

2ª LISTA DE EXERCÍCIOS

**Disciplina:** TE084 - Antenas

**Professor Responsável:**

César Augusto Dartora<sup>1</sup>

---

- 1 Para a antena Vê de onda caminhante no espaço livre determine o potencial  $\mathbf{A}$ , os campos de radiação, a função  $F(\theta, \varphi)$  e faça o gráfico desta função utilizando o software Matlab. Ver figura 1;
- 2 Encontre o potencial  $\mathbf{A}$ , os campos de radiação e a função  $F(\theta, \varphi)$  para um dipolo curto horizontal situado a uma altura  $h$  do plano de terra. Considere que este plano seja um condutor perfeito. Faça o gráfico desta função. Veja figura 2.
- 3 Encontre o potencial  $\mathbf{A}$ , os campos de radiação e a função  $F(\theta, \varphi)$  para um dipolo curto vertical situado a uma altura  $h$  do plano de terra. Novamente considere que este plano seja um condutor perfeito. Faça o gráfico desta função. Veja figura 3.
- 4 Consideremos a fórmula de Friis aplicada a um sistema de comunicação móvel (telefonia celular por exemplo):

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2} T$$

consistindo de uma antena na estação rádio-base (ERB) de ganho 10dBi e um telefone móvel utilizando um dipolo de meia onda e eficiência próxima da unidade. Vamos desprezar, para simplificação na primeira análise, que os efeitos de atenuação no meio de propagação ou seja,  $T = 1$ . A frequência utilizada no link é de  $f = 1.85$  GHz.

- a) Se o receptor tem sensibilidade mínima de  $-90$ dBm e estando localizado a 5km de distância da ERB, qual deverá ser a potência transmitida pela ERB,  $P_t$  para que a comunicação não seja perdida em meio ao ruído?
  - b) Qual é o valor, em módulo, da amplitude do campo elétrico de radiação gerado pela ERB, na distância de 1km da ERB, na direção de máxima radiação da antena transmissora? E o seu valor RMS? Lembre que  $S_r = E^2/(2Z_0)$  onde  $E$  é o valor de pico do campo elétrico em módulo e além disso  $S_r = G_t P_t / (4\pi r^2)$  na direção do máximo.
  - c) Se o meio em questão introduz uma perda de 1dB/km através de mecanismos de espalhamento e difração, bem como perdas por efeito de multipercurso, qual deverá ser a nova potência (em Watts) a ser transmitida para o correto funcionamento do sistema no limite máximo de 5km?
- 5 Duas estações de rádio na faixa do FM, A e B, situadas a 30 km uma da outra estão utilizando a mesma frequência,  $f = 104.7$  MHz, com a finalidade de broadcasting. A estação A é uma rádio comunitária transmitindo 25 W de potência, seguindo normas da ANATEL enquanto a estação B está transmitindo 5kW de potência, ambas através de antenas do tipo monopolo vertical  $d = \lambda/4$  (observamos aqui que o valor  $d = \lambda/4$  é um valor limite para a aplicação da aproximação de dipolo curto. Em geral as antenas são monopolos sobre um plano de terra bom

---

<sup>1</sup>cadartora@yahoo.com.br

condutor, entretanto os campos radiados pelo monopolo curto tem a mesma forma do dipolo curto, pois o plano de terra atua como espelho, por isso para fins de análise consideramos aqui as antenas como sendo dipolos. Um dipolo de  $\lambda/4$  corresponderia a um monopolo de  $\lambda/8$ ). Pede-se: a) Determine a distância  $r$  a partir da estação A, sobre a linha que une as duas cidades, para a qual a amplitude dos campos gerados por esta tem o mesmo valor daqueles campos gerados pela estação B. (Isso define o raio de influência das estações A e B)

b) Qual é a fase relativa entre os campos, considerando-se apenas a portadora de 104,7MHz e que ambas as antenas tenham sido alimentadas em fase? O que acontece com a recepção dos sinais, para um receptor qualquer localizado nessa região limite? Qual é o sinal resultante da superposição? Esboce graficamente, para uma distância de 100 m em torno da distância  $r$  na qual as amplitudes de campo são exatamente iguais.

- 6** Faça uma pesquisa detalhada sobre as bandas de utilização do espectro eletromagnético de radiopropagação, os principais mecanismos de propagação em cada faixa de frequências e os tipos mais comuns de antenas utilizadas em cada faixa. A radio-propagação inclui desde as faixas do ELF até as microondas em torno de 300 GHz (embora esta última fronteira seja pouco explorada). Como estão divididas as bandas de utilização para telefonia celular comercial? Veja normas da ANATEL, se necessário.

### Formulário:

#### Antenas

Para Antenas em Regime Harmônico considerando-se o Campo Distante tem-se:

$$\mathbf{E}_{rad} = -i\omega(\mathbf{A} - A_r\hat{\mathbf{a}}_r) \quad (1)$$

$$\mathbf{H}_{rad} = \frac{1}{Z}\hat{\mathbf{a}}_r \times \mathbf{E}_{rad} \quad (2)$$

$$\mathbf{S}_{rad} = \frac{\omega^2}{2Z}|\mathbf{A} - A_r\hat{\mathbf{a}}_r|^2 \hat{\mathbf{a}}_r \quad (3)$$

$$\frac{dP}{d\Omega} = r^2 S_{rad} \quad ; \quad P_{rad} = \int r^2 S_{rad} d\Omega \quad (4)$$

onde  $d\Omega = \sin\theta \, d\theta \, d\varphi$  é um elemento infinitesimal de ângulo sólido. A resistência de radiação é definida abaixo

$$R_{rad} = \frac{2P_{rad}}{I_0^2} \text{ Ohms} \quad (5)$$

e para antenas do tipo filamentosas (fios condutores) tem-se para as perdas:

$$R_{ohm} = \frac{d}{6\pi D} \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{2\sigma}} \text{ Ohms}$$

sendo  $d$  o tamanho da antena (circunferencia para o dipolo magnético) e  $D$  o diâmetro do condutor.

Pode-se definir o padrão de radiação da seguinte maneira:

$$F(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{dP/d\Omega}{\int (dP/d\Omega) d\Omega}$$

e  $D = \max[F(\theta, \varphi)]$ . Define-se eficiência de radiação abaixo:

$$e_r = \frac{P_{rad}}{P_{in}} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{ohm}}$$

onde  $P_{rad}$  é a potência radiada e  $P_{in}$  é a potência total de entrada na antena. O parâmetro ganho de antena é então:

$$G = e_r D$$