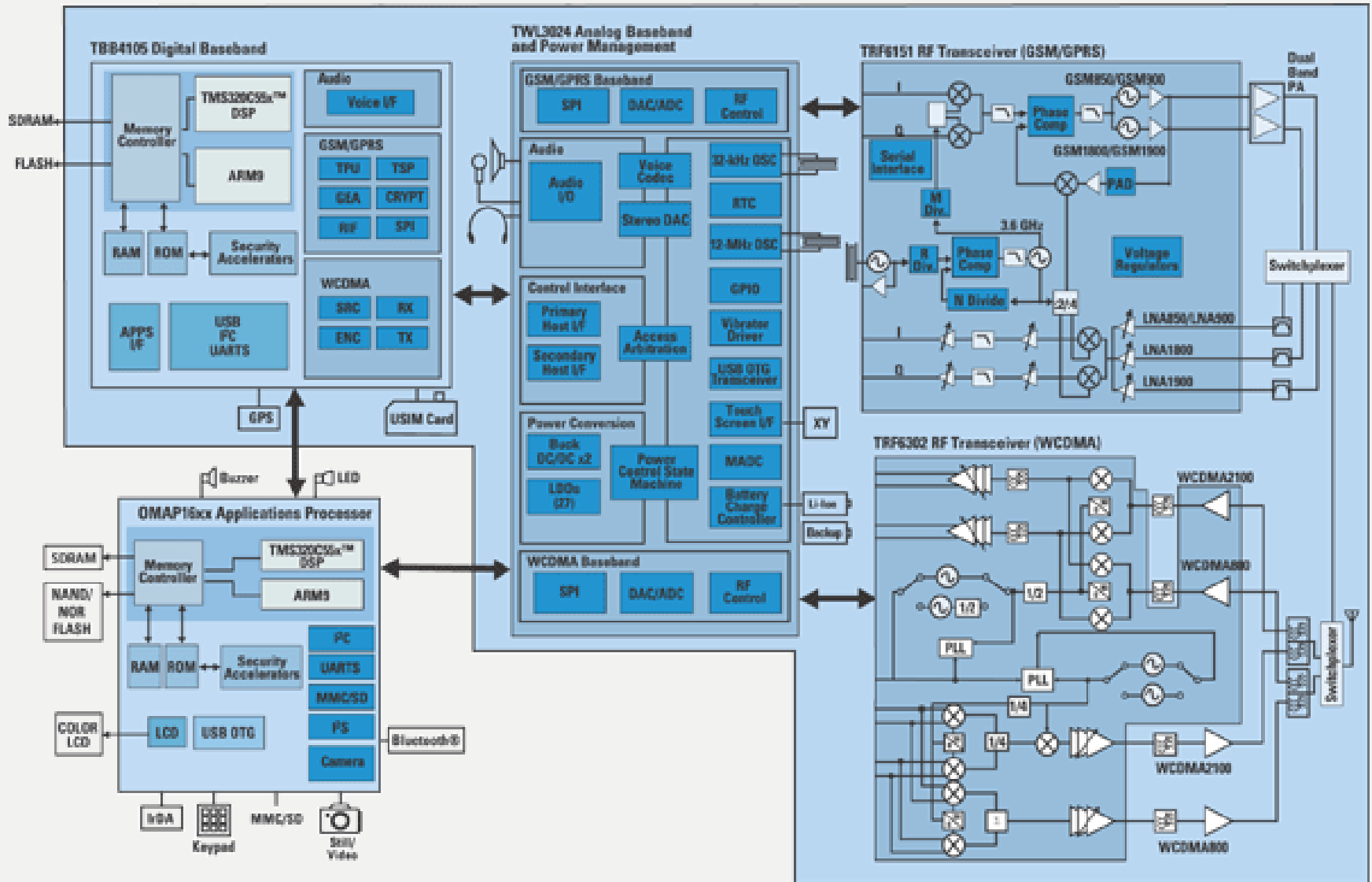


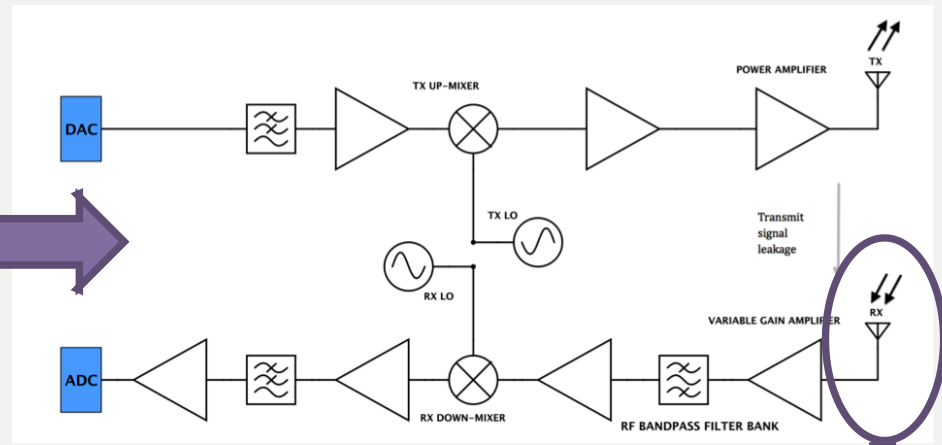
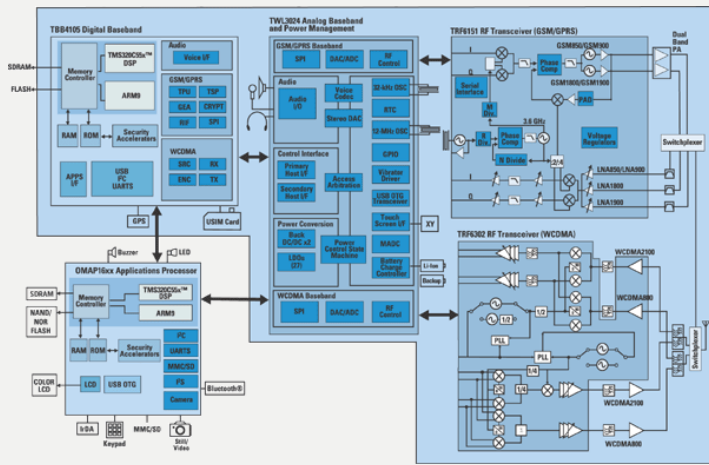
PSI3482 – ANTENAS, MICROONDAS E ÓPTICA MODERNA

Profa. Ariana Serrano aserrano@usp.br sala C2-62

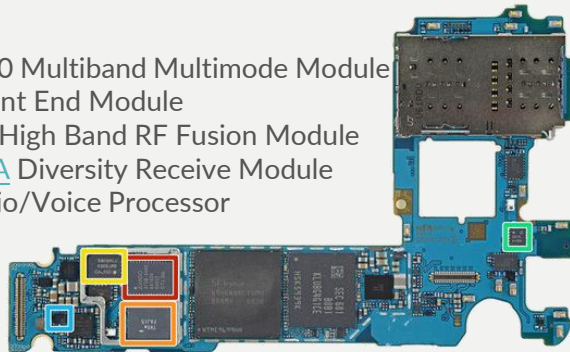
Sistemas de Micro-ondas

■ Transceivers - Celular

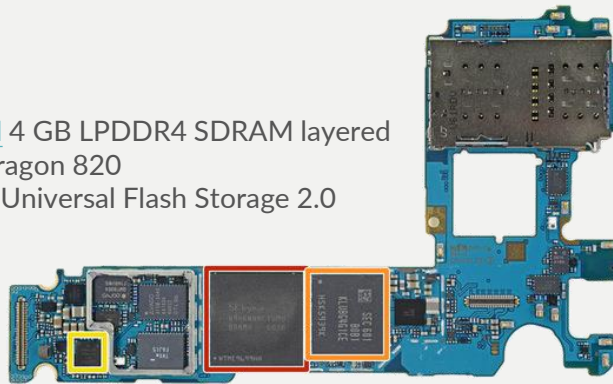




- Avago AFEM-9040 Multiband Multimode Module
- Murata FAJ15 Front End Module
- Qorvo [QM78064](#) High Band RF Fusion Module
- Qorvo [QM63001A](#) Diversity Receive Module
- DSP [DBMD4](#) Audio/Voice Processor



- SK Hynix [H9KNNNCTUMU-BRNMH](#) 4 GB LPDDR4 SDRAM layered over the Qualcomm [MSM8996](#) Snapdragon 820
- Samsung [KLUBG4G1CE](#) 32 GB MLC Universal Flash Storage 2.0
- Qualcomm WCD9335 Audio Codec

