



ENCURTAMENTO FÍSICO DE ANTENAS

J. J. TECIDIO JR., PY1DC

PARTE I

Nesta série de quatro artigos, o conceituado radioamador e renomado divulgador de assuntos técnicos, PY1DC, explica minuciosamente a teoria, o cálculo e o dimensionamento de dipolos "encurtados".

DEDICATÓRIA

Ao escrever esta série de artigos, desejo dedicá-la, como homenagem póstuma, ao meu amigo Carlos Lacombe, PY1AC, colega do Departamento de Engenharia da Anglo-Mexican Petroleum Co. (hoje Shell Brasil Ltda.), quando, em 1924, já nos dedicávamos ao radioamadorismo, embrionário em nosso país.

O Autor

COM o aumento "populacional" da faixa de 80 metros, facilitado por recentes portarias, está em voga o emprego de antenas horizontais bobinadas. Conquanto seja inegável que o melhor e mais simples dipolo ainda é aquele de meia onda, o comprimento físico necessário constitui um tremendo empecilho para aqueles que não dispõem de terreno suficiente para "esticar" uma antena normal. Não são só os radioamadores brasileiros que enfrentam esta situação: nos E.U.A. e em outros centros urbanos do mundo, ocorre o mesmo problema, em consequência da explosão demográfica. Como dizia Camões "cá e lá maus fados há". Temos isso confirmado em belíssimo trabalho realizado pelo colega americano K1PLP,

Jerry Hall, do Depto. Técnico da revista QST, publicado no número de setembro de 1974, no qual ele faz alusão aos amadores que residem em lotes de apenas 15 m de extensão. Nesses lotes, é praticamente impossível estender uma antena horizontal "full-size" de meia onda para as faixas de 160 e 80 metros.

O colega americano a que acima nos referimos vem se dedicando, há muito tempo, ao estudo e comportamento de antenas bobinadas. O resultado dos seus estudos constitui um valioso subsídio para os amadores que dispõem de pouco espaço para operar nas citadas faixas.

Já tínhamos há algum tempo um artigo preparado sobre esta matéria, baseado nas mesmas equações adotadas por K1PLP (Figs. 1.1 e 1.3). A resolução da Eq. 1 da Fig. 1.1 é extremamente laboriosa. Pensávamos em normalizá-la para aplicação por meio de curvas, mas não dispúnhamos de calculadoras eletrônicas adequadas. Foi a esta altura que surgiu o artigo de Jerry. Aquele amador conseguiu condensar o mostrengo da Fig. 1.1 nas curvas simples da Fig. 1.3. Com essas curvas, qualquer radioamador poderá calcular a indutância de cada bobina em função da reatância e da frequência (conhecida) fundamental da antena.

As conclusões daquele nosso colega americano estão condensadas nos gráficos de Smith, que não são de difícil interpretação, embora nem todos os radioamadores os conheçam. Por isso, no

decorrer desta série, as reproduziremos e comentaremos, acrescentando alguns esclarecimentos de ordem didática.

Como bem diz Jerry, não há dúvida de que uma antena vertical (que é a primeira coisa que ocorre a um amador que não dispõe de espaço para uma antena de meia onda horizontal) carregada na base com elementos concentrados (L—C) para torná-la ressonante na frequência em que desejamos operá-la, pode constituir-se em um bom sistema radiante desde que haja um sistema "radial" de terra eficiente. Este último requisito pode tornar-se um obstáculo, principalmente nas faixas de 80 e 160 metros que exigem centenas de metros de sistema radial enterrado para que a antena funcione a inteiro conteúdo. Nem todos possuem terreno para tal instalação!

Talvez muitos amadores desdenhem essa observação, mas posso lhes garantir que este fato está magistralmente comentado e explicado no artigo da série "Another Look at Reflections", da autoria de M. Walter Maxwell, W2DU/W8KHK, Engenheiro-Chefe do Departamento Aeroespacial da RCA, de Princeton, N.J., E.U.A. Achamos tão instrutivas suas informações e afirmações que vamos fazer aqui uma pequena digressão para trazer ao conhecimento dos interessados um resumo do que o meu amigo Maxwell escreve a respeito.

1) Tomemos uma antena vertical alimentada na base (Fig. 1.4). Um dos terminais do gerador vai ligado à base do radiador vertical e o outro vai à terra, logo abaixo do extremo do radiador.

