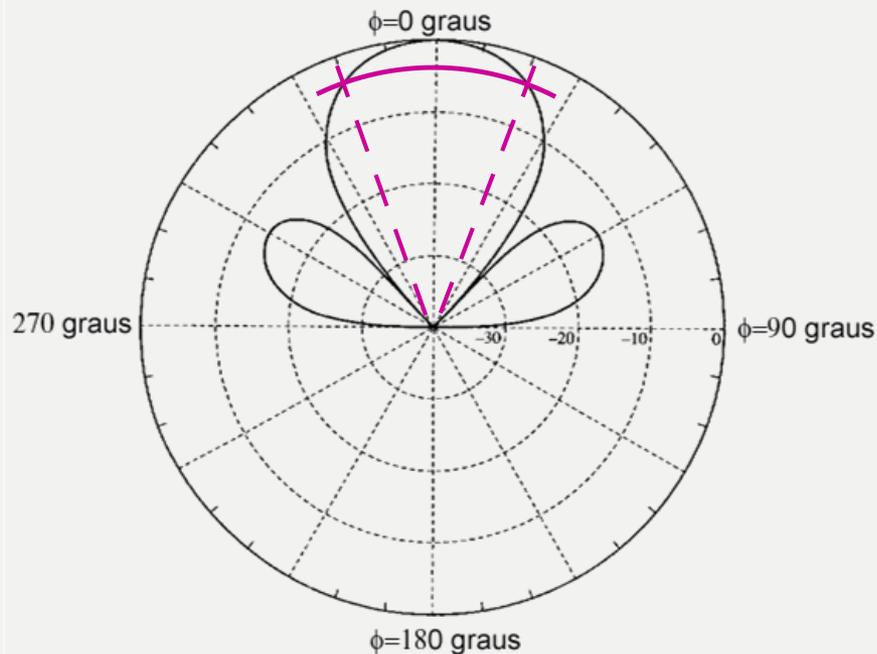
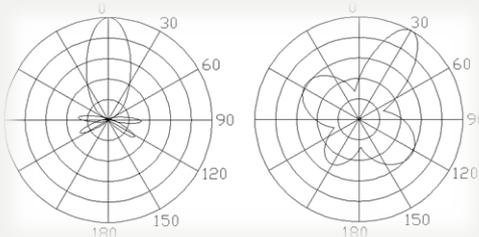


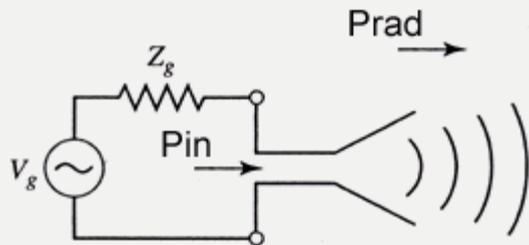
Diagrama de Radiação 2D azimutal Φ



- Amplitude máxima: 0 dB
 - $U(\theta, \phi)$ normalizado em relação a U_{MAX}
- Lóbulo principal $\Rightarrow 1$
 - $\Phi = 0^\circ$
 - Amplitude = 0 dB
- Lóbulos secundários $\Rightarrow 2$
 - $\Phi = -60^\circ$ e $+60^\circ$
 - Amplitude = 14 dB abaixo do máximo
- Zeros de radiação
 - $\Phi = -42^\circ, +42^\circ, -90^\circ, +90^\circ$
- LFMP $\sim 40^\circ$



Eficiência de Radiação e_{rad}

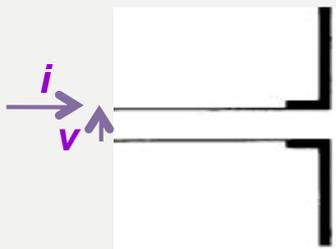


- P_{in} : potência na entrada da antena
- P_{rad} : potência radiada pela antena
- P_{loss} : potência dissipada na antena

