Kit Didático de Antenas

Teoria

treinamento

Bit9

AUTOMAÇÃO

Índice

Introdução 3
Ondas de Rádio e Propagação 3
Ondas de Rádio 3
Freqüência e Comprimento de Onda 6
Faixas de Freqüências 7
Faixa do Cidadão 8
Os Canais de Televisão 9
Ionosfera 9
Como a Ionosfera afeta as Ondas de Rádio 11
Propagação Anormal 14
Antenas 18
Polarização 18
As Características das Antenas 19
Noções Básicas Relativas ás Antenas 20
A Antena Básica 20
Comprimento da Antena 21
Diretividade e Ganho 23
Tipos Básicos de Antena 26
Antena Dipolo 26
Modelos de Radiação 28
Dipolo Dobrado 33
Antena “Espinha-de-Peixe” 34
A Antena Log-Periódica 34
Construção 35
Instalação 38
Antena Yagi 38
Antenas para Freqüências muito Baixas (VLF) 43
Refletor 44
Antenas para Estações Comerciais 46
Antenas para Estações de Amadores e Comerciais 47
Emprego de Estações Móveis 47
Tipos de Antenas Móveis 48
Carga da Antena 49
Diagramas de Irradiação 52
Obtenção dos Diagramas de Irradiação 54
Conjuntos 57
Diagrama de Irradiação Longitudinal 60
Diagrama de Irradiação Transversal 60

INTRODUÇÃO

Antes de entrarmos propriamente no assunto ANTENAS falaremos brevemente sobre partes que compõem e afetam as antenas.

ONDAS DE RÁDIO E PROPAGAÇÃO

O estudo das antenas não pode ser abordado adequadamente sem primeiro tratarmos das ondas de rádio – sua propagação e o seu comportamento ao deslocar-se ao longo da superfície da terra ou pelo espaço livre. Neste capítulo examinaremos os fatos básicos sobre propagação de ondas, sem recorrer à análise matemática do assunto, em qualquer extensão. Os leitores desejosos de prosseguir posteriormente no assunto devem saber, contudo, que uma análise matemática completa é absolutamente essencial para um perfeito domínio dos fenômenos de propagação e do moderno projeto de antenas.

ONDAS DE RÁDIO

Essencialmente, as ondas de rádio são uma forma de radiação eletromagnética, cujas propriedades fundamentais são a freqüência, a intensidade de campo, a polarização e direção de deslocamento. As ondas de rádio diferem das ondas de calor, luz, raios X, raios cósmicos, etc., tão somente no que diz respeito à freqüência ou comprimento de onda. A velocidade destas ondas depende do meio em que se propagam; no espaço livre ela é de aproximadamente 3 x 10s metros por segundo, isto é, 300.000.000 de metros por segundo. Esta é também a velocidade da luz no espaço livre, a qual, embora geralmente se pense que é constante, esta na realidade sujeita a variações que ocorrem quando a onda passa de um meio de propagação para outro. Estas variações de velocidade desempenham um papel importante na propagação das ondas de rádio, e serão discutidas minuciosamente, mais adiante, neste livro.

Existe uma importante relação matemática entre a velocidade, a freqüência e o comprimento de uma onda, a qual é expressa pela fórmula.

$$\lambda = \frac{300}{f},$$

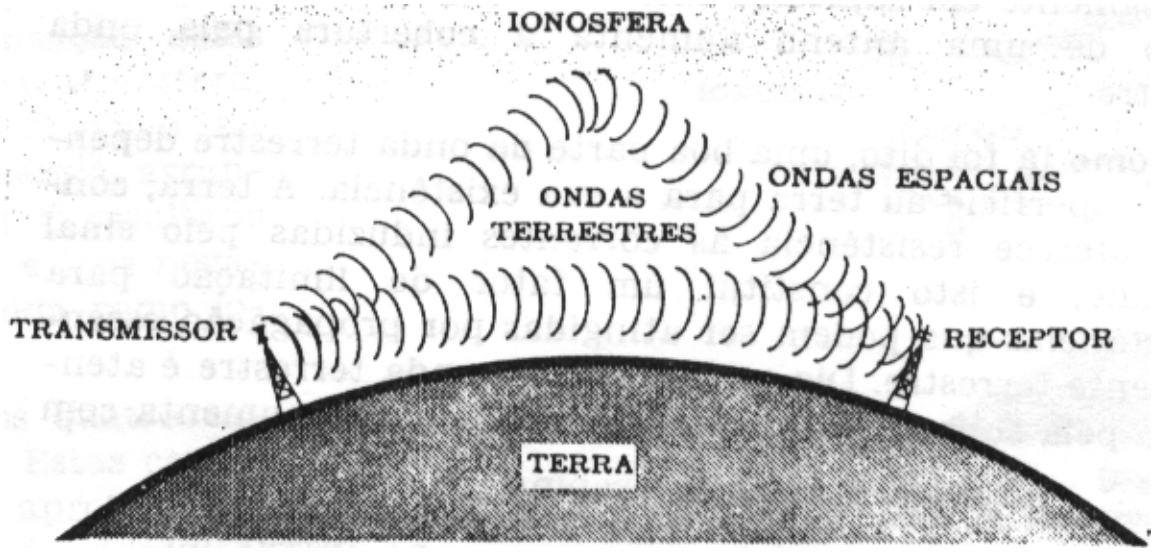
onde

λ = é o comprimento de onda em metros
300 = é a velocidade da luz, no espaço livre, em milhares de quilômetros, e
f = é a freqüência em megahertz.

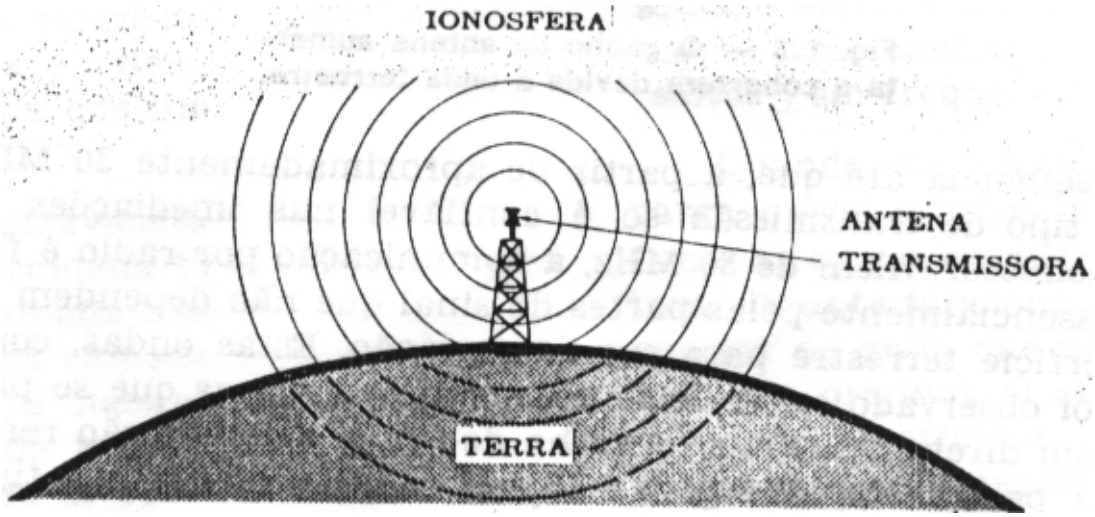
Como o comprimento de onda é um dado muito importante no estudo das antenas, o leitor deve ficar inteiramente familiarizado com a relação acima. Basicamente a fórmula mostra que uma onda de baixa freqüência terá um grande comprimento, enquanto a uma alta freqüência corresponde um pequeno comprimento de onda. A importância desse fato ficará evidenciada no estudo dos problemas básicos do projeto de antenas, a ser feito em outros capítulos.

De um modo geral, as ondas de rádio podem ser classificadas em dois tipos básicos, no que diz respeito à propagação: (1) ondas terrestres e (2) ondas espaciais. A figura – Diferença entre a propagação por onda terrestre e por onda espacial ilustra a diferença principal entre os dois tipos de onda. A onda terrestre inclui todas as componentes de uma onda de rádio, com exceção daquelas que são afetadas pela ionosfera ou pela troposfera. Neste tipo de onda estão incluídas a

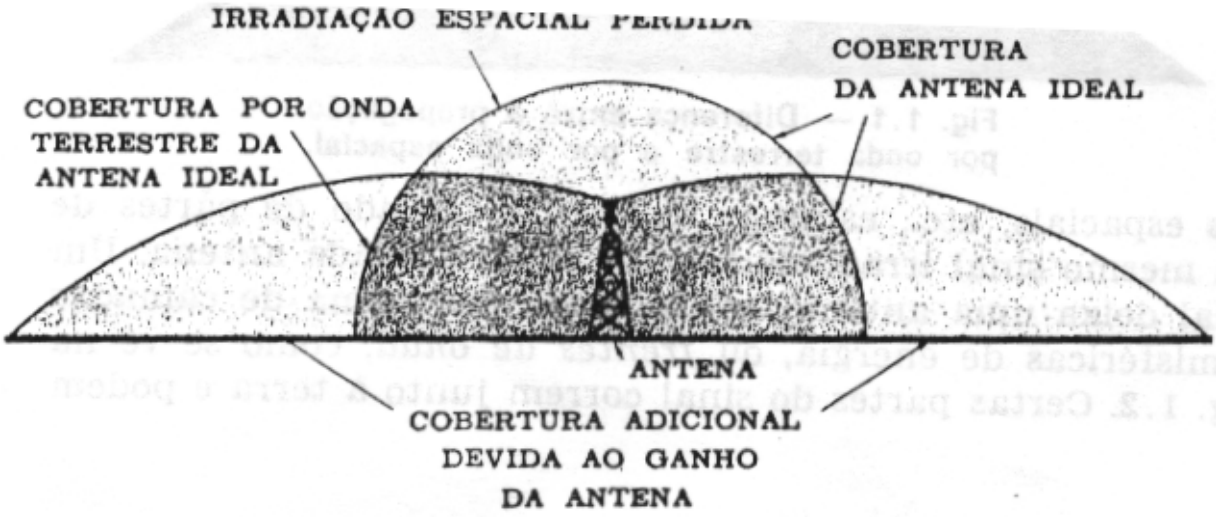
onda conhecida como direta, ou de linha de visão, e a onda refletida pela terra. As ondas que retornam à terra depois de refletidas pela ionosfera ou troposfera são consideradas ondas espaciais.



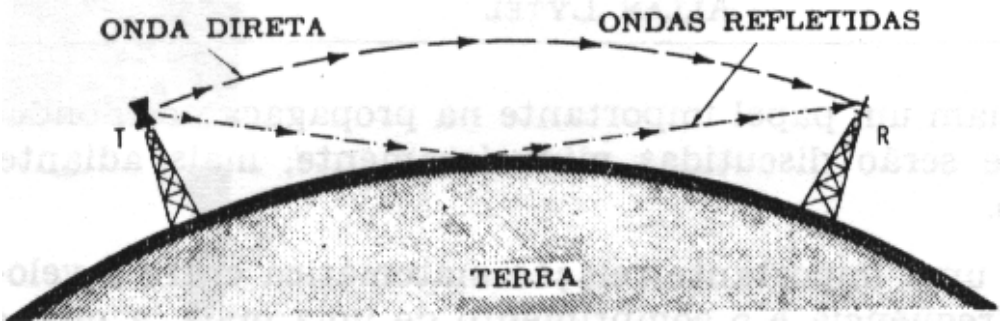
A onda terrestre (ou onda superficial) desloca-se ao longo da superfície da terra e, na realidade, depende da terra como parte do seu meio de transmissão. A onda espacial é irradiada para cima e é mais ou menos afetada, conforme sua freqüência, pela ionosfera (regiões ionizadas da parte superior da atmosfera). Ao nos referirmos às ondas terrestres, ondas espaciais, etc., estamos realmente falando de partes de um mesmo sinal irradiado por uma determinada antena. Um sinal deixa uma antena transmissora em forma de camadas hemisféricas de energia, ou frentes de onda, como se vê na figura – A energia deixa a antena transmissora em forma de frentes de onda ou "conchas" de energia. Certas partes do sinal correm junto à terra e podem ser captadas por uma antena receptora, enquanto outras partes se movem em direção ao espaço exterior e, exceto por efeitos de refração e de reflexão verificados em certas faixas de freqüências são consideradas como energia perdida.



Como a onda terrestre, ou parte dela, constitui o principal meio de comunicação pelo rádio, durante o dia, as antenas transmissoras são projetadas especialmente para aumentar a cobertura da onda terrestre. A cobertura adicional é considerada como ganho da antena, o qual será estudado minuciosamente em capítulos futuros. A figura – O ganho da antena aumenta a cobertura devida à onda terrestre –, mostra como o ganho de uma antena aumenta a cobertura pela onda terrestre.



Como já foi dito, uma boa parte da onda terrestre depende da superfície da terra para a sua existência. A terra, contudo, oferece resistência às correntes pelo sinal irradiado, e isto constitui um fator de limitação para as distâncias que podem ser atingidas por propagação essencialmente terrestre. Diz-se então que a onda terrestre é atenuada pela superfície terrestre. Esta atenuação aumenta com a freqüência até que, a partir de aproximadamente 30 MHz, este tipo de transmissão só é confiável nas imediações do transmissor. Além de 30 MHz, a comunicação por rádio é feita essencialmente pelas partes do sinal que não dependem da superfície terrestre para sua propagação. Estas ondas, como já foi observado anteriormente, compreendem as que se propagam diretamente, ou na linha de visão, e as que são refletidas pela terra. A figura – Ondas direta e refletida pela terra –, ilustra estes dois últimos tipos de ondas.