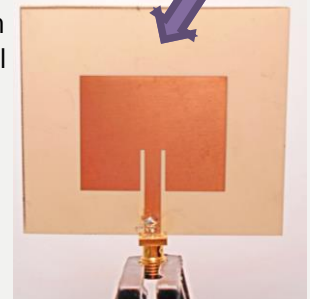


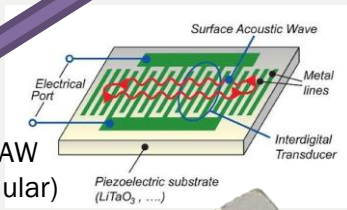
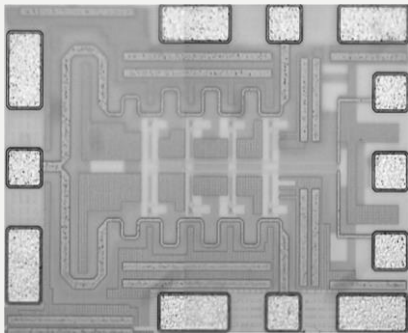
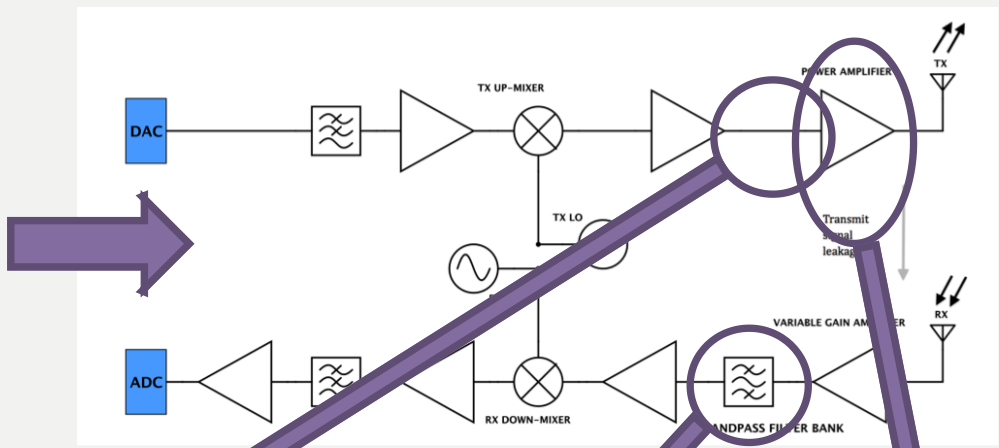
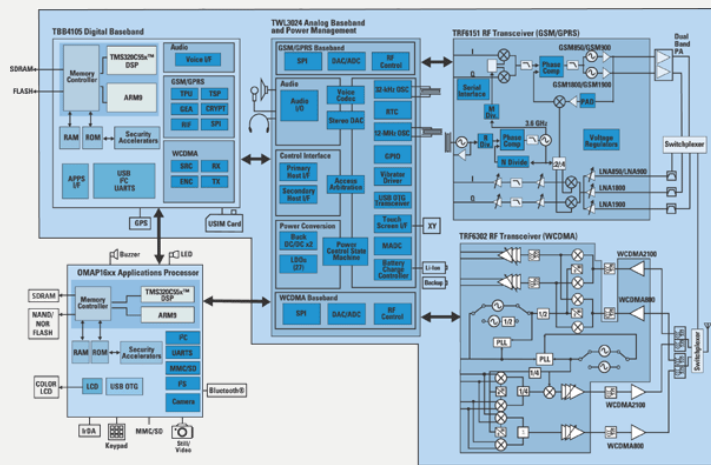
Antena Galaxy S7



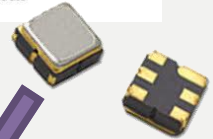
Pequeno “()”

Antena Patch Convencional (PSI3482)

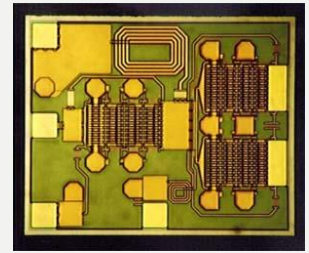




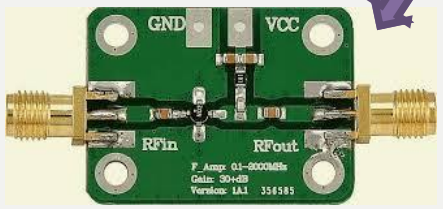
Filtro SAW (no cellular)



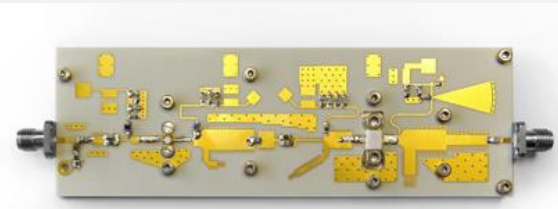
Filtro de Microfitas acopladas (PSI3482)