2) Durante a metade do ciclo, quando a corrente de condução no radiador está fluindo do solo para cima, todas as correntes retornam ao solo sob a forma

$$L = \frac{10^6}{68\pi^2 f^2} \left\{ \frac{\left[\ln \frac{24 \left(\frac{234}{f} - B \right)}{D} - 1 \right] \left[\left(1 - \frac{fB}{234} \right)^2 - 1 \right]}{\frac{234}{f} - B} \right. \quad (1)$$

$$\left. \frac{\left[\ln \frac{24 \left(\frac{A}{2} - B \right)}{D} - 1 \right] \left[\left(\frac{fA}{2} - fB \right)^2 - 1 \right]}{\frac{A}{2} - B} \right\}$$

L = indutância, em μH , ressonante na freqüência de trabalho
 ln = logaritmo natural
 f = freqüência, em MHz
 A = comprimento total da antena, em pés (1 pé = 0.3048 m)
 B = distância em pés, centro a centro, das bobinas de carga
 D = diâmetro do radiador (fio da antena), em pés.

FIG. 1.1 — Equação para o cálculo da indutância das duas bobinas que irão compensar o encurtamento da antena.

de correntes de deslocamento, que seguem as linhas de força no campo de R.F. elétrico, graças à capacitância radiador/terra, como mostra a Fig. 1.4 por meio de setas.

3) O campo elétrico que circunda a antena (que é o campo que excita as correntes de deslocamento) preenche o volume de todo o espaço que circunda a antena, tomando o formato de um hemisfério oblato (achatado). Esse hemisfério intercepta a terra, formando um círculo imaginário de raio um pouco maior do que 0,4 do comprimento de onda, no caso de radiadores cujo comprimento físico seja de $\frac{1}{4}$ de onda (este raio decresce à medida que a altura física do radiador diminui).

4) As correntes de deslocamento penetram na terra em todos os pontos da área compreendida dentro do círculo imaginário, como mostra a Fig. 1.4, e daí encaminham-se de volta radialmente até alcançarem o terminal aterrado do gerador. Embora algumas correntes penetrem mais profundamente na terra, a maior parte do trânsito em freqüências acima de 3 MHz restringe-se, por efeito

pelicular, a uns poucos centímetros abaixo da superfície do solo.

5) Agora, um sistema de terra que consista apenas em um simples encanamento d'água ou uma haste ou duas, é simplesmente um terminal, ou seja, o terminal terra de retorno da antena. Assim sendo, todas as correntes de retorno se dirigirão forçosamente para essa terra deficiente, oriundas de todos os pontos dentro do círculo imaginário, a fim de completarem o circuito.

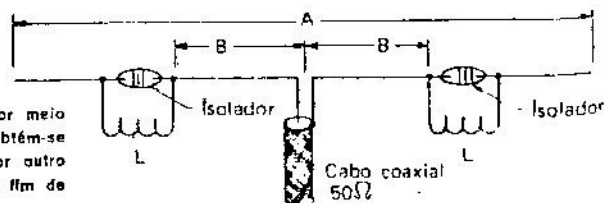
6) É comum medir-se a resistência que o sistema de terra oferece à corrente contínua (o que pode ser satisfatório no que diz respeito à proteção contra raio). Isso, porém, não pode se aplicar às correntes de R.F. A resistência de R.F., em tal hipótese, comumente excede até a resistência de radiação do próprio radiador vertical!

7) Se acrescentarmos dois ou quatro radiais de fio ao sistema, começaremos a obter boa

condutividade em direção ao terminal de terra para as correntes que chegam até ele; contudo apenas uma parcela diminuta de corrente total que está na superfície interna do círculo imaginário é interceptada por esses radiais esparsos. Nestas condições as correntes remanescentes continuam a retornar através de uma terra imperfeita, de resistência elevada, com as conseqüentes perdas no sistema.