FREQÜÊNCIA E COMPRIMENTO DE ONDA

Freqüência e comprimento de onda se relacionam inversamente; assim, quanto mais alta for a freqüência, menor será o comprimento de onda ou quanto mais baixa a freqüência maior o comprimento de onda. A velocidade com que uma onda de rádio se desloca no espaço depende das condições do meio de propagação, assim como a velocidade com que a onda se move ao longo de uma linha de transmissão depende das características da linha.

O comportamento do espaço, do ponto de vista elétrico, pode ser avaliado por duas constantes: a constante dielétrica, da ordem de 8,85 microfarads por metro, e a permeabilidade relativa, que é de aproximadamente 1,256 microhenrys por metro. Conhecendo-se a indutância e a capacitância, a velocidade de propagação pode ser calculada em 300.000 quilômetros por segundo.

A freqüência de uma onda de rádio é determinada no transmissor. Sendo a freqüência conhecida, o comprimento de onda (λ) pode ser determinado dividindo-se a velocidade de propagação pela freqüência. A fórmula básica é:

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$$\lambda = \frac{300.000\ \text{Km/s}}{f}$$, (λ será dado em km)

com f em hertz, ou

$$\lambda = \frac{300.000.000\ \text{m/s}}{f}$$, (λ será dado em metros)

como f ainda em hertz.

Se f é expressa em MHz, usa-se a fórmula mais simples:

$$\lambda = \frac{300}{f}$$

Vemos então que é sempre possível calcular uma grandeza – freqüência ou comprimento de onda – quando a outra é conhecida. Vejamos alguns exemplos.

Seja f = 100 MHz; então,

$$\lambda = \frac{300}{100}$$, = 3 metros

Seja, agora, f = 100 KHz, ou 100.000 Hz; teremos:

$$\lambda = \frac{300.000}{100.000}$$, = 3 quilômetros

FAIXAS DE FREQÜÊNCIAS

Para ilustrar a importância da freqüência na propagação das ondas de rádio, são enumeradas nos parágrafos seguintes as características de propagação das diversas faixas de freqüência. Esta distribuição de freqüências ao longo do espectro é adotada internacionalmente e por isso são dadas as abreviaturas já consagradas, correspondentes ao nome da faixa em inglês.

1. *Freqüências muito baixas* (VLF) – 10 a 30 KHz – As ondas de rádio com estas freqüências são muito confiáveis para comunicações a longa distância. É possível atingir a milhares de quilômetros, durante o dia. A atenuação da onda terrestre é muito pequena e a reflexão da onda espacial é boa. Entretanto, os sistemas de antena necessários para a transmissão nestas freqüências são muito grandes e dispendiosos.

2. *Freqüências médias* (LF) – 30 a 300 KHz – A cobertura da onda terrestre nesta faixa é um pouco menor do que na de VLF, por causa da maior atenuação. Além disso, a absorção espacial começa a ser considerável, durante o dia, principalmente no extremo superior desta faixa. O alcance diurno, nestas freqüências, não mais atinge a milhares de quilômetros, mas fica reduzido à ordem das centenas. É possível contudo, obter maior cobertura, utilizando a onda espacial.

3. *Freqüências médias* (MF) – 300 a 3.000 KHz – Esta região do espectro inclui a faixa de radiofusão comercial, na qual é possível uma cobertura confiável a distâncias de até 160 quilômetros da antena transmissora. Uma cobertura satisfatória além desse limite é obtida usualmente durante a noite, por meio da onda espacial.

4. *Freqüências altas* (HF) – 3 a 30 MHz – Nesta região, a cobertura da onda terrestre é muito pequena, ficando restrita a apenas uns poucos quilômetros de distância do transmissor. A propagação por onda espacial é a única forma segura de propagação a longa distância, especialmente no extremo superior da faixa.

5. *Freqüências muito altas* (VHF) 30 a 300 MHz – Esta região inclui as faixas comerciais de FM e televisão em VHF. As antenas transmissoras para estas freqüências são montadas de preferência a grande altura em relação ao solo, de modo que a propagação direta (na linha de visão) é o principal meio de comunicação. A reflexão da onda espacial pela ionosfera não é possível, normalmente.

6. *Freqüências ultra-altas* (UHF) – 300 a 3.000 MHz – A propagação direta, ou na linha de visão, pode ir além do horizonte visual, nesta região do espectro, devido aos efeitos de refração mais pronunciados da atmosfera terrestre. A distância real que pode ser coberta depende da altura das antenas receptora e transmissora. A absorção do sinal também aumenta nestas freqüências mais altas, contudo, em vista de influências atmosféricas como a umidade.

7. *Freqüências superaltas* (SHF) 3 a 30 GHz – Nestas freqüências, especialmente acima de 10 GHz, a absorção dos sinais devido à umidade e precipitações (chuva, neve, etc.) torna-se muito grande. Esta faixa constitui o limite superior de freqüência dos sinais que têm uso prático em comunicações por ondas de rádio, empregando processos comuns de geração e transmissão do sinal. Entretanto, já existem técnicas inteiramente diferentes, tais como feixes de laser e maser, que são atualmente empregadas. Pode-se esperar, em um futuro próximo, o estabelecimento de comunicações em freqüências tão elevadas como a das ondas luminosas.

FAIXA DO CIDADÃO

A faixa do cidadão é um serviço de comunicações por rádio relativamente novo mas que, nos Estados Unidos, tem crescido com muita rapidez. No Brasil a utilização desta faixa nos mesmos moldes em que é feita nos EUA ainda não está regulamentada, mas é de esperar que mais cedo ou mais tarde também o seja, pois é profícua em benefícios para a coletividade. As Antenas destinadas a essa classe de serviço são comparáveis, sob todos os aspectos, às que já foram discutidas e que são usadas em estações comerciais ou de rádio amadores. Há quatro classes de estações que podem operar na faixa do cidadão: A, B, C e D.

As estações classe A podem utilizar qualquer freqüência que lhes seja distribuída, entre 462,55 e 466,45 MHz, com modulação de amplitude ou de freqüência e uma potência de entrada até 60 watts. As de classe B transmitem em 465 MHz, AM ou FM, com 5 watts de potência de entrada. A classe C, reservada apenas para controle remoto, faz uso das freqüências de 26,995, 27,045, 27,095, 27,145, 27,195 e 27,225 MHz, com freqüência controlada a cristal e potência de entrada até 5 watts (exceto na freqüência de 27,255, que pode ter potência até 30watts). As estações classe D podem operar em qualquer dos 22 canais de 26,965 a 27,255, podendo usar também a freqüência de 27,255 MHz, que é compartilhada por estações de outros serviços. Só é permitida a modulação de amplitude e a potência máxima de entrada é de 5 watts.

As estações classe A da faixa do cidadão podem contar com transceptores de fabricação comercial construídos para a faixa 450-470 MHz. Normalmente este equipamento é empregado para fins comerciais ou em serviço público, mas exatamente o mesmo equipamento pode ser usado pelas estações classe A. Também é permitido o uso de equipamento de chamada seletiva.

Os equipamentos para a classe B podem ser transceptores super-regenerativos para a faixa de UHF ou aparelhos comuns para comunicação bilateral na faixa do cidadão. Os transceptores para esta faixa são muito simples mas ainda assim prestam um excelente serviço a curta distância.

A classe C é reservada para o controle remoto de portas de garagem, aeromodelos ou outros modelos telecomandados e dispõe de vários tipos de equipamentos muito simples. As estações desta classe podem causar modulação de tom (modulação de amplitude com um sinal de freqüência fixa) ou portadora não modulada, para fins de controle. Nenhum outro tipo de modulação ou comunicação é permitido. Até 1958, somente um canal (27,255 MHz) estava reservado a este serviço. Atualmente há seis canais disponíveis.

A classe D é a que vem despertando maior interesse. As restrições impostas não são muitas. A faixa está aberta para negócios ou diversão, mas não há garantia de proteção contra interferência. Há trinta e três canais disponíveis. As licenças para utilização da estação são fornecidas mediante requerimento, sem qualquer exigência específica.

A maior parte dos equipamentos móveis pode funcionar com 6 ou 12 VCC ou, para uso próximo das redes de energia elétrica, com 115 VCA. Os transmissores podem ter um ou mais canais; os receptores podem ser controlados a cristal ou sintonizáveis ao longo da faixa.

Os equipamentos da faixa do cidadão podem ser licenciados como sistema de comunicação bilateral para qualquer cidadão dos Estados Unidos com 18 anos de idade ou mais (na classe C, 12 anos em diante). A pessoa a quem é concedida a licença para utilizar uma estação ou grupo de estações, não precisa ter qualquer qualificação técnica especial ou prestar qualquer exame.

OS CANAIS DE TELEVISÃO

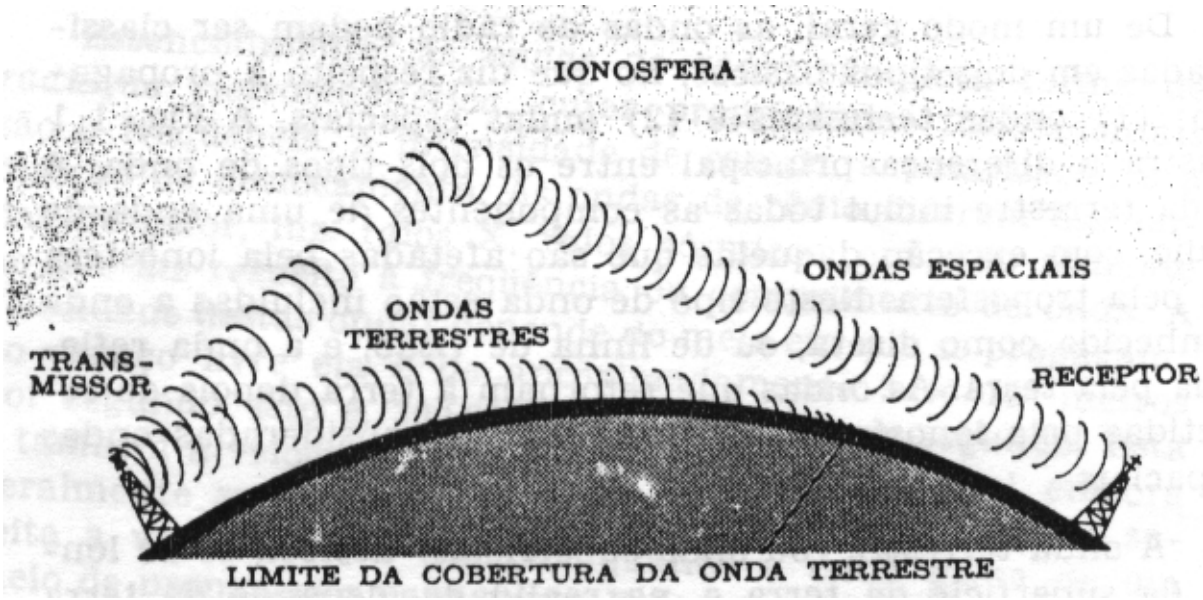
No Brasil adotamos, na televisão, doze canais, numerados de 2 a 13, na faixa de freqüências chamada de VHF, e ainda canais na chamada faixa de UHF, para pequenas cidades e localidades do interior.

A relação destes canais e respectivas freqüências, além de outros dados que serão mencionados mais tarde. Podemos observar que, entre os canais 6 e 7, há um grande intervalo da frequência além de um pequeno intervalo entre os canais 4 e 5. Daí, serem chamados de canais baixos os canais de 2 a 6, e altos os de 7 a 13.

IONOSFERA

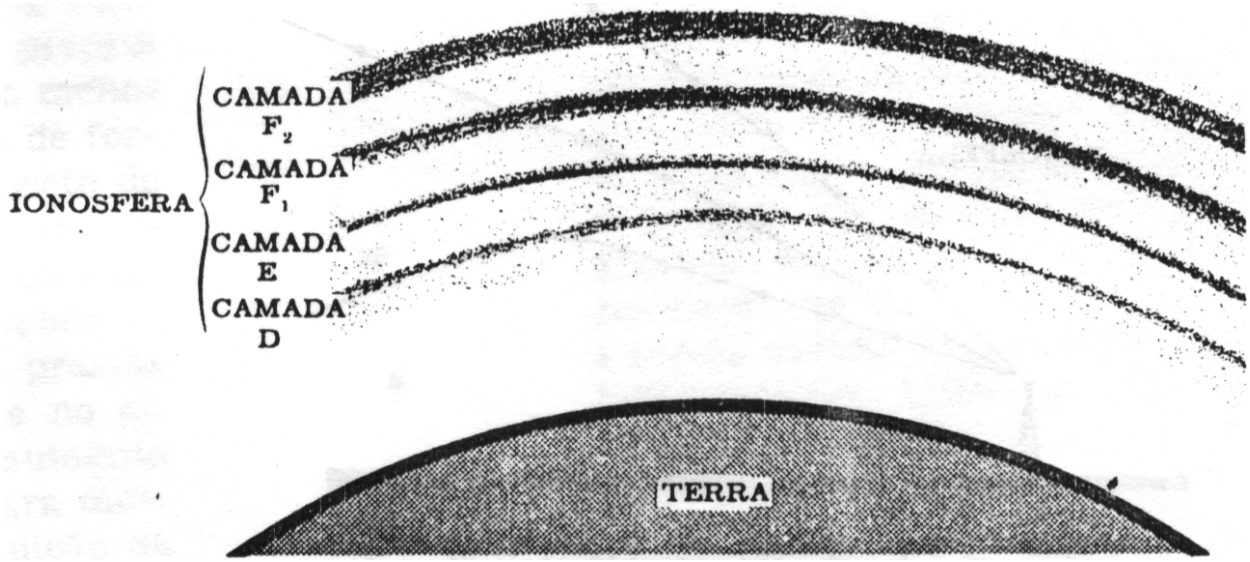
Conforme já foi mencionado anteriormente, as ondas de rádio que se deslocam afastando-se da superfície terrestre são usualmente consideradas como energia perdida. Isto, entretanto depende da freqüência ou comprimento de onda do sinal irradiado. Nas freqüências entre 3 e 30 MHz, a atenuação da onda terrestre é muito rápida, limitando a cobertura com este tipo de propagação a pequenas distâncias do transmissor. Para comunicações a longas distâncias, nestas freqüências, usa-se quase que exclusivamente a propagação por ondas espaciais. A onda espacial é afetada por diversas camadas de partículas carregadas ou ionizadas, que se encontram na atmosfera superior e que são conhecidas como ionosfera. Também esta influência da ionosfera depende da freqüência, de modo que nas freqüências acima de 30 MHz os efeitos da ionosfera são pequenos e os sinais passam através dela, perdendo-se no espaço. Nas freqüências abaixo de 30 MHz, os sinais são desviados ou refratados pela ionosfera, o bastante para retornarem à terra a diferentes distâncias do transmissor, dependendo do ângulo de reflexão. Em certas freqüências, compreendidas na faixa dos 3 aos 30 MHz, pode-se estabelecer comunicação segura entre pontos situados a milhares de quilômetros de distância, por meio da reflexão da onda espacial.