GaAs metal semiconductor FET

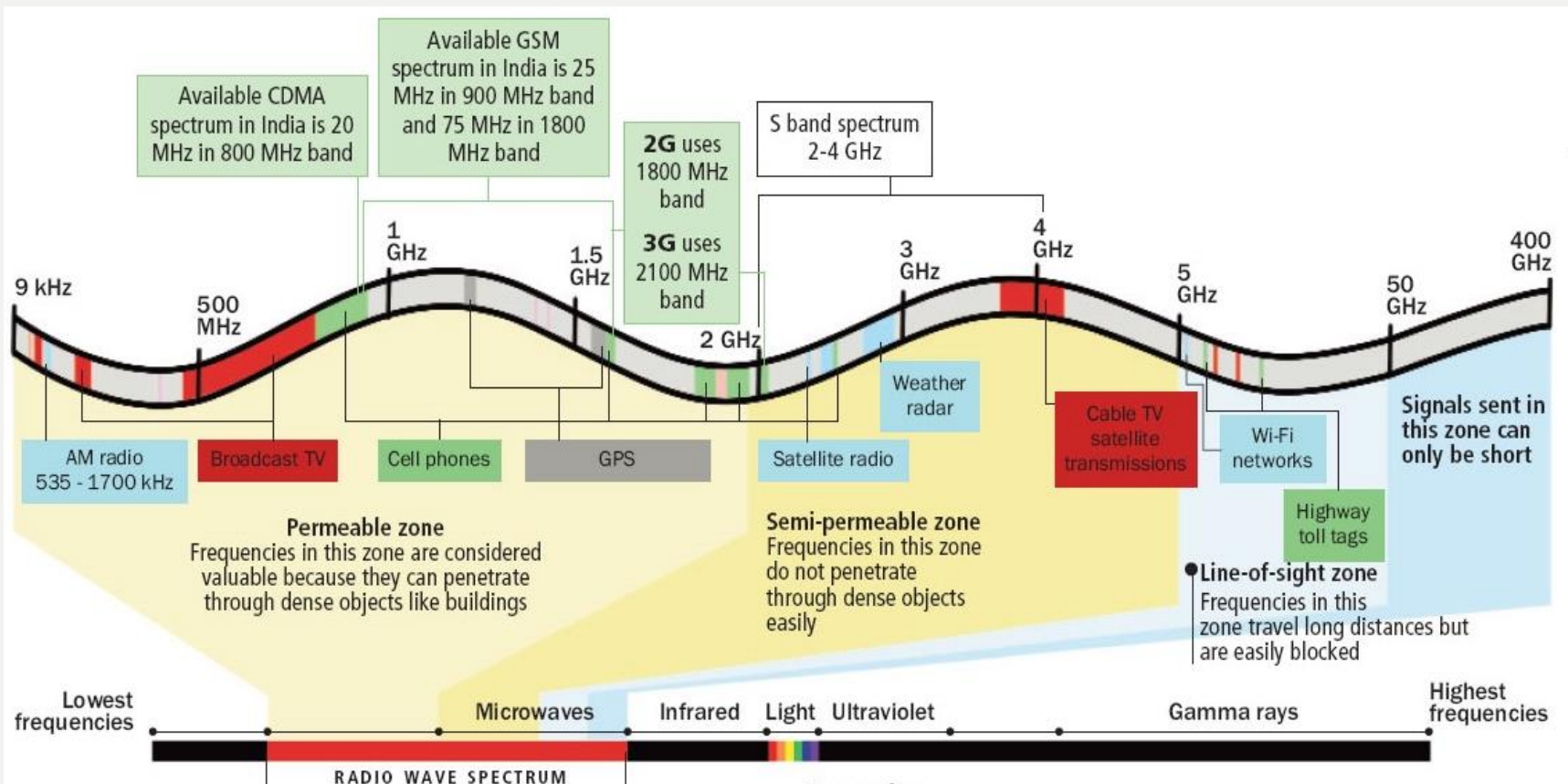
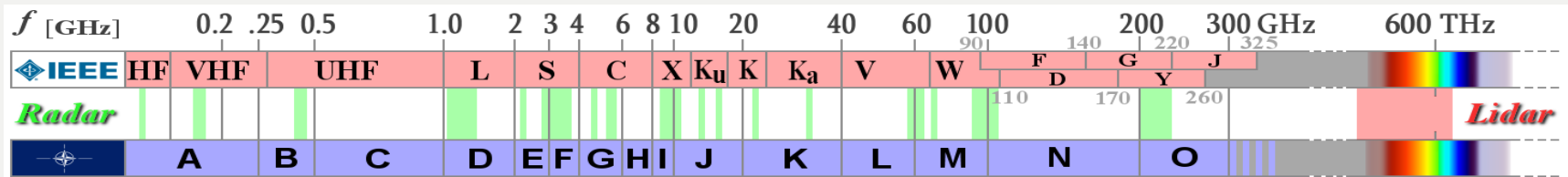


Linhas de transmissão em PCB (PSI3482)



Amplificador MIC (PSI3482)

Bandas de frequências e aplicações



Análise de Circuitos: Concentrado vs. Distribuído

- Modelo Concentrado: Tensão e Corrente **não variam** no comprimento de elementos ou trilhas.
- Modelo Distribuído: Tensão e Corrente **variavam** no comprimento de elementos ou trilhas.