8) Se empregarmos uma quantidade suficiente de radiais igualmente espaçados (90 a 100), com o comprimento radial de 0,4 do comprimento de onda, para interceptar todas as correntes de deslocamento que retornam, estas encontrarão um caminho altamente condutor dentro do círculo imaginário (ver Fig. 1.4), que as conduzirá ao terminal terra do gerador. As correntes que penetram na terra no espaço limitado entre os radiais rapidamente se difratam em direção a um dos ra-

FIG. 1.2 — Antena dipolo aumentada eletricamente por meio de bobinas de carga. Para uma dimensão fixa, A, obtém-se maior eficiência quanto maior a distância B, mas, por outro lado, aumentando-se B, L deve ser de maior valor, a fim de manter a ressonância.



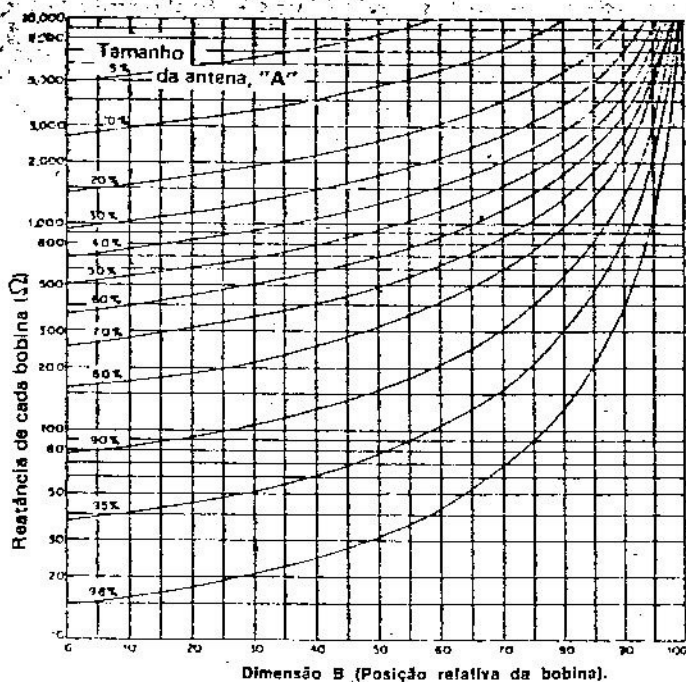


FIG. 1.3 — Família de curvas para determinar a reatância aproximada das bobinas de carga. A reatância (em ohms) necessária para fazer ressonar a bobina de carga em determinada frequência escolhida é lida na escala vertical esquerda (X_L), depois de se fazer a interseção dos valores de P na curva referente ao tamanho da antena (A). A Fig. 1.1 mostra o significado das dimensões A e B, sendo dado na Parte II um exemplo de cálculo com o gráfico.

diais e percorrem apenas uma pequena distância em "terra" pobre, até alcançarem a boa terra, isto é, um dos radiais.

9) Depreende-se do exposto que, com o emprego de uma quantidade conveniente de radiais, conseguimos um sistema de terra quase perfeito. Esse sistema de terra aumenta em muito pouco a impedância verdadeira da antena, impedância essa medida entre sua base e o terminal de terra. Por aqui vemos por que a terra tipo "para-raios", muito em voga, não constitui um sistema eficiente de retorno.

10) Não estamos, porém, querendo dizer que não se pode operar com antenas verticais de quarto de onda que não disponham do sistema ideal de terra, nem que não se consegue obter resultados razoáveis sem esse sistema ideal. A diferença, porém, entre um sistema que não tenha esses radiais preconizados e outro que disponha apenas de 3 ou 4 contra 100, pode chegar a 3 dB. Esta perda (metade da potência) excede de muito aquela que apresentaria uma r.o.e. de 4 : 1 ou 5 : 1 nas linhas de alimentação coaxiais empregadas pelos amadores. O que na verdade queremos

ênfatar aqui é que o valor da resistência da "terra" é desconhecido e imprevisível nos sistemas que empregam uma pequena quantidade de radiais menor do que a adequada. Isso faz com que as leituras de r.o.e. tornem-se imprevisíveis e, portanto, inúteis quando se quer avaliar a qualidade absoluta do sistema, a não ser que se disponha de meios para determinar qual seria a variação de r.o.e. se a perda por resistência pudesse ser ligada e desligada.