A figura – Ampliação da cobertura, obtida pela reflexão ionosférica da onda espacial – mostra como o alcance da transmissão pode ser aumentado pelo aproveitamento da onda espacial refletida.



A ionização da atmosfera superior ocorre, em princípio, por causa da forte radiação ultravioleta emitida pelo Sol. Os raios cósmicos e outros tipos de radiação provindas do espaço exterior também contribuem para a ionização. Estes raios, ao penetrarem nas camadas superiores da atmosfera, encontram-se com as moléculas e átomos do ar e, devido à sua enorme velocidade e conseqüente alto nível de energia, arrancam eléctrons de alguns dos átomos e moléculas. O resultado é uma região com eléctrons livres, íons positivos e íons negativos, no ar rarefeito da alta atmosfera, conhecida como ionosfera.

Os cientistas concluíram que há pelo menos quatro camadas de partículas ionizadas rodeando a terra. Estas camadas variam de intensidade e espessura e alcançam aproximadamente 80 a 360 quilômetros acima da superfície da terra, dependendo da época do ano, da hora, etc. as quatro camadas, sob condições diurnas normais, são identificadas como camadas D, E, F_1 e F_2. A camada D tem pouca influência – apenas alguns efeitos de absorção – e pode ser omitida das observações que se seguem. A camada E varia em altitude de aproximadamente 80 a 144 Km, a camada F_1 de cerca de 144 a 360 Km. Estas camadas não são delimitadas precisamente, pois há um certo grau de ionização entre elas, conforme é sugerido pela figura – Diagrama lustrando as quatro camadas da onosfera (condições diurnas normais). A palavra camada refere-se neste caso a áreas de máxima densidade de eléctrons, e a densidade de cada camada é maior do que a da camada que lhe fica imediatamente abaixo.



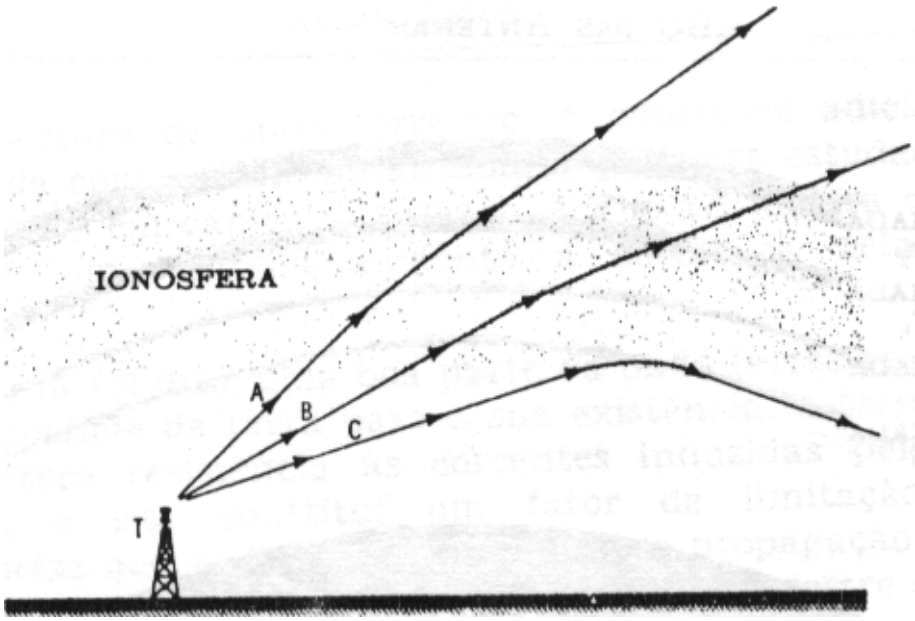
A noite, na ausência de qualquer radiação ultravioleta direta do Sol, a camada F_1 tende se a extinguir; a camada F_2 desce e combina-se com a F_1 para formar uma camada que é conhecida como F_2 noturna. A altitude média desta camada é de aproximadamente 240 Km, estando sujeita a ligeiras variações nas diferentes estações do ano. A camada E também tende a se extinguir durante a noite, chegando às vezes a desaparecer completamente, deixando somente a camada F_2 noturna. Devido a essa diferente acomodação das camadas ionizadas, consegue-se obter transmissões a maiores distâncias durante a noite do que durante o dia.

COMO A IONOSFERA AFETA AS ONDAS DE RÁDIO

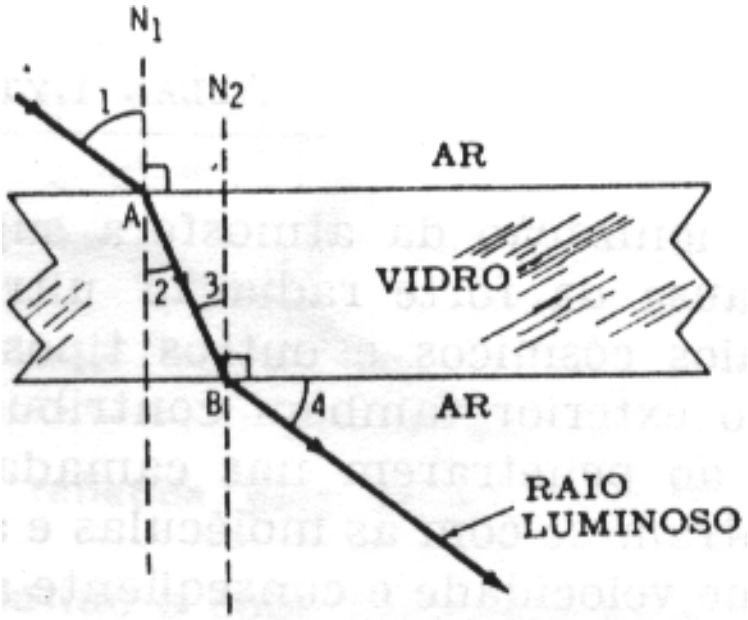
Como foi afirmado anteriormente, as camadas ionizadas da atmosfera superior atuam sobre ondas de rádio de certas freqüências e o efeito desta ação consiste em mudar a direção de propagação dessas ondas. Isto acontece por causa do comportamento dos eléctrons livres na ionosfera, quando uma onda de rádio penetra na região. Os eléctrons livres absorvem parte da energia da onda que passa e começam a vibrar com uma amplitude e uma velocidade que dependem da freqüência ou comprimento de onda do sinal. (os sinais de freqüência mais baixa fazem com que os eléctrons vibrem com maiores amplitudes e velocidades; assim, nas freqüências mais altas, o efeito é menos pronunciado e, em condições normais, não se pode confiar na transmissão por onda espacial, ou por “saltos”, em freqüências acima de aproximadamente 30 MHz).

Quando um eléctron vibra, ele se torna na realidade uma carga móvel e assim pode ser chamado de corrente elétrica. Como as correntes elétricas criam campos de radiação, o eléctron vibrante funciona como uma pequena antena, absorvendo energia da onda que passa e reirradiando-a em direção diferente da original. O efeito global de tudo isto é denominado refração ionosférica, ou mudança da direção de propagação da onda quando esta passa de regiões de maior densidade de eléctrons para regiões de menor densidade de eléctrons. Quando a onda original penetra na ionosfera sob certos ângulos, as refrações sucessivas fazem com que ela retorne à terra a diferentes distâncias do transmissor, dependendo do ângulo de entrada. Parte do sinal vai atingir a terra a distâncias muito maiores do que a que seria possível atingir com a onda terrestre, como mostra a figura – Trajetórias de ondas na ionosfera, para três ângulos de incidência diferentes. A distância entre o transmissor e o ponto em que a onda espacial retorna à terra é chamada

distância de salto porque, na área entre o limite de cobertura da onda terrestre e esse ponto, o sinal não pode ser captado. Esta área é chamada “zona de silêncio”.



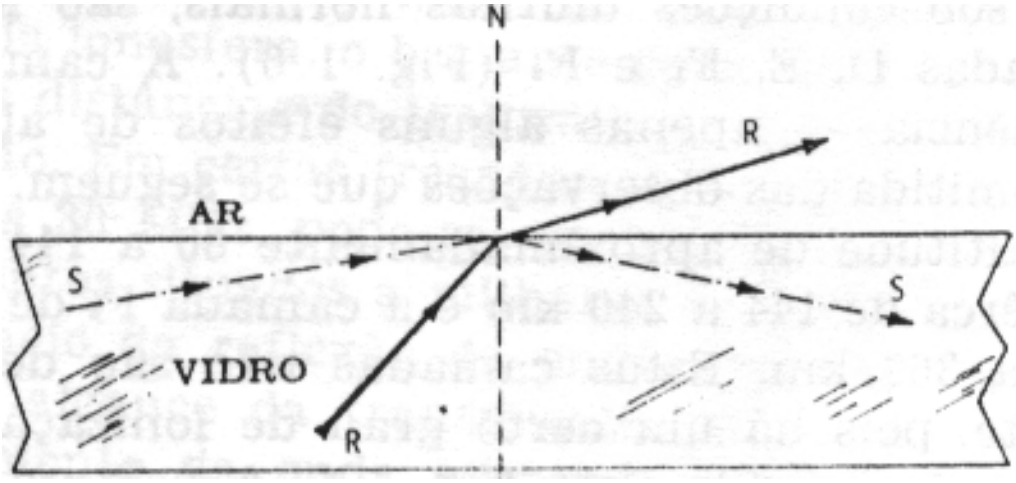
Para compreender melhor como se dá a refração ionosférica, examinemos as leis de refração, no domínio da óptica, para em seguida estabelecermos um paralelo com o comportamento das ondas de rádio. A figura – Trajetória de um raio luminoso através do vidro – mostra uma lâmina de vidro comum. Um raio luminoso, propagando-se através do ar, penetra no vidro no ponto A, atravessa o vidro de A para B e neste último ponto retorna ao ar.



Para ressaltar os detalhes importantes do fenômeno, traça-se no ponto A uma linha vertical (N_1), conhecida como normal e, pelo ponto B, uma Segunda linha vertical ou normal (N_2). Observe que, ao atingir o vidro, o raio luminoso forma um certo ângulo (ângulo 1) com a normal (N_1). Contudo, pelo fato de a luz se deslocar mais lentamente no vidro do que no ar, (o vidro é mais denso do que o ar), o raio luminoso é desviado na direção da normal e passa a formar com ela um ângulo (ângulo 2), menor que o ângulo 1.

Esta é uma característica básica da refração; um raio luminoso passando de um meio menos denso para um mais denso é desviado em direção à normal. Inversamente, um raio luminoso, ao passar de um meio mais denso para um menos denso, é desviado de modo a afastar-se da normal. Isto é indicado no ponto B, onde o raio luminoso abandona o vidro, reentrando no ar.

Um caso um tanto diferente é ilustrado pela figura – Trajetórias de dois raios luminosos que se originam no interior do vidro. Supõe-se agora que o raio luminoso (R) teve origem no interior do vidro. Observe que a onda luminosa atinge a superfície do vidro e passa para o ar como anteriormente. Um segundo raio luminoso, S, entretanto, não passa para o ar, mas é refletido, de tal forma que fica retido no interior do vidro. O fato a ser ressaltado aqui é que, sob certo ângulo, um raio luminoso que se origina no interior do vidro parece ter sido refletido pela fronteira entre os dois meios e permanece no interior do vidro.