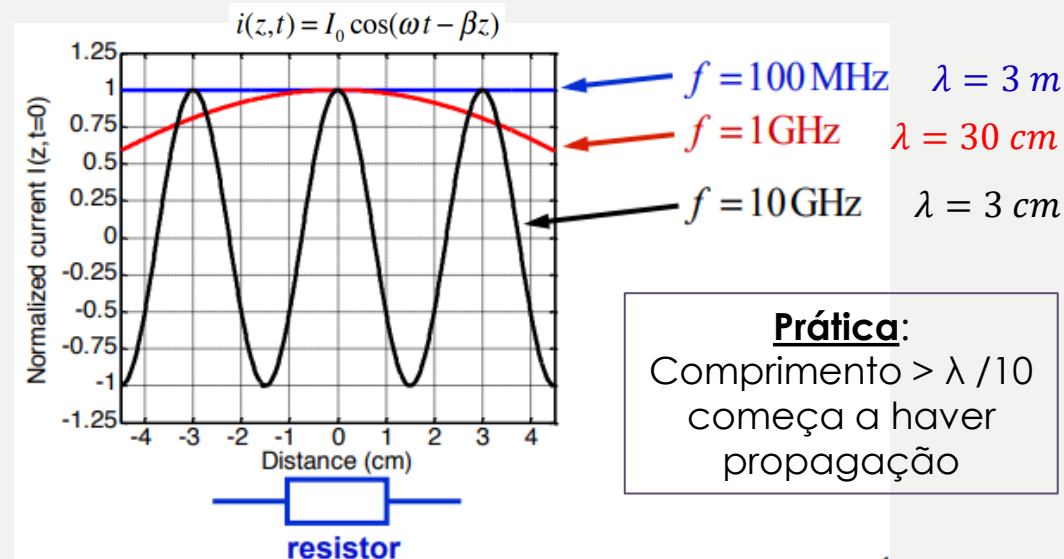
Qual usar?
Depende da
Frequência e das
dimensões

No Ar: $c = \lambda \cdot f$

No Meio: $v_p = \frac{c}{\sqrt{\mu_{ref} \cdot \epsilon_{ref}}} \rightarrow \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{ref}}} = \lambda_g \cdot f$
Normalmente = 1

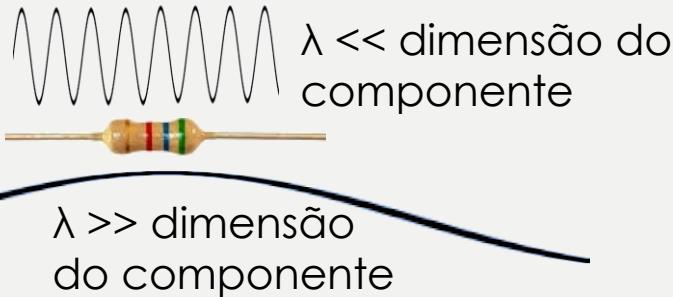
Se $\lambda_g \gg$ comprimento \rightarrow modelo concentrado
Se $\lambda_g/10 <$ comprimento \rightarrow modelo distribuído

- c = velocidade da Luz
- λ = comprimento de onda
- λ_g = comprimento de onda guiado
- f = frequência
- ϵ_{ref} = permissividade relativa efetiva
- μ_{ref} = permeabilidade relativa efetiva
- v_p = velocidade de propagação

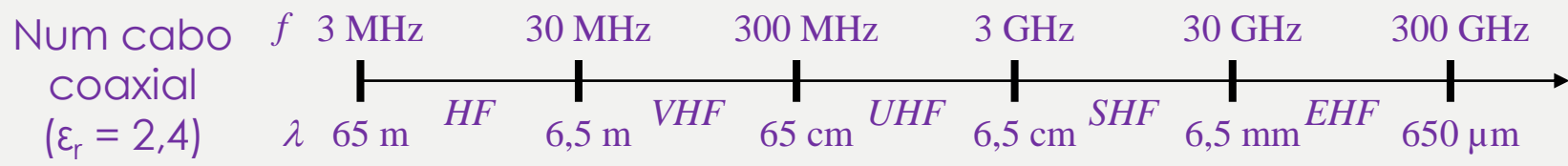
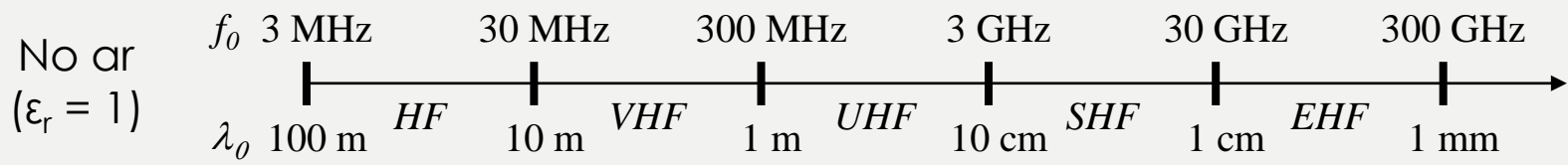