11) Em instalações práticas de estações de radioamadores, a resistência é considerada satisfatoriamente baixa se forem empregados somente 40 a 50 radiais, quando a altura do radiador (antena vertical) for de $\frac{1}{4}$ de onda. A pequena vantagem que se obtém acrescentando mais 40 ou 50 radiais não compensa o trabalho e a despesa (radiais de $\frac{1}{4}$ de onda). Porém, quando se trata de um radiador vertical encurtado ($\frac{1}{8}$ de onda, ou menos, até alcançar $\frac{1}{4}$ de onda) não podemos perder de vista que a resistência de radiação e a resistência de retorno diminuem à medida que encurtamos a antena. A resistência de terra agora torna-se

uma parcela importante da resistência total do sistema, reduzindo, por isso, a eficiência desse sistema. Decorre daí que, se a antena está encurtada, a resistência de terra deve ser a menor possível, se quisermos tirar o máximo proveito dessa antena.

12) Não há, praticamente, diferença no poder de radiação entre uma antena de $\frac{1}{4}$ de onda e outra menor do que $\frac{1}{8}$ de onda, a não ser na que decorre do efeito de resistência do indutor empregado para cancelar a reatância capacitiva da impedância da antena encurtada.

Depreende-se facilmente das considerações até aqui feitas por Walt Maxwell que uma antena vertical, para ser realmente eficiente, requer bom sistema de "terra" com radiais (o trânsito das correntes de retorno é feito radialmente). Isso complica a instalação nas faixas mais baixas (160 e 80 metros) por causa da área de terreno necessária para esparramar-se essa rede de radiais.

Então, qual é a solução para quem não dispõe de muito terreno? A mais simples é um dipolo horizontal encurtado, com elementos ressonantes concentrados.

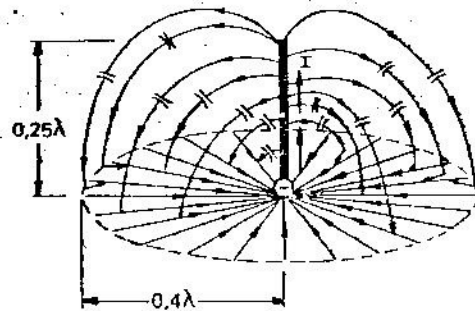
Experiências realizadas por inúmeros experimentadores comprovam que tal antena instalada a alturas que podem variar de 9 a 12 metros resolve o problema perfeitamente desde que seu comprimento não seja inferior a 20% do comprimento de onda. Pode-se empregar comprimento menor, mas a eficiência deixa a desejar.

A alimentação central simétrica dessa antena encurtada pode ser feita com cabo coaxial de 50 ou 75 Ω , e dispensa "terra" (conquanto seja sempre prudente "aterrar" o chassi de um transmissor, quando permissível, para maior segurança do operador).

13) A impedância de entrada de uma antena só é puramente resistiva na frequência de ressonância f_0 , para a qual foi calculada. Em qualquer outra frequência, mesmo dentro da faixa, essa impedância será complexa, representada pela expressão: $Z_e = R_e \pm jX_e$, isto é, essa impedância apresentará uma componente resistiva e outra reativa (que pode ser capacitiva ou indutiva).

14) Se operarmos a antena na sua frequência de ressonância, f_0 , e a alimentarmos com uma linha cuja impedância característica Z_0 seja igual à resistência R_e pura (geralmente de 75 Ω) da entrada da antena, não haverá on-

FIG. 1.4 — Hemisfério de correntes que se deslocam, provocadas pela capacitância entre uma antena vertical de $\frac{1}{4}$ de onda de comprimento e a terra ou um sistema radial. Nas frequências acima de 3 MHz, as correntes de R.F. transitam primordialmente a poucos centímetros da superfície do solo. Hasles metálicas pouco valor têm a essas frequências. As extremidades periféricas dos radiais podem ser presas ou ancoradas por meio de espígoes ou pregos metálicos reforçados. Empregando-se um número suficiente de radiais, de nada adianta interligá-los anularmente, porquanto o trânsito das correntes é de natureza radial. (Diz W. Maxwell, W2DU/W8KHK, em um dos seus artigos "Another Look at Reflections", publicado no número de abril de 1973 de QST, à pág. 39, que muitas estações de radiodifusão de AM empregam 240 radiais. A F.C.C. dos E.U.A. exige um mínimo de 120. Com esse número de radiais, a impedância terminal média de uma antena vertical de $\frac{1}{4}$ de onda é de aproximadamente $36,5 + j22$ ohms, que baixa para 32 ohms resistivos, quando se encurta a antena até ser alcançada a ressonância.)