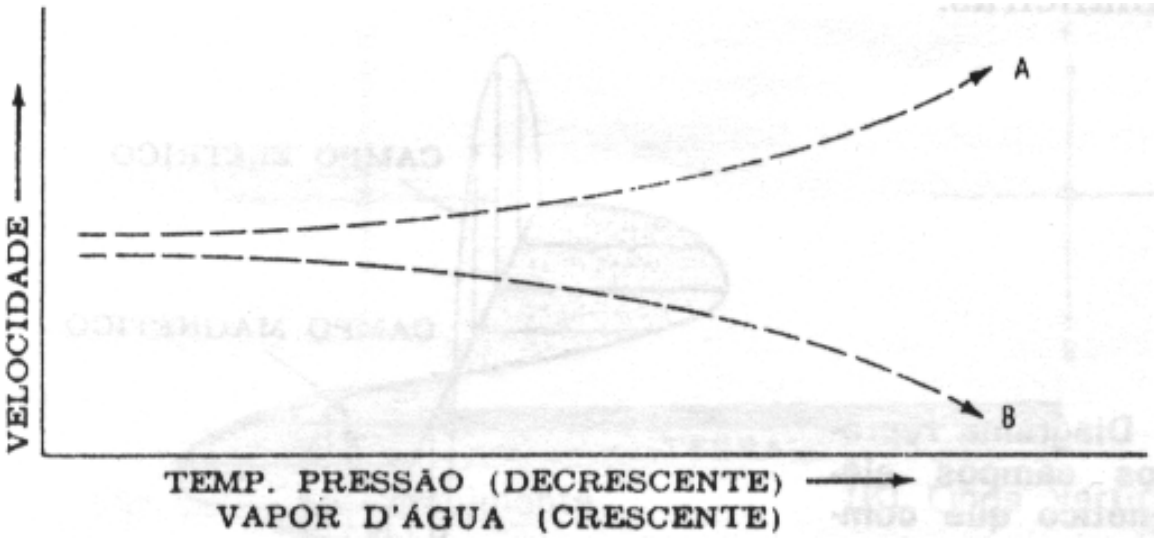


O mesmo princípio se aplica a uma onda de rádio que penetra na ionosfera, proveniente da atmosfera. Assim como o raio luminoso S, que se origina no interior do vidro, é refletido pela superfície do vidro e permanece no interior do vidro, uma onda de rádio, originando-se na superfície da terra, é refletida pela ionosfera e retorna à terra pela atmosfera, sendo esta um meio mais denso do que a ionosfera.

Naturalmente, isto depende também do ângulo de incidência da onda que penetra na ionosfera. Se o ângulo é muito grande, como o das ondas B e C da figura – Trajetórias de ondas na ionosfera, para três ângulos de incidência diferentes –, a onda (dependendo da sua freqüência) pode atravessar a ionosfera e ganhar o espaço exterior, embora seja desviada, ou refratada, como mostra aquela figura. Quando o ângulo é suficientemente pequeno, o efeito de refração faz a onda retornar à terra, como se para a onda C da figura citada.

PROPAGAÇÃO ANORMAL

Diversos são os tipos de programação de ondas que se verificam na atmosfera, dependendo de variações na própria atmosfera. Ao passar de um meio mais denso para um menos denso, uma onda de rádio ou raio luminoso é refratado de forma a afastar-se da normal, mas isto é apenas um aspecto fenômeno. As trajetórias de muitos sinais de rádio são encurvadas porque a onda se desloca através da atmosfera com diferentes velocidades. A velocidade em cada ponto depende de numerosos fatores, entre os quais a temperatura, a pressão atmosférica e a quantidade de vapor d'água presente no ar. A curva A da figura – Efeito da temperatura, pressão e vapor d'água sobre a velocidade das ondas de rádio –, mostra que a velocidade aumenta quando a temperatura abaixa. A mesma curva serve para mostrar que a velocidade também aumenta com a diminuição da pressão atmosférica. Neste gráfico, ao deslocar-se da esquerda para a direita, tem-se uma diminuição de temperatura e de pressão ou um aumento da quantidade de vapor d'água, conforme o caso.

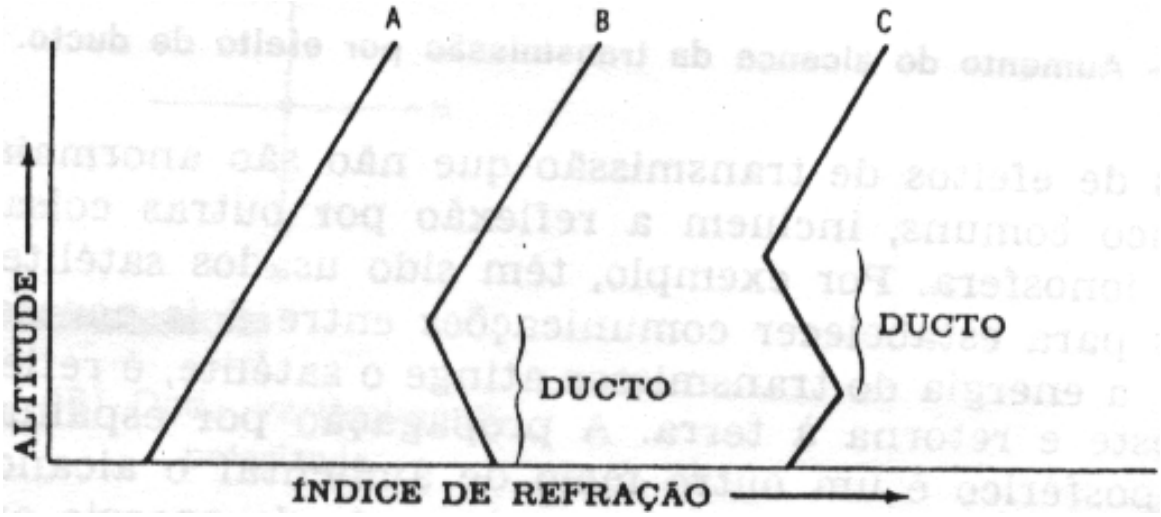


A curva B mostra que a velocidade da onda de rádio diminui quando a quantidade de vapor d'água aumenta. Assim sendo, para cada uma dessas três variações (mudança de temperatura, variação da pressão e da quantidade de vapor d'água) há uma alteração na velocidade das ondas de rádio.

Considerando todos estes fatores, é claro que a velocidade das ondas de rádio varia com a altitude, pois temperatura, pressão e vapor d'água de rádio varia com a altitude, pois temperatura pressão e vapor d'água variam com a altitude. Sob condições atmosféricas normais, esta variação é muito pequena. Contudo, observa-se um aumento na velocidade das ondas de rádio à medida que a altitude aumenta. Isto produz uma pequena curvatura em uma onda de rádio que se desloca por cima da superfície da terra.

A temperatura e o vapor d'água estão sujeitos a constantes variações na atmosfera. Normalmente esta variação é tal que o índice de refração varia com a altitude, da forma que se vê na figura – Curvas de índice de refração versus altitude. Esta forma de variação é a forma normal, ou padrão, de variação do índice de refração em função da altitude, ou altura em relação ao nível do mar. Contudo, há condições em que a variação do índice de refração não segue a forma padrão, dando lugar a uma propagação anômala. Sob tais condições, forma-se uma região de características

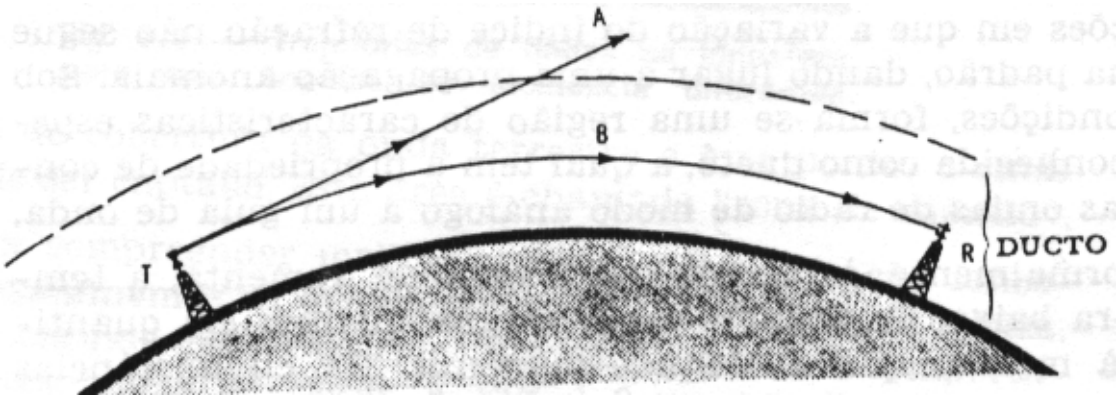
especiais, conhecida como ducto, a qual tem a propriedade de conduzir as ondas de rádio de modo análogo a um guia de onda.



Normalmente, á medida que a altitude aumenta, a temperatura abaixa. Também o vapor d'água diminui em quantidade à medida que a altitude aumenta. Há circunstâncias especiais, contudo, em que a temperatura primeiramente decresce com a altitude, porém subitamente começa a aumentar. Esta condição anormal é conhecida como inversão de temperatura. Também pode acontecer, sob certas circunstâncias particulares, que o conteúdo de vapor d'água na atmosfera aumente em certos pontos acima da superfície da terra.

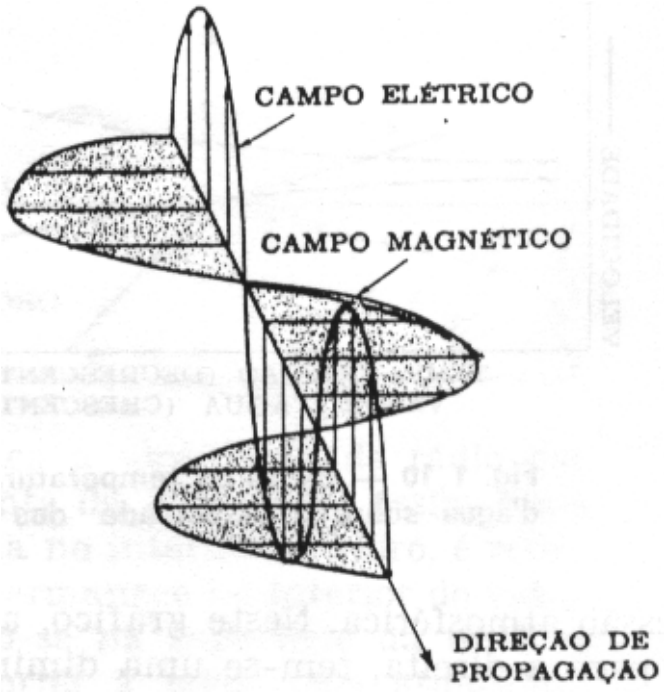
Quando esses fenômenos ocorrem há condições favoráveis para formação de um ducto. A figura acima (parte B), mostra o índice de refração variando de um modo anormal, à medida que a altitude aumenta até certo ponto, para em seguida prosseguir variando normalmente. Em alguns casos, como em C, o ducto ocorre entre dois níveis específicos de altitude. Em qualquer caso, a formação do ducto não é usual e ela afeta as ondas de rádio de forma também inusitada.

A figura – Aumento do alcance da transmissão por efeito de ducto –, mostra ondas de rádio partindo de um transmissor T e dirigidas para um receptor R. sob condições normais, as ondas de rádio se deslocariam aproximadamente em linha reta, como mostra a linha A. Contudo, devido ao efeito de ducto, a onda de rádio pode ser encurvada de modo a seguir a trajetória B. em conseqüência, a energia do transmissor pode atingir receptores a uma distância maior, por esse processo anormal. A transmissão de ductos pode aumentar de muitas vezes ao alcance de certos tipos de radiocomunicações.

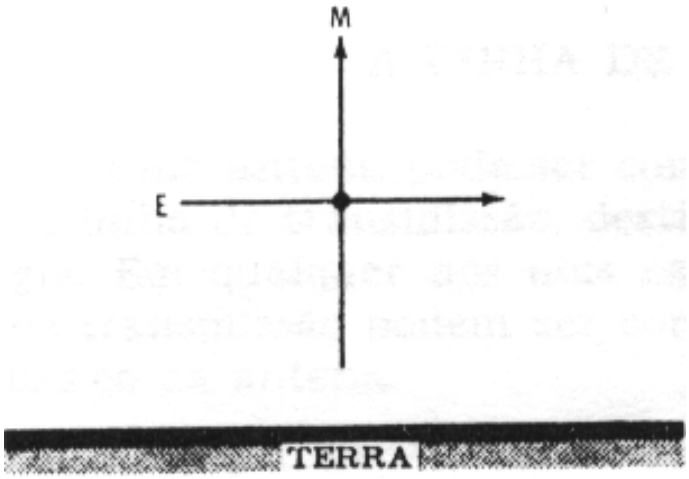


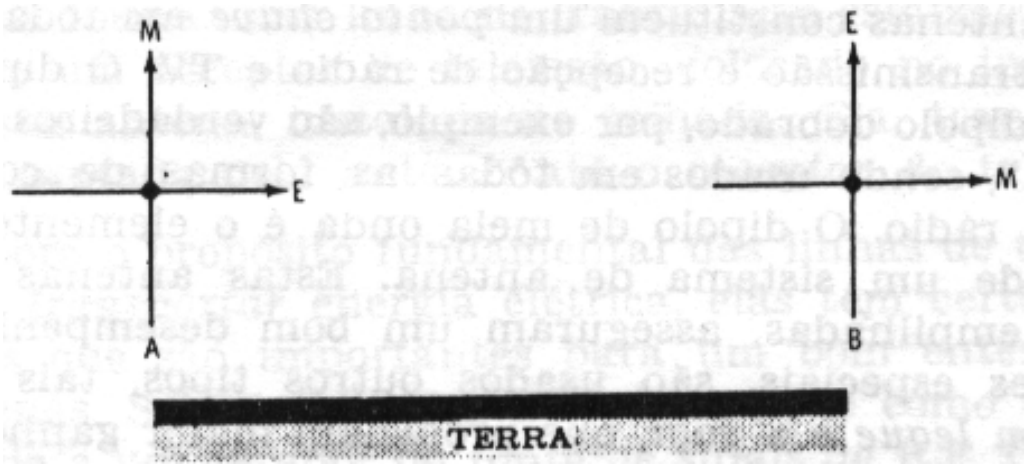
Outros efeitos de transmissão que não são anormais, porém pouco comuns, incluem a reflexão por outras coisas que não a ionosfera. Por exemplo, têm sido usados satélites sincrônicos para estabelecer comunicações entre dois pontos. Neste caso, a energia do transmissor atinge o satélite, é refletida por este e retorna à terra. A propagação por espalhamento troposférico é um outro meio é um outro meio de aumentar o alcance de certos tipos de transmissão. A maior parte da energia em freqüências muito altas é enviada somente a distâncias muito curtas. A razão disso é que a energia em altas freqüências passa através da ionosfera sem ser refratada, sendo efetivamente perdida para fins de comunicação terrestres.