Prática:
Comprimento $> \lambda / 10$
começa a haver
propagação

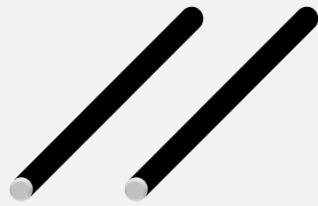
Fenômeno de propagação



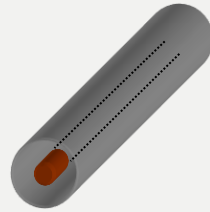
Prática:
 Componente $> \lambda / 10$
 começa a haver
 propagação



Tipos de Linhas de transmissão



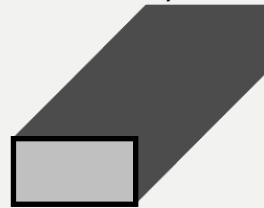
1) Linha Bifilar (< MHz)



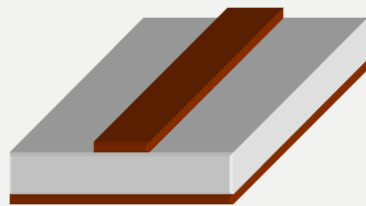
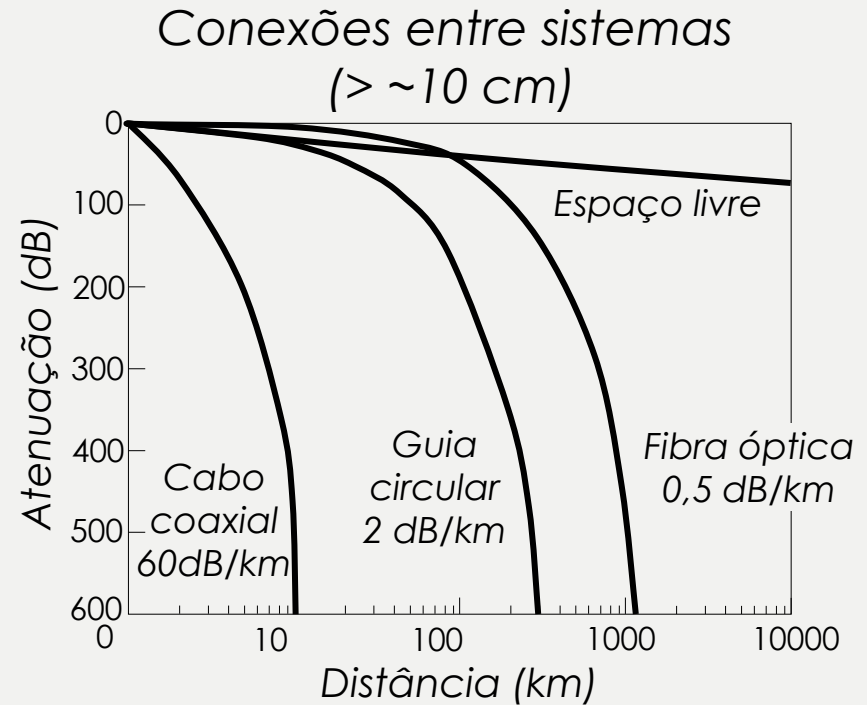
2) Cabo coaxial (<145 GHz)



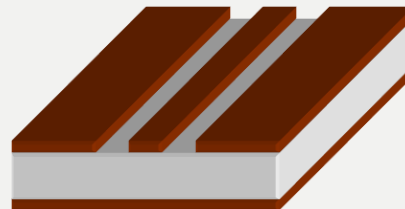
3) Guia Cilíndrico (até THz)



Guia retangular (até THz)



4) Linha de microfita

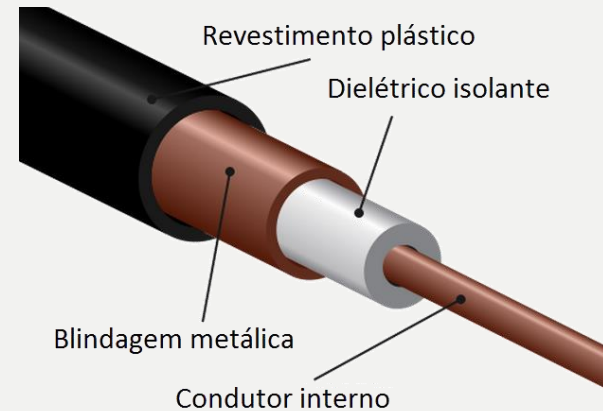


Guia de onda coplanar (CPW)

Inter sistemas

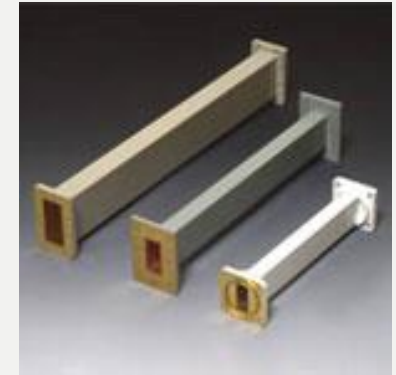
Cabo coaxial

- Condutor interno
- Condutor externo (blindagem)
- Dielétrico entre os condutores
- Características:
 - Baixas perdas;
 - Blindado (pouca interferência);
 - Pequenas dimensões;
 - Leve;
 - Média potência;
 - Difícil fazer circuitos mais complexos;