das estacionárias na linha de alimentação, e se as perdas nesta forem nulas (atenuação zero), toda a potência fornecida pelo transmissor será absorvida pela antena. Porém, se houver perdas (atenuação maior que zero), a potência absorvida pela antena será menor do que a entregue pelo transmissor na entrada da linha. Daí a vantagem das linhas coaxiais de fator de atenuação baixíssimo. E daí, também, o erro grosseiro que se comete no emprego de linhas feitas de fiação elétrica doméstica como alimentadores, pois estas, além de apresentarem um fator de atenuação altíssimo, não resistem a picos de tensão modulada quando a potência já é de certo nível.

15) Um dipolo horizontal, de comprimento inferior a meia onda, apresenta uma reatância capacitiva — jX_c no seu ponto central de alimentação simétrico, além de uma componente resistiva R . É justamente para cancelar ou anular essa reatância capacitiva — jX_c da antena encurtada que instalamos nela uma reatância (contrária), em série, inserida na base no caso da antena vertical. Quanto ao dipolo horizontal, colocamos simetricamente uma bobina em cada ramo da antena, de indutância adequada. Feito isso, a impedância de entrada da antena passará a ser $Z_{in} = R + j0$, isto é, puramente resistiva, mas só na frequência da ressonância para a qual foi calculada. Nas demais frequências da faixa, como já dissemos anteriormente, essa impedância de entrada (que será a carga terminal da linha de alimentação), já não será mais

puramente resistiva. Isso é um mal inevitável, porque nós, radioamadores, operamos sempre em várias frequências dentro de uma mesma faixa, com nossos O.F.V.

Não é necessário que as bobinas sejam colocadas exatamente no ponto central de alimentação do dipolo horizontal, sendo mesmo preferível que esse posicionamento de cada bobina se realize simetricamente ao longo do radiador, a uma distância razoável do ponto de alimentação, pois assim obteremos melhor distribuição da corrente de antena e maior eficiência de radiação (ver Fig. 1.2).

É importante ajustar os indutores (ou bobinas) para que ressonem a antena na frequência em que desejamos preferencialmente operar (empregue um ressonômetro na bancada), mas o papel desses indutores como radiadores propriamente ditos é praticamente nulo, pois trata-se de elementos concentrados. Daí a conclusão de que, quanto maior o comprimento A da Fig. 1.2 (até meio comprimento de onda) mais eficiente será o sistema radiante. Por sua vez, quanto mais afastadas estiverem as bobinas do ponto central (distância B da Fig. 1.2), tanto maior será a eficiência da antena. Mas há o reverso da medalha: quanto maior a distância B (mantendo A constante) tanto maior terá que ser a indutância, a fim de manter a ressonância do dipolo em nossa frequência preferida. Para evitarmos indutâncias exageradas, podemos empregar "chapéus" capacitivos

ou parte dos extremos da antena "dependurados".

Inúmeras experiências práticas foram realizadas pelo esforçado colega Jerry, K1PLP, com a finalidade de chegar a uma formulação matemática que facilitasse comprovadamente o cálculo da indutância das bobinas necessária para fazer ressonar a antena em nossa frequência de operação, referida em função de f_0 , das distâncias A e B (Fig. 1.2) e do diâmetro D do condutor da antena (fio da antena). Com este objetivo, lançou ele mão da equação reproduzida na Fig. 1.1, e usando do recurso de predeterminar o diâmetro do fio da antena, preparou a solução gráfica representada na Fig. 1.3. Os resultados obtidos nos exemplos práticos confirmaram com enorme aproximação os cálculos teóricos, a tal ponto que, para se notar a pequena divergência, foi necessário recorrer-se a instrumentos de laboratório.

As curvas da Fig. 1.3 estão baseadas em uma relação entre $\frac{L}{\lambda}$ e o diâmetro do fio da antena, de 24.000 para 1, o que corresponde a utilizar o fio Nº 14 em 80 metros e Nº 8 em 160 metros. Para fios mais finos, a indutância L , em μH , de cada bobina, será algo maior.

No segundo artigo desta série, abordaremos a parte prática do uso do gráfico, com um exemplo do dimensionamento de uma antena encurtada para 80 metros.

(Continua no próximo número)