Embora a maior parte dessa energia se perca no espaço exterior, uma parte dela, pequena porém ainda útil, é defletida pela troposfera e isto espalha a energia além do horizonte. Assim, é possível obter comunicações além do horizonte normal, em freqüências que normalmente não seriam usadas para transmissões a longa distância. A propagação por espalhamento troposférico não é a mesma coisa que a reflexão pela ionosfera, porque o espalhamento troposférico depende de certas condições atmosféricas que não persistem todo o tempo. As reflexões na ionosfera, ao contrário, podem ser usadas continuamente.



Na figura – Representação vetorial de uma frente de onda –, por exemplo, está representada uma onda cujo sentido de deslocamento é para fora do papel, em direção ao leitor. O campo magnético é representado por um vetor disposto verticalmente e o campo elétrico por um vetor colocado horizontalmente. A direção do campo elétrico de uma onda determina a polarização dessa onda. Quando o vetor campo elétrico é horizontal, como na figura – o vetor campo elétrico determina a polarização da onda (parte A) – diz-se que a onda de rádio é uma onda horizontalmente polarizada. Quando o vetor campo elétrico é vertical, como nesta figura na parte B, diz-se que a onda é verticalmente polarizada. O campo elétrico e o campo magnético estão sempre em ângulo reto um com o outro.





A polarização das ondas de rádio depende da posição da antena transmissora em relação à terra. Quando a antena é horizontal, ela irradia uma onda horizontalmente polarizada; quando a antena transmissora é vertical, a onda irradiada é verticalmente polarizada. A onda verticalmente polarizada sofre menos atenuações. Em conseqüência, uma onda verticalmente polarizada leva um pouco mais de energia à antena receptora do que uma onda horizontalmente polarizada. Por outro lado, entretanto, uma onda verticalmente polarizada é mais sujeita a ruído. Por causa desta e de outras considerações, a polarização horizontal foi padronizada para as transmissões de FM e televisão.

ANTENAS

Agora, com base no que foi estudado no anteriormente, podemos entender melhor o que são as antenas.

Uma antena é um meio de radiação ou de recebimento de ondas de rádio. Antenas são equipamentos intermediários entre circuitos geradores ou linhas de transmissão e o espaço livre.

Em geral, a antena em estudo pode ser usada para transmitir ou receber um sinal. A orientação da antena é importante. Quando receptora, a potência do sinal será mais forte em algumas direções do que em outras. Se a mesma antena é usada para transmitir um sinal, o poder de radiação será maior em algumas direções do que em outras. Entretanto, para a mesma antena, a direção de transmissão máxima de energia coincide com a direção de recepção máxima de energia.

Uma fonte isotrópica conhecida como uma antena hipotética não direcional, é aquela que possui a mesma intensidade de radiação em todas as direções. Entretanto, uma antena perfeitamente isotrópica não existe na prática; o conceito é muito usado no estudo de antenas. Este conceito oferece uma referência conveniente para discussão sobre as propriedades de antenas direcionais.

POLARIZAÇÃO

Uma onda de rádio consiste em um campo elétrico e um campo magnético combinados. Estes dois campos se mantêm em ângulo reto, conforme estão representados na figura – Diagrama representativo dos campos elétrico e magnético que compõem uma onda de rádio –, e ambos variam em função do tempo. A direção de propagação da onda, nesta figura, é representada por uma seta. O campo magnético pode ser representado por uma senóide que se move horizontalmente, representando as variações de campo magnético e o campo elétrico pode ser representado por uma solenóide que se move verticalmente, traduzindo as variações de campo elétrico. Todas as ondas de rádio têm estas duas componentes e podem ser representadas simbolicamente de várias maneiras.

A polarização de uma antena descreve a direção no espaço do campo elétrico das ondas eletromagnéticas transmitidas pela antena, em um ponto distante. Mais exatamente, descreve a direção onde a intensidade do campo é máxima.

Muitas antenas são linearmente polarizadas, ou seja, durante um ciclo, o deslocamento do vetor do campo elétrico descreve uma linha reta no espaço. Essas antenas são definidas como horizontalmente ou verticalmente polarizadas. Há também polarizações chamadas circulares ou elípticas. Essas serão vistas nos próximos capítulos.

É normalmente possível deduzir a polarização de uma antena por sua geometria. No caso de cabos de antenas compostos de um ou diversos elementos alinhados paralelamente uns aos outros (dipolos e Antenas Yagi, por exemplo).

AS CARACTERÍSTICAS DAS ANTENAS

As antenas se especificam por cinco características importantes:

- ✓ freqüência de trabalho;
- ✓ faixa;
- ✓ impedância característica;
- ✓ diretividade;
- ✓ ganho

Estas características servirão de base para a escolha da antena, de acordo com as circunstâncias peculiares a cada instalação, e devem portanto ser conhecidas. É possível que o leitor já tenha ouvido falar nestas características, se for um técnico com uma certa experiência. Por outro lado, é muito provável que não saiba o que elas significam exatamente, razão por que as descrevemos, a seguir, da forma mais resumida e simplificada possível.

Freqüência de trabalho – Embora possa parecer estranho, a antena pode ser considerada como constituída de indutâncias e capacitâncias, distribuídas ao longo de seu comprimento. Estas indutâncias e capacitâncias estão em ressonância em uma dada freqüência, para a qual a antena apresenta o máximo rendimento. Quando dizemos, portanto, que uma antena é "do canal 6", queremos dizer que sua freqüência de ressonância é a mesma deste canal, e que, portanto, nela, apresentará o máximo rendimento. Podemos dizer que, de certa forma, a antena seleciona sua freqüência da mesma maneira que um circuito sintonizado, constituído por um indutor e um capacitor variável na entrada de um receptor.

Faixa – Embora especificada para uma dada freqüência, a antena poderá captar, com relativa eficiência, as freqüências próximas desta. Assim uma antena para a freqüência de 180 MHz, cuja faixa seja de 12 MHz, por exemplo, recebe as freqüências desde 174 até 186 MHz; se fosse para a freq6ência de 210 MHz, receberia de 204 a 216 MHz. Dizemos que uma antena de TV é de faixa estreita quando se destina a apenas um canal, abrangendo apenas 6 MHz, aproximadamente. Por outro lado, ela é dita de faixa larga quando é capaz de operar satisfatoriamente com vários canais. Como as freqüências das estações transmissoras estão distribuídas em dois grupos (canais baixos, de 2 a 6; canais altos, de 7 a 13), é freqüente ouvirmos referência à antena para os canais baixos (que é uma antena de faixa larga, para captar todos os canais de 2 a 6) e antena para os canais altos (idem para 7 a 13). Como regra geral embora não necessariamente exata em todas as circunstâncias, pois depende de outros fatores, podemos admitir que, quanto mais estreita a faixa, maior o ganho para as freqüências nela compreendidas. Mais tarde, ao analisarmos a escolha dos diversos tipos de antenas, veremos como utilizar este princípio.

Impedância característica – Conforme vimos anteriormente, a antena corresponde a um circuito sintonizado, ressonante na freqüência de trabalho para a qual ela se destina. Chamamos de impedância característica à resistência (impedência) da antena na freqüência em que é sintonizada. Assim, por exemplo, uma antena dipolo dobrada, para o canal 6, tem uma impedância de 300 Ohm nas freqüências de 82 a 88 MHz (pois o canal 6 funciona nestas freqüências, logo ela é sintonizada para estas freqüências) e sua impedância característica é 300 Ohm. Para qualquer outro canal (isto é outras freqüências), a impedância da antena não será

mais de 300 Ohm. Este valor de impedância característica é muito importante, para que se obtenha a máxima transferência do sinal da antena para a linha, e daí para o televisor. Para que haja esta transferência máxima de sinal (logo máximo rendimento do sistema de antenas), é preciso que sejam iguais a impedância característica de antena, linha de descida e receptor.

As vezes, esta impedância característica é chamada também de resistência de radiação (principalmente quando se está trabalhando com transmissores). Na prática, não precisamos medir a impedância característica da antena, mas precisamos ter uma idéia de seu valor.

Diretividade – Outra característica importante na escolha da antena é sua diretividade. Há antenas que captam o sinal com muito mais intensidade de uma direção apenas; já outras recebem-no com igual intensidade de todas ou quase todas as direções.

Ganho – o ganho é uma característica relativa. Considera-se como básica a antena chamada dipolo simples, e os demais tipos são a ela referidos. Assim, uma antena dipolo dobrado com refletor, por exemplo, tem um ganho aproximadamente igual a 1,8 vezes o de uma antena dipolo simples, querendo isto dizer que é capaz de captar um sinal 1,8 vezes maior em tensão do que o dipolo simples.

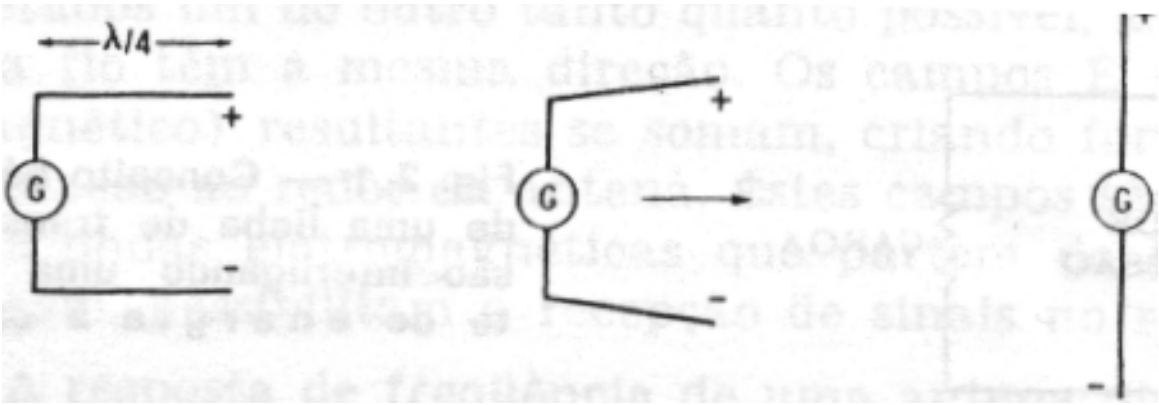
NOÇÕES BÁSICAS RELATIVAS ÁS ANTENAS

Nas instalações normais, são usados dois tipos de antenas:

- ✓ Antenas dipolo dobrado com elementos parasitas, conhecidas como Antenas Yagi;
- ✓ Antenas cônicas (“pés de galinha”).

A ANTENA BÁSICA

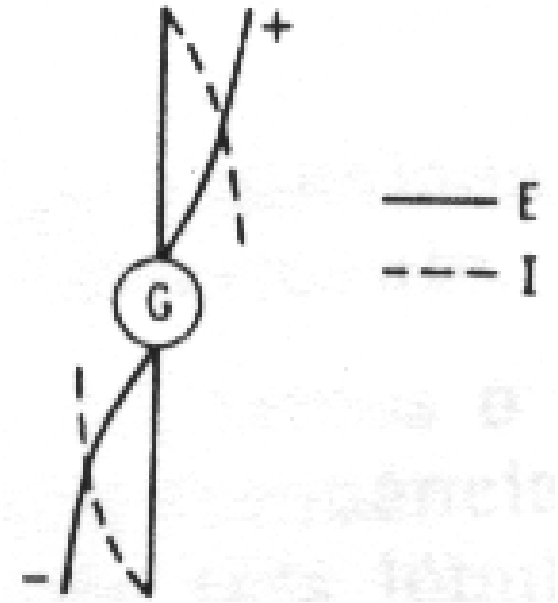
A figura – Obtenção de uma antena a partir de uma linha de transmissão –, mostra graficamente como o transmissor pode usar uma linha de transmissão como antena. Na figura citada (parte A), o transmissor é ligado a uma linha de transmissão curta, com a saída aberta. Os fios da linha estão bem próximos e paralelos entre si; por isso, cada qual gera um campo que é cancelado pelo do outro e não há irradiação de energia.



Entretanto, se os extremos da linha de transmissão forem afastados, como na figura acima parte B, haverá irradiação, conforme indica a seta. Isto acontece porque os fios da linha não estão paralelos como antes; assim o cancelamento dos campos é incompleto. Parte da energia será irradiada enquanto nas partes da linha de transmissão mais próximas do gerador os campos tendem a se cancelar e não haverá irradiação.

Nesta mesma figura parte C a linha de transmissão foi totalmente aberta de modo que os dois fios estão agora em linha reta. Haverá então o máximo de irradiação, pois os campos produzidos não mais estão em oposição. Enquanto um fio é positivo, o outro é negativo; os dois campos estão em série e se somam, acarretando o máximo de irradiação de energia. Isto representa uma antena real.