Guia de onda

- Condutores ocios
- Preenchidos com dielétrico
- Seção transversal regular
 - Retangular, Cilíndrica, Elíptica
- Características:
 - Baixíssimas perdas;
 - Alta complexidade mecânica;
 - Alta potência;
 - Pesado;
 - Grandes dimensões;
 - Pouca interferência;
 - Robusto
 - Alto custo



Comparação das Linhas de Transmissão

Characteristic	Coax	Waveguide	Stripline	Microstrip
<i>Preferred Mode</i>	TEM	TE ₁₀	TEM	Quasi-TEM
<i>Other Modes</i>	TM, TE	TM, TE	TM, TE	TM, TE
<i>Dispersion</i>	None	Medium	None	Low
<i>Bandwidth</i>	High	Low	High	High
<i>Loss</i>	Medium	Low	High	High
<i>Power Capacity</i>	Medium	High	Low	Low
<i>Physical Size</i>	Large	Real Large	Medium	Small
<i>Fabrication Ease</i>	Medium	Medium	Easy	Real Easy
<i>Component Integration</i>	Hard	Hard	Fair	Easy

PSI3482

LINHAS DE TRANSMISSÃO EM

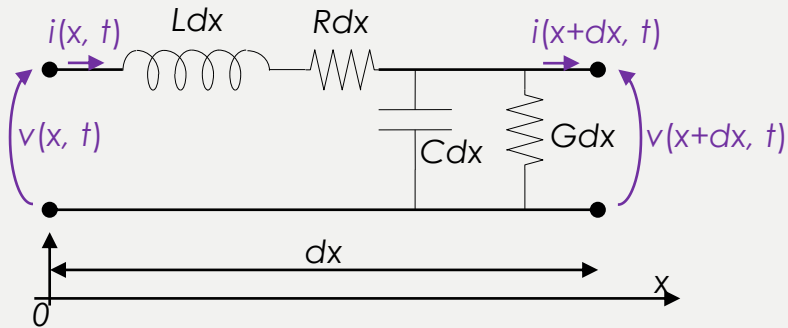
MICRO-ONDAS

Profa. Ariana Serrano aserrano@usp.br sala C2-62

Análise por teoria de circuitos

- Os fenômenos de propagação também são estudados através das leis de Kirchhoff. Para isso precisamos de:
 - Modelo de linha de transmissão;
 - Equações diferenciais que regem a propagação de uma onda de tensão ou de corrente ao longo da linha;
 - Solução das equações diferenciais em regime harmônico:
 - Ondas incidente e refletida; Velocidade de fase; Comprimento de onda;
 - Características das ondas:
 - Impedância característica; constante de propagação; coeficiente de reflexão;
- Ferramentas de análise:
 - Carta de Smith; Parâmetros S
- Ferramentas computacionais:
 - ADS

Modelo da linha de transmissão/ equações



- **R** : resistência linear série (Ω/m)
- **C** : capacitância linear paralela (F/m)
- **L** : indutância linear série (H/m)
- **G** : condutância linear paralela (S/m)

Onda se propagando:
 na direção +x: $e^{-\gamma t}$
 na direção -x: $e^{\gamma t}$

$$V(x) = V_0^+ e^{-\gamma x} + V_0^- e^{\gamma x}$$

$$I(x) = I_0^+ e^{-\gamma x} + I_0^- e^{\gamma x}$$

Solução: ondas de propagação

Pelas leis de Kirchhoff:

$$v(x, t) - R dx i(x, t) - L dx \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} - v(x + dx, t) = 0$$

$$i(x, t) - G dx v(x, t) - C dx \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} - i(x + dx, t) = 0$$

Equações do telegrafista:

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = -R i(x, t) - L \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} \quad \text{e} \quad \frac{\partial i(x, t)}{\partial x} = -G v(x, t) - C \frac{\partial v(x, t)}{\partial t}$$

Em regime permanente senoidal:

$$\frac{dV(x)}{dx} = -(R + j\omega L)I(x) \quad \text{e} \quad \frac{dI(x)}{dx} = -(G + j\omega C)V(x)$$

Equações de Onda:

$$\frac{d^2 V(x)}{dx^2} - \gamma^2 V(x) = 0 \quad \text{e} \quad \frac{d^2 I(x)}{dx^2} - \gamma^2 I(x) = 0$$

Características da linha de transmissão

- Impedância característica (Ω): $Z_0(\omega) = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$