- Condição ideal: $P_{rad} = P_{in}$, mas real $P_{rad} < P_{in}$
- Perdas ôhmicas e/ou dielétricas na estrutura da antena

$$e_{rad} = \frac{P_{rad}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} = 1 - \frac{P_{loss}}{P_{in}}$$

$$0 \leq e_{rad} \leq 1 \quad \text{ou} \quad 0 \leq e_{rad}(\%) \leq 100(\%)$$



$$Z_A = \frac{v}{i} = R_A + j \cdot X_A$$

$$R_A = R_{rad} + R_{loss}$$

$$e_{rad} = \frac{P_{rad}}{P_{in}} = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_{loss}} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{loss}}$$

Diretividade

- Mede a capacidade da antena para focalizar a energia radiada na direção (θ, Φ) , sendo a razão entre:

- Intensidade de radiação na direção (θ, Φ) : $U(\theta, \Phi)$
- Intensidade de radiação média: U_{MEDI}

$$D = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{MEDI}}$$

- Diretividade máxima: $D_{MAX} = \frac{U_{MAX}}{U_{MEDI}}$ ← lóbulo principal
← lóbulos principal e secundários

- Intensidade de radiação média: $U_{MEDI} = \frac{P_{rad}}{4\pi}$ ← Potência total radiada pela antena
← Ângulo sólido da esfera contendo a antena

- Diretividade da antena isotrópica = 1 (0 dB)
 - $U(\theta, \Phi) = U_{MAX} = \text{constante}$

Ganho

$$G(\text{dB}) = D(\text{dB}) + 10\log(e_{\text{rad}})$$

$$G = e_{\text{rad}} \cdot D$$

(Linear)

$$0 \leq e_{\text{rad}} \leq 1 \longrightarrow G \leq D$$

Área Efetiva

- Definida para antena receptora
 - Área de captura do campo EM incidente
 - Área que intercepta a densidade de potência

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D$$

equivale à área de uma antena de abertura que capta a mesma potência quando exposta à mesma densidade de potência

- Pode-se expressar a potência recebida pela antena por:

$$P_r = A_e \cdot S_{\text{MEDIA}}$$

Perda por Descasamento de Impedância

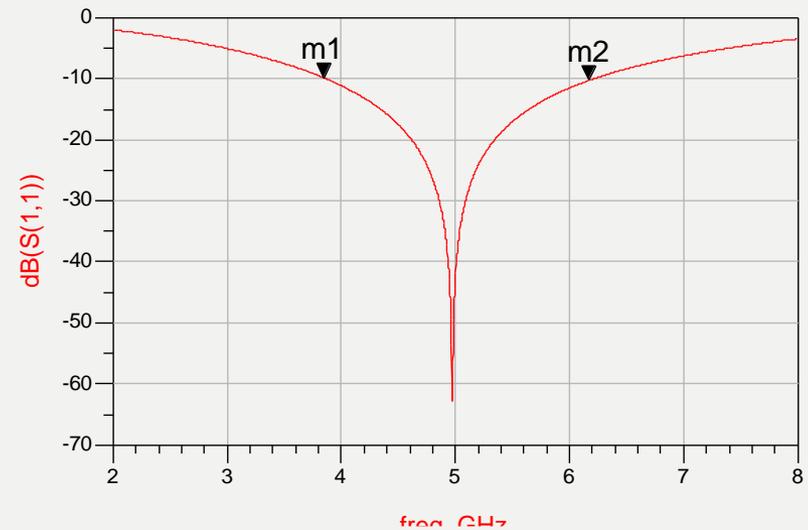
$$P_{Tx\ ou\ Rx} = P_{T\ ou\ R} \cdot (1 - |\Gamma_{T\ ou\ R}|^2)$$