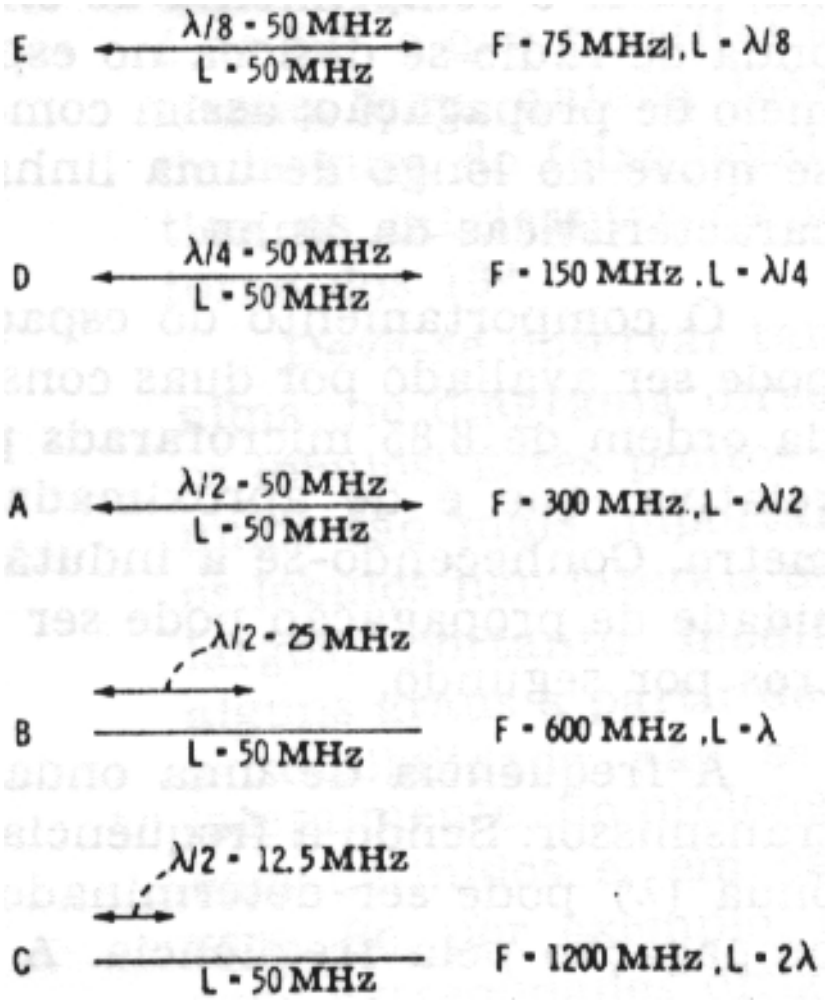
Como se vê na figura – Variações de tensão e corrente em uma antena de meia onda –, os dois fios da linha de transmissão (cada qual com um comprimento igual a um quarto de comprimento de onda) formam uma antena de meia onda. Do mesmo modo que a linha de transmissão com circuito aberto discutida anteriormente, esta antena tem um máximo de tensão e um mínimo de corrente em cada extremidade. Observe também que a tensão em um extremo é de polaridade oposta à da tensão no outro extremo. Esta é a antena dipolo de meia onda.



COMPRIMENTO DA ANTENA

Embora sejam usadas antenas de vários comprimentos para diversas finalidades, a antena de meia onda é a que se usa na maioria dos casos. É importante que se tenha em mente, entretanto, que uma antena de meia onda só tem realmente um comprimento igual a meio comprimento de onda em uma determinada freqüência de operação. quando a freqüência de operação varia, o comprimento físico da antena não muda, mas o seu comprimento elétrico muda. Isto pode ser melhor compreendido como o exemplo da figura – Relações entre comprimento elétrico de uma antena e freqüência de funcionamento –, onde, para fixar idéias, a freqüência de operação é de 300 MHz. Considerando que esta mesma antena pode ser usada em diversas freqüências

diferentes, convém examinar o que acontece com o comprimento elétrico da antena nestas outras freqüências.



Na Figura acima, item B, a freqüência foi aumentada para 600 MHz. Nesta freqüência, um meio comprimento de onda vale 25 cm, mas temos ainda uma antena com 50 cm; portanto, nesta freqüência de operação, o comprimento elétrico de nossa antena é igual a um comprimento de onda, enquanto na freqüência de 300 MHz era apenas de meio comprimento de onda. Observe que o comprimento físico não mudou, mas o comprimento elétrico sim. Se a freqüência é dobrada mais uma vez, passando a ser 1.200 MHz, o meio comprimento de onda valerá então 12,5 cm; a mesma antena, com um comprimento físico de 50 cm, passará a ter um comprimento elétrico de 2 comprimentos de onda, como mostra a figura na parte C. Assim, à medida que a freqüência vai aumentando, a antena vai se tornando eletricamente mais longa, sem alterar suas dimensões físicas. O oposto se verifica quando a diminui. Por exemplo, na freqüência de 150 MHz (Figura parte D), a antena de 50 cm passa a ter um comprimento elétrico de apenas um quarto de onda. Na figura parte E, a freqüência é reduzida mais uma vez para a metade, 75 MHz, fazendo com que a antena de 50 cm agora tenha um comprimento elétrico igual a um oitavo de onda.

Nos exemplos acima, o comprimento físico de uma antena foi considerado constante, mas seu comprimento elétrico variável em função da freqüência. É sempre possível cortar uma antena com

um comprimento elétrico igual a meio comprimento de onda, para uma dada freqüência de operação. Assim, é possível fazer variar o comprimento físico da antena, de acordo com a freqüência, de modo a manter constante o comprimento elétrico da antena. Como ficou estabelecido acima, em uma freqüência de 300 MHz o comprimento físico de uma antena de meia onda é igual a 50 cm. Se a freqüência é duplicada para 600 MHz, o comprimento físico da antena deve ser reduzido à metade – 25 cm – para conservar o mesmo comprimento elétrico (igual a meio comprimento de onda). Se a freqüência é aumentada para 1.200 MHz, a antena deverá ser reduzida fisicamente para 12,5 cm para continuar sendo, eletricamente, uma antena de meia onda. Se a freqüência for reduzida mais uma vez, para 75 MHz, a antena deverá ter então um comprimento físico de 200 cm, para ser considerada, eletricamente, como uma antena de meia onda.

DIRETIVIDADE E GANHO

As propriedades elétricas mais importantes de uma antena receptora são a *diretividade* e o ganho.

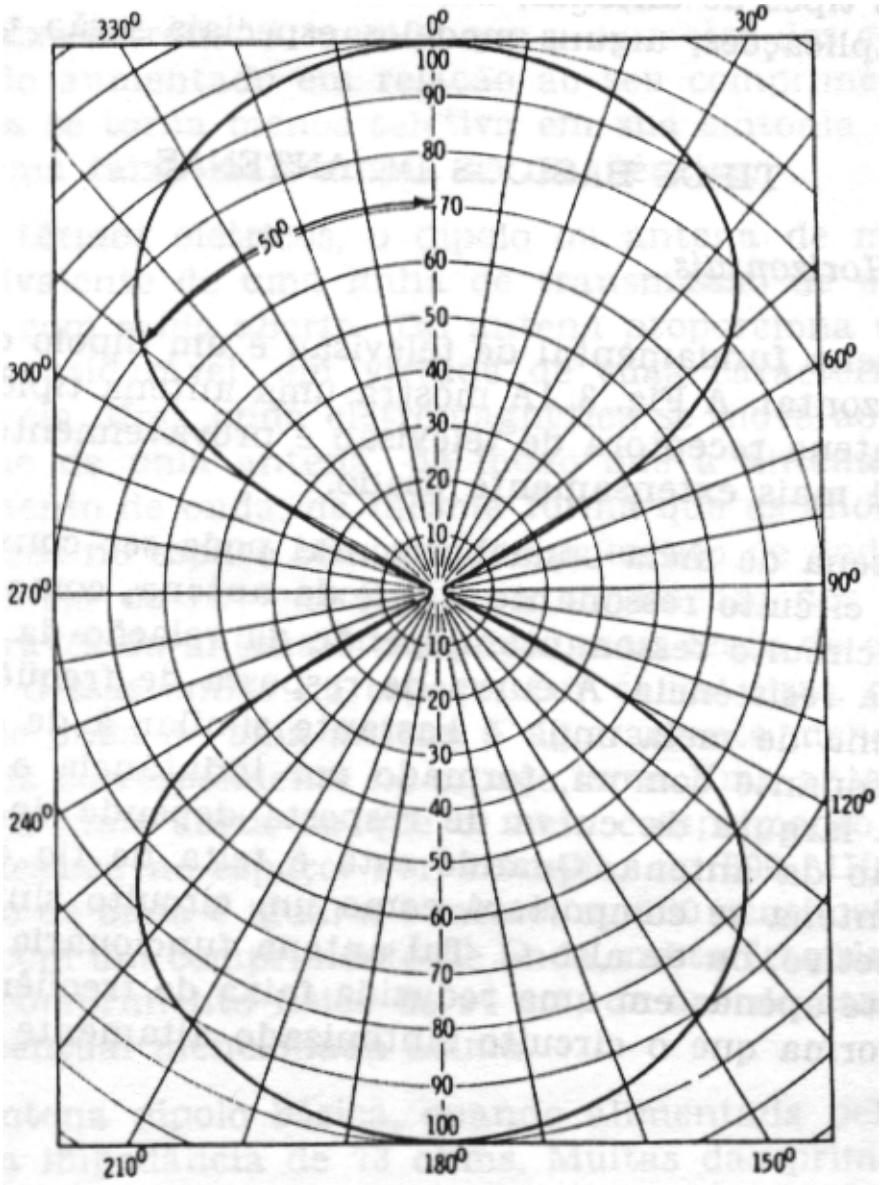
Diretividade é a propriedade de uma antena de captar melhor os sinais provenientes de uma direção do que de outra. A diretividade pode ser expressa de forma útil por um diagrama de irradiação, ou diagrama direcional. A sensibilidade de uma antena, em uma certa direção, é indicada pelo comprimento de uma linha reta, traçada do centro da antena até a linha do diagrama direcional, sendo a direção da reta correspondente à direção física considerada.

A diretividade de uma antena é também uma medida da sua capacidade de selecionar sinais provenientes de transmissores que não estejam localizados na mesma direção angular. Por exemplo, o dipolo simples horizontal é bidirecional e recebe melhor os sinais que vêm por trás ou pela frente, em ângulo reto com a antena, conforme o seu diagrama direcional em forma de oito (fig. – Gráfico polar de tensão para um dipolo de meia onda padrão). Uma antena unidirecional é aquela cuja melhor recepção se dá em apenas uma direção.

Embora uma antena direcional capte melhor os sinais em suas direções preferenciais, ela também recebe sinais de outras direções, com menor sensibilidade. Os diagramas direcionais mostram como a sensibilidade varia, não somente nas direções preferenciais mas também nas outras direções.

Os diagramas direcionais de uma antena são usualmente apresentados de forma gráfica, como se vê na figura – Gráfico polar de tensão para um dipolo de meia onda padrão. Este tipo de representação gráfica tem o nome de gráfico polar. Supõe se que a antena esteja no centro do gráfico polar e as características de recepção (ou transmissão) são colocadas em um giro de 360° ao redor da antena. As formas dos lóbulos que compõem o gráfico polar indicam as propriedades direcionais da antena. O diagrama mostrado na figura citada, é o do dipolo de meia onda, considerado como padrão, ou referência, para as demais antenas. Como se pode ver, este tipo de antena é bidirecional, isto é, ele apresenta lóbulos iguais nas direções frontal e traseira. A direção de maior sensibilidade fica na linha diretamente perpendicular ao comprimento da antena. Observe que foi traçado um arco, a partir do raio de zero grau, na distância correspondente a 70,7%, até atingir o limite lateral do lóbulo. Em um gráfico polar de tensão (fig abaixo), a distância de 70,7% determina um ponto conhecido como ponto de meia potência e representa o ponto de largura máxima do lóbulo. O ângulo mostrado neste ponto é conhecido como o ângulo de largura do feixe e é usado extensivamente em toda a indústria para descrever as características direcionais relativas de diversas antenas. O diagrama da figura citada, mostra que este ângulo, para o dipolo padrão, é de 50°, o que constitui também um dado padrão ou de referência. Uma

antena teoricamente perfeita teria um ângulo de largura do feixe igual a 10°. Em trabalho de projeto prático, os fabricantes de antenas lograram obter ângulos em torno dos 18°.



Deve-se observar também que há pontos de recepção mínima, no diagrama direcional de uma antena, situados entre os lóbulos. Estes pontos são chamados nulos. Muitas vezes os nulos são mais importantes do que os lóbulos. Por exemplo, os lóbulos não laterais de um dipolo ressonante horizontal são largos; portanto, modificando a orientação da antena de alguns graus a partir do ponto de recepção máxima do lóbulo, a sensibilidade não se altera consideravelmente. Contudo, lateralmente, no prolongamento da linha da antena, há nulos, bem definidos e, em cada nulo, a recepção é praticamente zero. Se, por exemplo a antena for orientada com uma de suas extremidades dirigida para uma estação, a recepção de sinal será fraca, ainda que a estação esteja transmitindo na freqüência de ressonância do dipolo.

O ganho de uma antena é um dado comparativo. Determina-se o ganho de uma antena medindo-se a potência que é induzida nela por um sinal constante e dividindo-se esta potência pela que seria induzida em um dipolo de meia onda, ressonante exatamente na freqüência do sinal, em idênticas condições. Um ganho de potência de 10 significa que a antena em questão é dez vezes mais eficiente do que o dipolo padrão.

