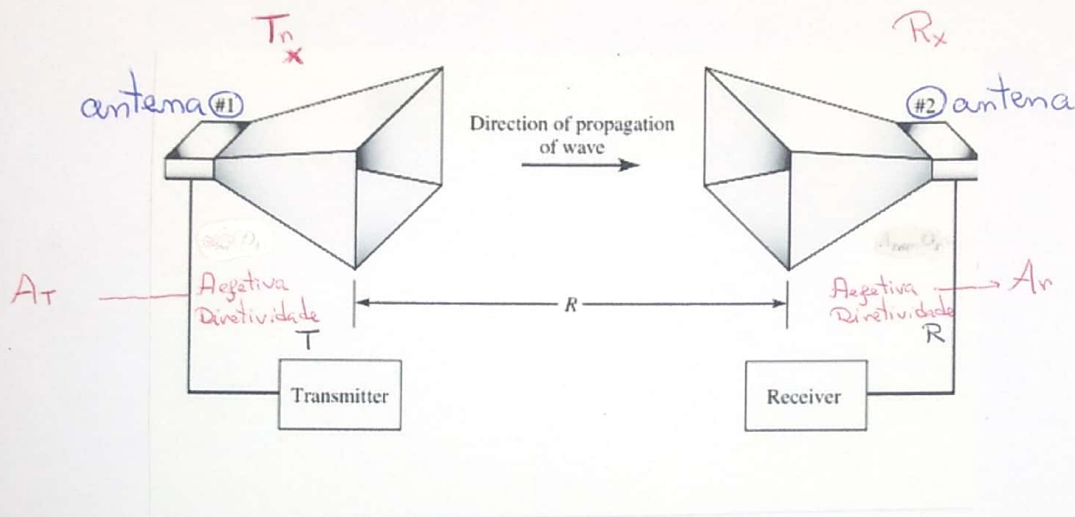


# Aula 9

## Diretividade máxima - máxima Área Efetiva - Equação de Friis e Equação de Alcance do Radar



Se a antena 1 for isotrópica, sua densidade de potência radiada ( $W_0$  - Balanis) (S) em  $W/m^2$ .

$$S = \frac{P_{\text{rad TOTAL}}}{4\pi R^2}$$

A densidade real de potência é:

$$S_{\text{real}} = \frac{P_{\text{rad tot}} \cdot D_T}{4\pi R^2}$$

A potência captada (ou recebida) pela antena e transmitida à carga seria:

$$P_{\text{recebida}} = \frac{P_{\text{rad transmitida}} \cdot D_t \cdot A_r}{4\pi R^2}$$

ou

$$D_t A_r = \frac{P_r}{P_t} (4\pi R^2)$$

Se a antena #2 for usada como transmissor, a antena #1 como receptor, e o meio intermediário for linear, passivo e isotrópico, podemos escrever:

$$D_r A_t = \frac{P_r}{P_t} (4\pi R^2)$$

Igualando estas duas últimas expressões, temos:

$$\frac{D_t}{A_t} = \frac{D_r}{A_r}$$

Usando a Máxima (área efetiva e diretividade), podemos pensar que se, a antena #1 for isotrópica, então  $D_{mt} = 1$ , assim:

$$A_{tm} = \frac{A_{rm}}{D_{mr}}$$

A máxima área efetiva de uma fonte isotrópica...

... é igual à razão entre a máxima área efetiva e a máxima diretividade de qualquer outra fonte.



## Generalizando:

para um dipolo muito curto ( $l \ll \lambda$ ), com  $A_{ef} = 0,119\lambda^2$  e  $D_{max} = 1,5$ , então

$$A_{em} = \frac{A_{rm}}{D_{mr}} = \frac{0,119\lambda^2}{1,5} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

logo

A máxima área (abertura) efetiva ( $A_{em}$ ) de qualquer antena está relacionada à sua diretividade máxima ( $D_{max}$ ) por:

$$A_{emax} = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_{max}$$

Análise:

Esta expressão é válida quando:

- não há perdas de condução ou dielétrica ( $\epsilon_{cd}$ )
- antena é casada à carga (eficiência de reflexão  $\epsilon_r$  e unitária)
- a polarização da onda incidente é a mesma da antena (fator de perda de polarização PLF e eficiência de polarização  $\epsilon_{cd}$  são unitários)

mas, e se houver perdas associadas à antena?

então:

$$A_{\text{emax}} = E_{\text{cd}} \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) D_{\text{max}}$$

mas e se, agora, houver perdas de reflexão e polarização da antena?

então:

$$A_{\text{emax}} = E_{\text{cd}} (1 - |\Gamma|^2) \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) D_{\text{max}} |\hat{p}_{\text{dir}} \cdot \hat{p}_{\text{eq}}|^2$$

↓  
vetor de polarização à direita e à esquerda.

$$\hat{p}_{\text{dir}} = \left( \frac{\hat{a}_\theta + j\hat{a}_\phi}{\sqrt{2}} \right)$$

$$\hat{p}_{\text{eq}} = \left( \frac{\hat{a}_\theta - j\hat{a}_\phi}{\sqrt{2}} \right)$$

## Equação de Transmissão de Friis

↳ Relaciona Potência Recebida ( $P_r$ ) à Potência Transmitida ( $P_t$ ), entre 2 antenas separadas por uma distância  $R > \frac{2D^2}{\lambda}$ , →  $D$ : maior dimensão de quem antena



Considerando uma antena isotrópica:

$$S_{\max} = e_{\text{rad transmiss\~ao}} \cdot \frac{P_t}{4\pi R^2}$$

Considerando uma antena não-isotrópica

$$S_{\text{trans}} = \frac{P_t G_t(\theta_t, \phi_t)}{4\pi R^2} = e_t \frac{P_t D_t(\theta_t, \phi_t)}{4\pi R^2}$$

sendo a área efetiva da antena receptora:

$$A_r = e_r D_r(\theta_r, \phi_r) \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right)$$

A quantidade de potência  $P_r$ , recebida pela antena receptora será:

$$P_r = e_r D_r(\theta_r, \phi_r) \frac{\lambda^2}{4\pi} S_{\text{trans}} =$$

$$P_r = e_t e_r \frac{\lambda^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r) P_t}{(4\pi R)^2} \cdot |\hat{p}_t \cdot \hat{p}_r|^2$$

cuja relação entre as potências recebida e transmitida será:

$$\frac{P_r}{P_t} = e_t e_r \frac{\lambda^2 D_t(\theta_t, \phi_t) D_r(\theta_r, \phi_r)}{(4\pi R)^2} \quad (1)$$

Esta equação admite que as antenas  $t_x$  e  $R_x$  são casadas às respectivas LT, polarização.

Se a antena mãe for casada à LT e à polarização então:

$$\frac{P_r}{P_t} = e_{\text{cdt}} e_{\text{cdr}} (1 - |\Gamma_t|^2)(1 - |\Gamma_r|^2) \times \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 D_t D_r |\hat{p}_t \cdot \hat{p}_r|^2 \quad (2)$$

Para o caso de antenas de eficiências de reflexão e de polarização unitárias (casadas), então:

$$\frac{P_r}{P_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 G_{t_{\text{max}}} G_{r_{\text{max}}} \quad (3)$$

↳ fator de perda do espaço livre  
(espalhamento esférico da energia da antena)

As eq's (1), (2) e (3) são conhecidas como Equação de Transmissão de Friis.

Tbém pode ser representada por:

↳ ou dBW (acima de 1 Watt)

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t \text{ (dBm)} + G_t \text{ (dB)} + G_r \text{ (dB)} - 20 \log R \text{ (km)} - 20 \log f \text{ (MHz)} - 32,44$$

dBm é a potência em decibéis acima de um miliwatt.  
exemplo: 30 dBm = 1W



# Potência Efetiva Isotropicamente Radiada (EIRP)

EIRP = Effective Isotropically Radiated Power

$$EIRP = P_t \cdot G_t$$

↓  
muito usado na indústria de comunicação por satélite.