Banda de Impedância

Banda na qual $\Gamma_{ent}(dB) \leq -10\ dB$

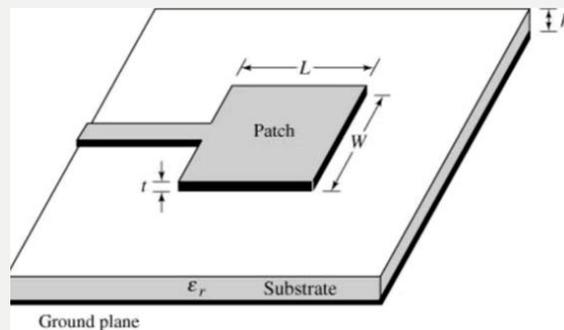
$$BW = f_2 - f_1$$

$$BW(\%) = \frac{f_2 - f_1}{f_0} \cdot 100\%$$

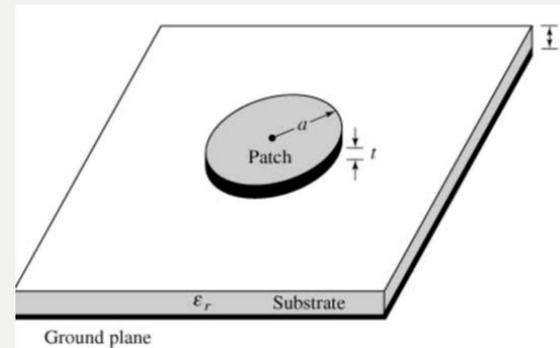


Antenas em microstrip

- Antenas patch ou de plaqueta
- Elemento radiante: plaqueta metálica 2D com espessura $t \ll \lambda_0$
- Substrato dielétrico com espessura $h \ll \lambda_0$
- Plano terra na face inferior do substrato
- Inúmeras formas de patch: retangular, circular, triangular, etc.



Antena *patch* retangular



Antena *patch* circular

Antenas *Patch* Retangular

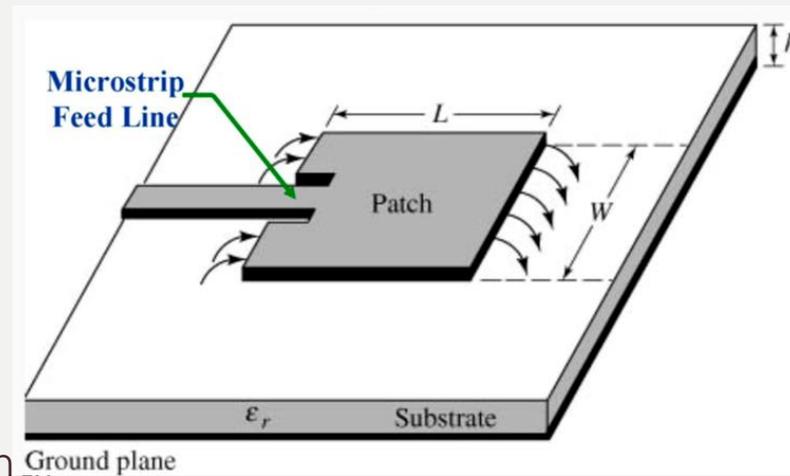
- Princípio de operação
 - Bordas do ressonador



- Duas fendas radiantes
Distantes de $\lambda/2$



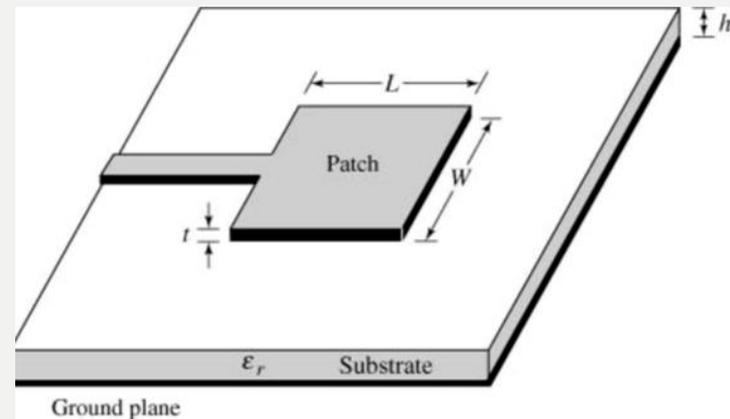
- Patch ressoa em fr
(frequência central da antena)