A razão entre duas potências é freqüentemente expressa em decibéis. Conhecendo-se as duas potências P_2 e P_1, o ganho em decibéis será determinado pela fórmula:

$$\text{Ganho (em decibéis)} = 10 \log_{10} = \frac{P2}{P1}$$

Como o decibel (que se abrevia dB) baseia-se em uma relação, os valores exatos das duas potências não afeta o número de decibéis, desde que a sua relação se mantenha constante. O número de dB, é antes um meio de comparação entre dois valores. Se, por exemplo, o ganho de uma dada antena é igual a 10 dB, isto significa que a potência P_2, que nela se desenvolve, é dez vezes maior do que a potência P_1 que seria induzida na antena padrão, com um mesmo sinal. Isto pode ser verificado pela fórmula acima: a relação P_2/P_1, neste exemplo, é igual a 10; o logaritmo decimal de 10 é 1 e 10 x 1 = 10. Nos gráficos que mostram a variação de ganho, a linha zero, ou referência, corresponde a um ganho igual a 1, ou seja, 0 dB, correspondendo à potência em um dipolo cuja freqüência de ressonância é a mesma que a do sinal.

É conveniente conhecer os termos definidos abaixo, relacionados com o ganho de uma antena:

Ganho de transmissão – se uma antena irradia A watts e um dipolo padrão irradia, sob as mesmas condições, B watts, o ganho de transmissão da primeira antena é A/B.

Ganho de recepção – se uma antena recebe A watts, e um dipolo padrão recebe, nas mesmas condições, B watts, o ganho de recepção da antena é de A/B watts.

Dipolo padrão – considera-se que a antena padrão de meia onda (dipolo) tem um ganho igual a 1 (ou 0 dB), e o ganho das demais antenas é medido em relação a este.

Exemplos:

1. Uma antena transmissora irradia 1.000 watts, e um dipolo padrão irradia 500 watts. Qual o ganho de transmissão?

$$\text{Ganho} = \frac{1000}{500} = 2$$

2. Uma antena receptora recebe 0,5 watt e um dipolo padrão recebe 0,3 watt. Qual o ganho de recepção?

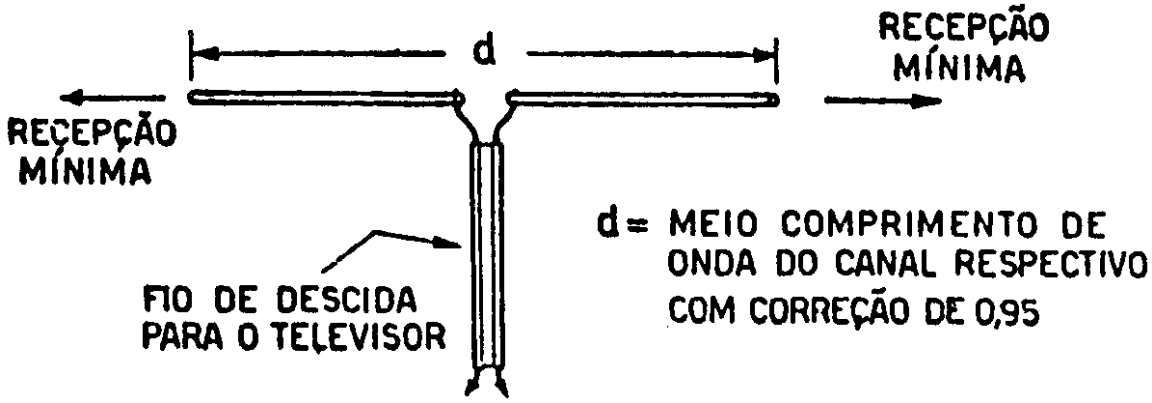
$$\text{Ganho} = \frac{0{,}5}{0{,}3} = 1{,}7$$

TIPOS BÁSICOS DE ANTENA

Esta parte do nosso material abrange certos tipos básicos de antenas, dentre eles o tipo horizontal e vertical, assim como as antenas compostas e o uso de elementos parasitas. Como existem numerosos tipos de antenas, destinados a uma grande variedade de aplicações, alguns modelos especiais serão também estudados.

ANTENA DIPOLO

A antena fundamental de televisão é um dipolo de meia onda horizontal. A antena dipolo simples (antena de meia onda) é formada por um tubo de alumínio, cujo comprimento total é igual a meio comprimento da onda correspondente ao canal que ele deseja captar. A antena receptora de televisão é provavelmente o tipo horizontal mais extensamente usado.



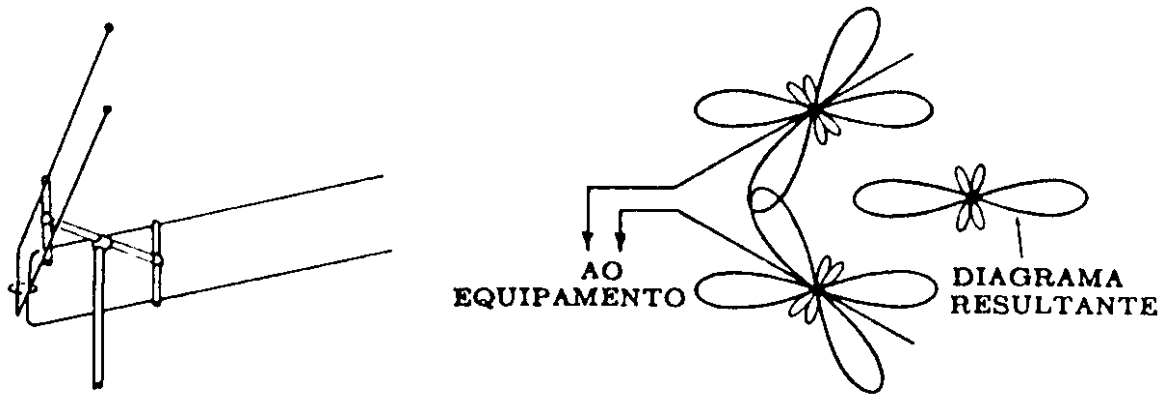
(Figura – Nota – Antena dipolo simples. O comprimento “d” do condutor, de acordo com a tabela 3-1, determina o canal para o qual está sintonizado. A máxima recepção ocorre na direção perpendicular ao condutor, isto é, na direção perpendicular à folha de papel. Sua impedância característica é de 72 Ohm.)

A antena de meia onda horizontal pode ser considerada como um circuito ressonante e o Q da antena, como o Q de qualquer circuito ressonante, depende da relação da reatância para a resistência. A curva de resposta de freqüência de uma antena de meia onda é bastante similar à de um circuito ressonante comum, formado por indutância e capacitância. A largura da curva de resposta depende do tipo de construção da antena. Quando esta é feita de fio de cobre fino, a antena se comportará como um circuito sintonizada muito seletivo, ou de alto Q. Tal antena funcionaria satisfatoriamente apenas em uma reduzida faixa de freqüências, da mesma forma que o circuito sintonizado altamente seletivo, sinal da antena para a linha, e daí para o televisor. Para que haja esta transferência máxima de sinal (logo máximo rendimento do sistema de antenas), é preciso que sejam iguais a impedância características de antena, linha de descida e receptor.

As vezes, esta impedância característica é chamada também de resistência de radiação (principalmente quando se está trabalhando com transmissores). Na prática, não precisamos medir a impedância característica da antena, mas precisamos ter uma idéia de seu valor. (ver nota figura – Antena dipolo simples.)

Diretividade – Outra característica importante na escolha da antena é sua diretividade. Há antenas que captam o sinal com muito mais intensidade de uma direção apenas; já outras recebem-no com igual intensidade de todas ou quase todas as direções.

Ganho – o ganho é uma característica relativa. Considera-se como básica a antena chamada dipolo simples e os demais referidos. Assim, uma antena dipolo dobrado com refletor, por exemplo, tem um ganho aproximadamente igual a 1,8 vezes o de uma antena dipolo simples, querendo isto dizer que é capaz de captar um sinal 1,8 vezes maior em tensão do que o dipolo simples.



(A) Aparência física. (B) Traçado do diagrama de irradiação.

Na tabela acima, na coluna “d”, vemos o comprimento total do dipolo simples para os diversos canais de TV.

Na realidade, a antena de meia onda tem seu comprimento um pouco menor do que meio comprimento de onda, porque a velocidade de propagação no alumínio em pouco diferente da velocidade no vácuo (ou no ar). Este fator de correção é 0.95, que já foi considerado na tabela como, na coluna “d”.

O tubo é interrompido no meio, e aí é ligado o fio de descida, como pode ser observado na figura acima – Antena dipolo simples.

São as seguintes as características deste tipo de antena:

Freqüência de trabalho de acordo com seu comprimento, como mencionamos acima.

Faixa – a faixa depende do diâmetro do comprimento. Se for apenas usado um fio n°14, por exemplo, cujo diâmetro é reduzido, a faixa fica reduzida a 3 MHz. Sendo usado, por outro lado, um tubo de 3 polegadas de diâmetro, a faixa da antena pode-se alargar para até 50 MHz, dependendo da freqüência para a qual a antena esteja cortada.

Impedância característica – seu valor é de 72 Ohm no centro da antena, na freqüência de trabalho, crescendo em outras freqüências, ou se a ligação for feita mais para fora, isto é, em qualquer ponto intermediário entre o centro e as extremidades.

Diretividade – O dipolo simples apresentará o máximo de recepção na direção perpendicular ao seu tubo de alumínio, para a frente ou para trás, e mínima na direção ao longo deste mesmo elemento.

O diâmetro do tubo de alumínio desta antena deve ser razoavelmente grande, para que seja alcançada a largura de faixa mínima, ao menos, de um canal de TV (6 MHz). Para cobrir mais de um canal, os tubos teriam que ser de diâmetros avantajados e, consequentemente, muito caros. Assim, esta antena é substituída, com vantagem, pelo dipolo dobrado.

Um dipolo ideal é outra antena hipotética que só é usada no estudo de antenas. Pode ser considerado um dipolo de comprimento infinitesimal, com uma distribuição uniforme de corrente. As características teóricas de um dipolo ideal se aproxima das antenas dipolo de baixa corrente.

MODELOS DE RADIAÇÃO

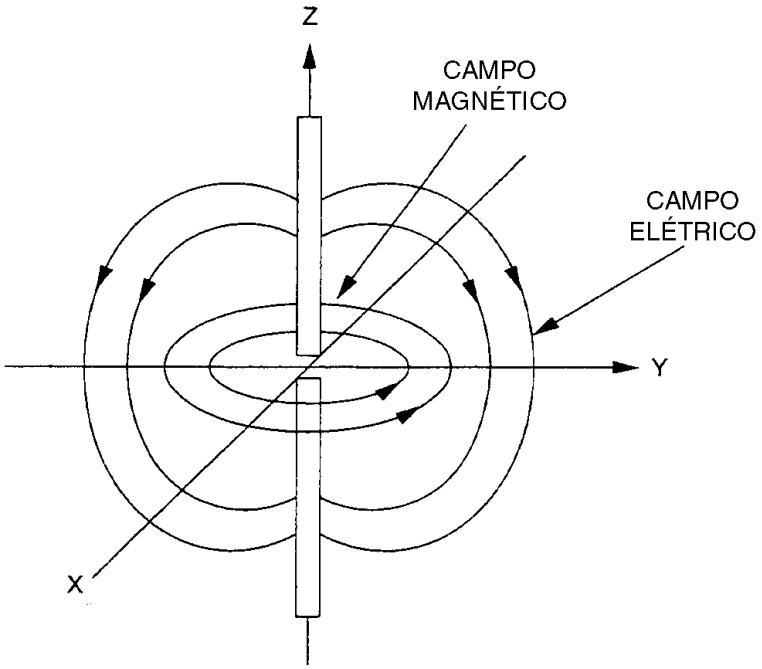
O modelo de radiação é uma figura tridimensional, este modelo é uma representação gráfica das propriedades da propagação de campo magnético de uma antena como uma função do espaço em coordenadas. O campo de propagação é uma região suficientemente distante para que o modelo de radiação seja independente da distância da antena. O modelo de radiação de uma antena particular pode ser medido através de ensaio ou pode ser calculado, se a distribuição de corrente for conhecida.

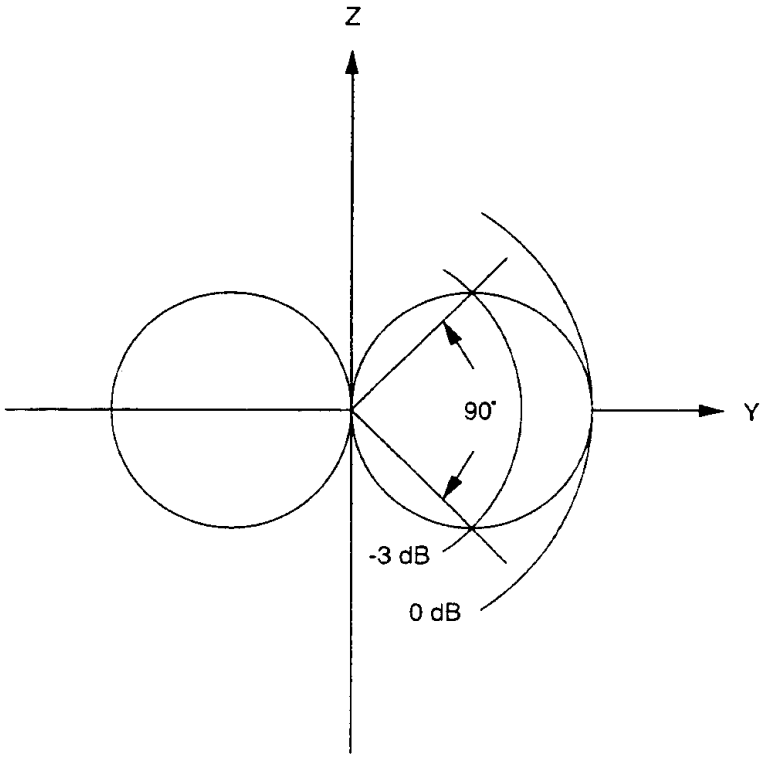
Um modelo de radiação representa a distribuição de energia como uma função da direção de um sinal transmitido pela antena. Indica o nível relativo de potência de transmissão em função da sua direção.