Perdas nos condutores e dielétricos

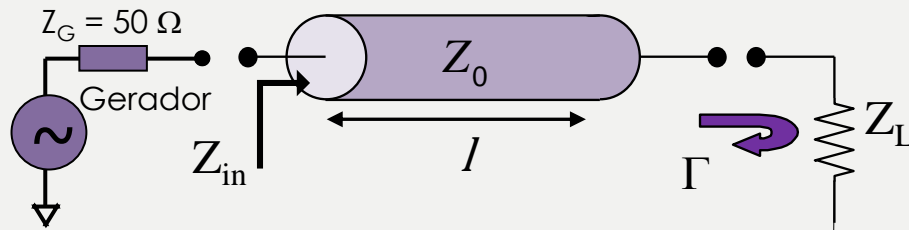
Atenuação (Np/m): $\alpha = \frac{1}{2} \frac{R}{Z_0} + \frac{1}{2} G Z_0$

α_c α_d

$Z_0 = \frac{V_0^+}{I_0^+} = -\frac{V_0^-}{I_0^-}$
 - Constante de propagação: $\gamma = \sqrt{(G+j\omega C) * (R+j\omega L)} = \alpha + j\beta$

Número de onda (rad/m): $\beta = \frac{\omega}{v_\phi} = \frac{2\pi}{\lambda}$
 - Índice de mérito: $Q = \frac{1}{2} \frac{\beta}{\alpha}$
 - Velocidade de fase (de propagação da onda) (m/s): $v_\phi = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
- Linhas de baixas perdas: $R \ll j\omega L$ e $G \ll j\omega C \Rightarrow Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \gamma = j\beta$

Linhas carregadas



$$Z_{in} = Z_0 \left[\frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \right]$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_{out}}{Z_L + Z_{out}} \quad [-1, 1]$$

$$Z_{out} = Z_0 \left[\frac{Z_G + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_G \tan \beta l} \right]$$

■ Casos especiais da linha de transmissão:

- $Z_L = Z_0$
- $l = \frac{\lambda}{4}$
- $l = \frac{\lambda}{2}$
- $l \ll \lambda$

Eficiência do casamento:

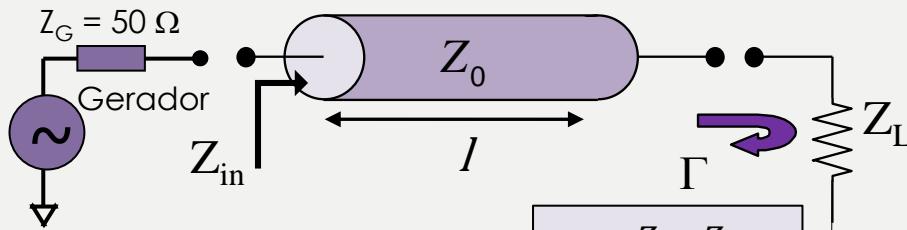
Voltage Standing Wave Ratio ou
Taxa de Onda Estacionária (TOE)

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} [1, \infty]$$

■ Casos Especiais de Γ :

- Curto circuito: $Z_L = 0 \Rightarrow \Gamma = -1$
- Circuito aberto: $Z_L = \infty \Rightarrow \Gamma = 1$
- Carga casada: $Z_L = Z_0 \Rightarrow \Gamma = 0$

Linhas carregadas



$$Z_{in} = Z_0 \left[\frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l} \right]$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_{out}}{Z_L + Z_{out}} \quad [-1, 1]$$

$$Z_{out} = Z_0 \left[\frac{Z_G + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_G \tan \beta l} \right]$$

- Casos especiais da linha de transmissão:
 - $Z_L = Z_0$ (carga casada) $\Rightarrow Z_{in} = Z_0$
 - $l = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow Z_{in} = \frac{Z_0^2}{Z_L} \rightarrow$ Transformador de impedâncias
 - $l = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow Z_{in} = Z_L$ sem importar qual Z_0 ou β !!
 - $l \ll \lambda \Rightarrow Z_{in} = Z_L$ a linha é "transparente"!

Eficiência do casamento:

Voltage Standing Wave Ratio ou Taxa de Onda Estacionária (TOE)

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} [1, \infty]$$

- Casos Especiais de Γ :
 - Curto circuito: $Z_L = 0 \Rightarrow \Gamma = -1$
 - Circuito aberto: $Z_L = \infty \Rightarrow \Gamma = 1$
 - Carga casada: $Z_L = Z_0 \Rightarrow \Gamma = 0$

Prática

Potência refletida máxima: 10% ou
Potência transmitida mínima: 50%

Pot_{refl} = 10% VSWR_{máx} \cong 2 $\Gamma = 0,316$

$$\text{Potência refletida (\%)} = 100 * |\Gamma|^2 [0, 100\%]$$

ADS – Advanced Design Software

- LineCalc (calculadora - analítico)
- Schematics (simulador elétrico - analítico)
- Momentum (simulador eletromagnético 2,5D (Momentum) e 3D (Elementos Finitos))