- Métodos de análise
 - Linha de transmissão - Cavidade ressonante - Onda completa

Antenas *Patch* Retangular

- Análise como linha de transmissão
 - Ressonador
 - Linha de transmissão de baixa impedância
 - Largura W
 - Comprimento L
 - Substrato
 - Espessura h
 - Constante dielétrica ϵ_r
 - Tangente de perdas $\text{tg}(\delta)$
 - Camadas metálicas
 - Espessura t
 - Condutividade σ



Antenas Patch Retangular

■ Equações de projeto

- Cálculo da **largura** do patch, **W**

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

- Para máxima eficiência de radiação:

- Cálculo de ϵ_{ef_w} de uma μ Strip com largura W (Linecalc)

- Cálculo do **comprimento** físico do patch, **L** = $\lambda/2$

- Espreadimento do campo elétrico nas bordas do patch, L_{ef}

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ef_w}}} - 2\Delta L$$

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{ef_w} + 0,3) \cdot \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{ef_w} - 0,258) \cdot \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)}$$

- Posição do ponto de alimentação da antena x_0

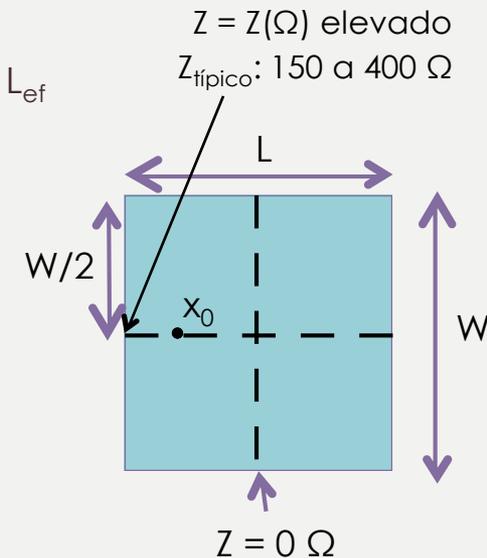
- Ponto ideal de inserção do sinal: entrada casada!

$$Z(x) = Z_{borda} \left(\cos \frac{\pi x}{L} \right)^2 (\Omega)$$

Onde: Z = impedância ao longo do eixo x ;

Z_{borda} = impedância na borda do patch;

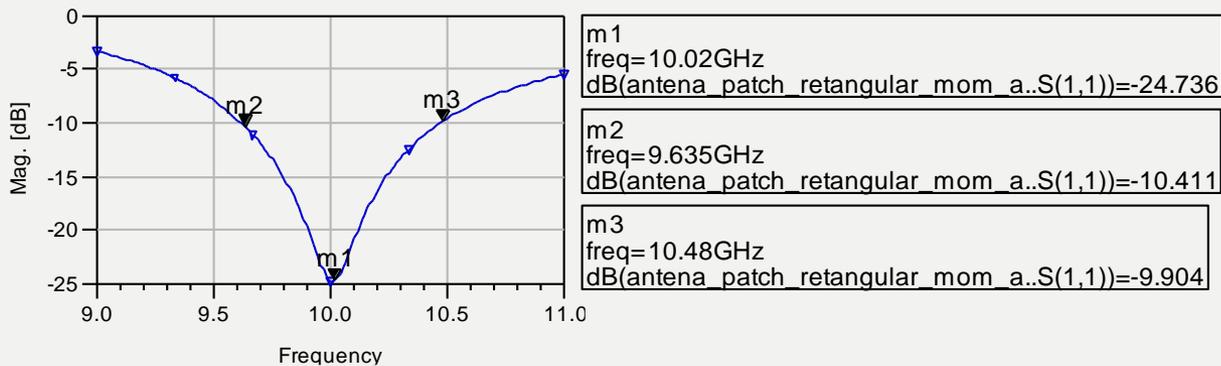
x_0 = distância da borda com impedância $Z(x_0)$



Antenas Patch Retangular

■ Resultados de simulação:

- Coeficiente de reflexão da entrada da antena x frequência



- Diagrama de radiação – Diretividade em dB