Entretanto, o termo modelo de "radiação" é usado e aplicado só para o recebimento de antenas. O modelo de recepção de uma antena é idêntico ao seu modelo de radiação. Isto é uma regra geral, conhecida como teorema de reciprocidade.

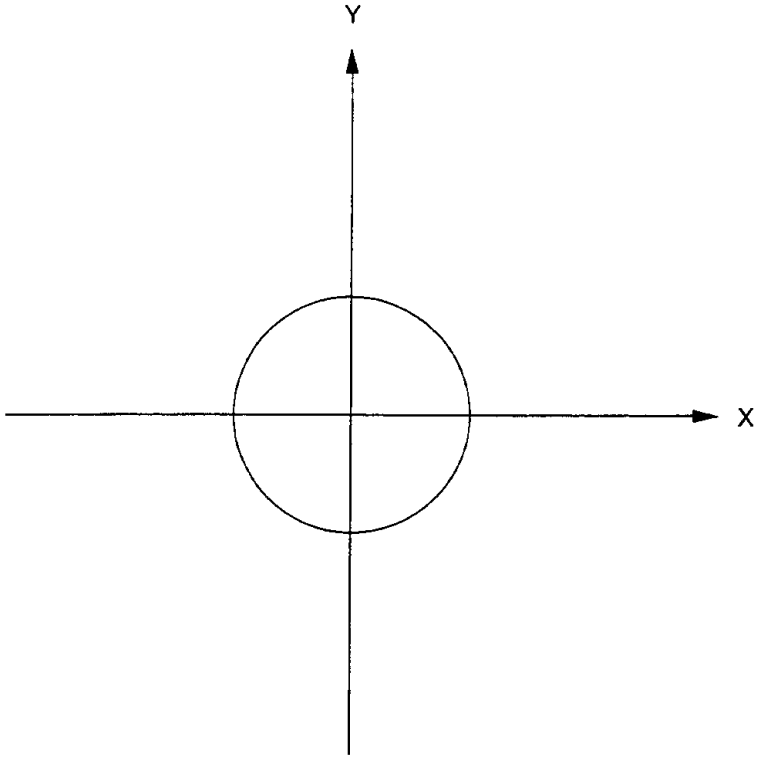
O modelo completo de radiação é uma função tridimensional; dois modelos bidimensionais são normalmente suficientes para caracterizar as propriedades direcionais de uma antena. Na maioria dos casos, os dois modelos de radiação são medidos em planos, que são perpendiculares entre si. Um plano paralelo ao campo elétrico é escolhido como um plano e o plano paralelo ao campo magnético como outro. Os dois planos são chamados de plano-E e de plano-H, respectivamente; ver figura a seguir.

O modelo de radiação em um plano pode ser medido através da rotação da antena naquele plano enquanto medindo o nível de potência recebida em função de orientação da antena. Para obter um modelo válido, o ambiente ao redor não deve conter objetos que possam refletir o sinal de transmissão em direção a antena a ser testada, o que poderia causar erros nos resultados.

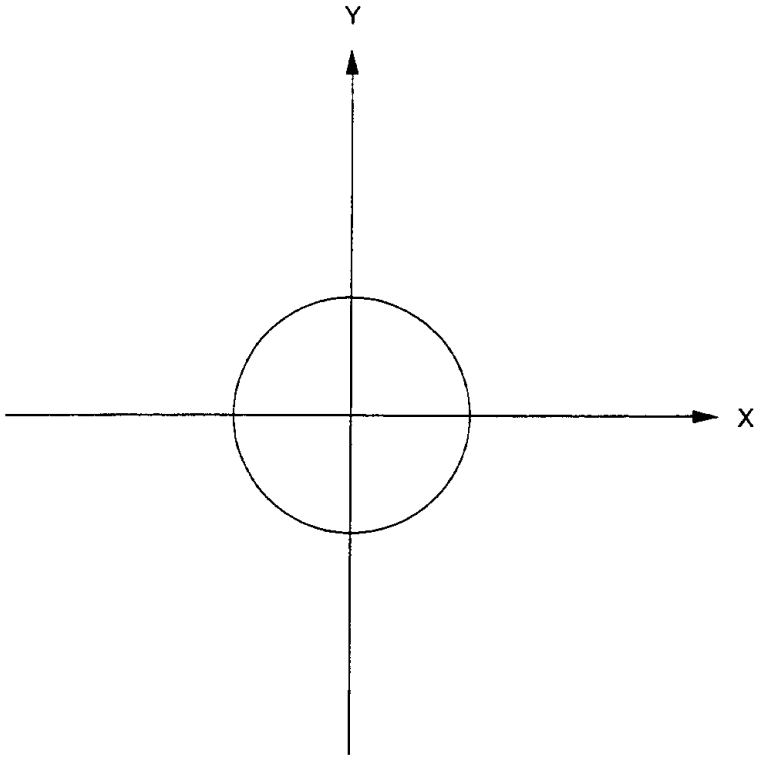




Este modelo mostra que o dipolo ideal é direcional porque a radiação é mais forte em algumas direções do que em outras.



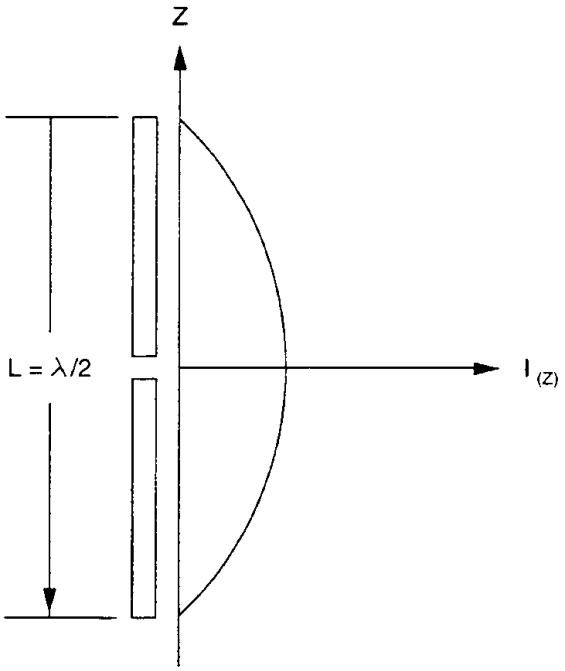
O modelo do plano-H é mostrado na figura a seguir. Neste plano, a radiação é uniforme.



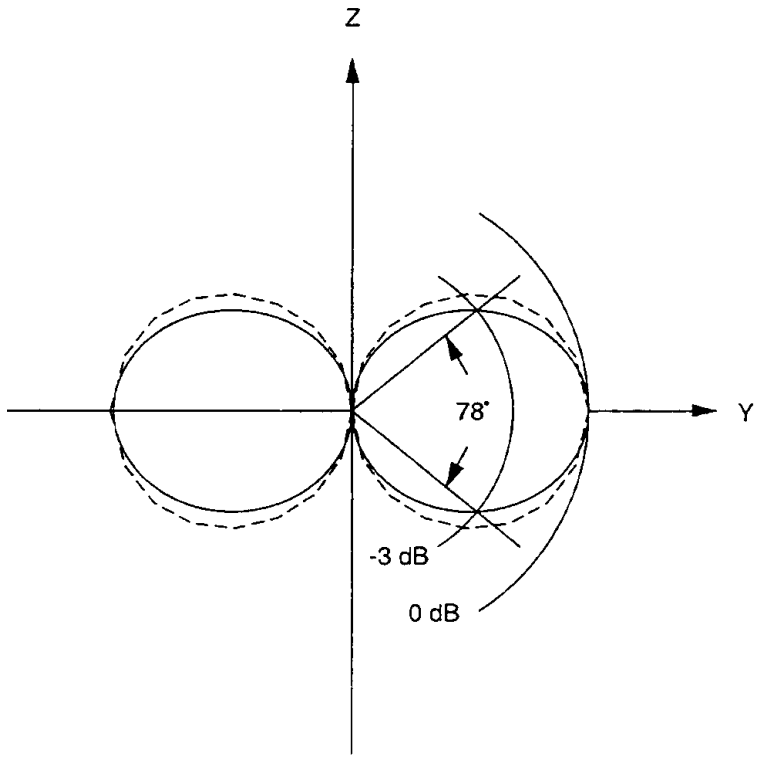
O comprimento do feixe de meia-potência (HPBW) de uma antena é a separação angular dos pontos no raio principal onde a energia é igual a metade (-3 dB) da energia de radiação na direção de energia máxima.

O HPBW de um dipolo ideal de um plano-E é 90°, como indicado na figura no modelo de radiação teórica Plano-E.

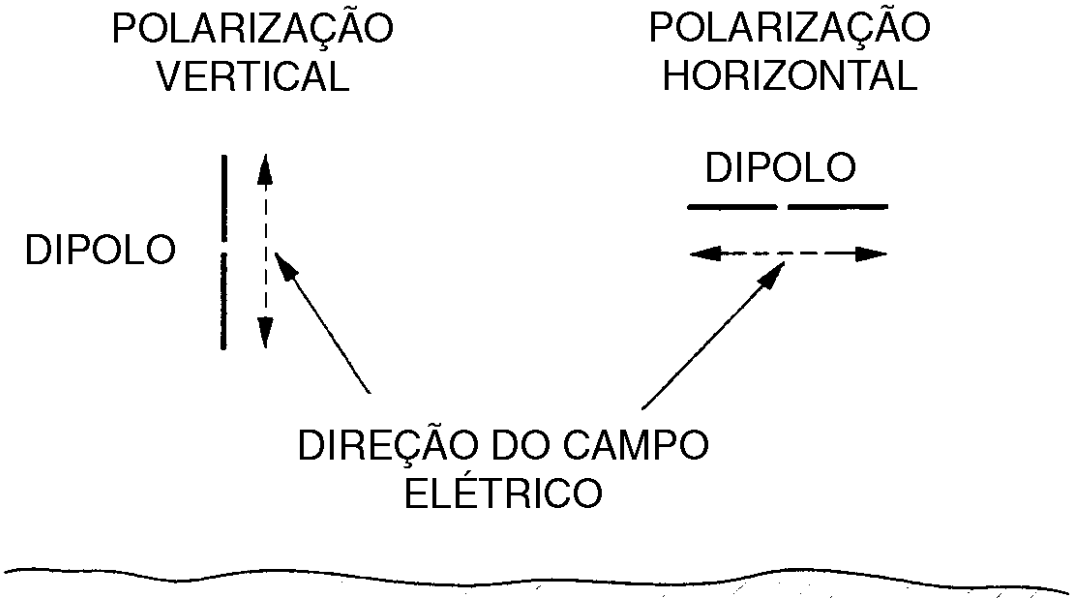
A antena dipolo prática tem um comprimento finito L. Os comprimentos mais comuns são λ, e λ, onde λ é o comprimento das ondas do sinal. A distribuição corrente no dipolo λ tem um formato meio senoidal, como mostrado na figura a seguir. A corrente é maior no centro, chegando a zero no final.



A figura a seguir mostra o modelo de radiação do plano-E para o dipolo λ e o dipolo ideal.



O dipolo λ tem um HPBW de 78 graus no plano E e é, assim, um pouco mais direcional do que o dipolo ideal. A radiação do plano-H para a antena dipolo λ é circular, como na figura de radiação do plano H.

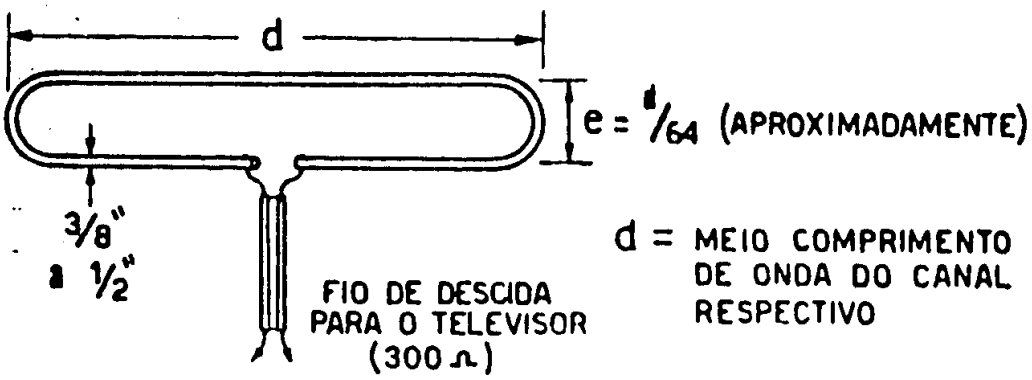


A fim de obter um sinal recebido da mais alta qualidade possível, é importante que a antena de recepção tenha a mesma polarização do sinal que está se recebendo.

Quando ocorre perda de sinal devido a um alinhamento fraco de polarizações (por exemplo, um sinal polarizado verticalmente recebido por uma antena polarizada horizontalmente), falamos em isolação de polarização cruzada.

DIPOLO DOBRADO

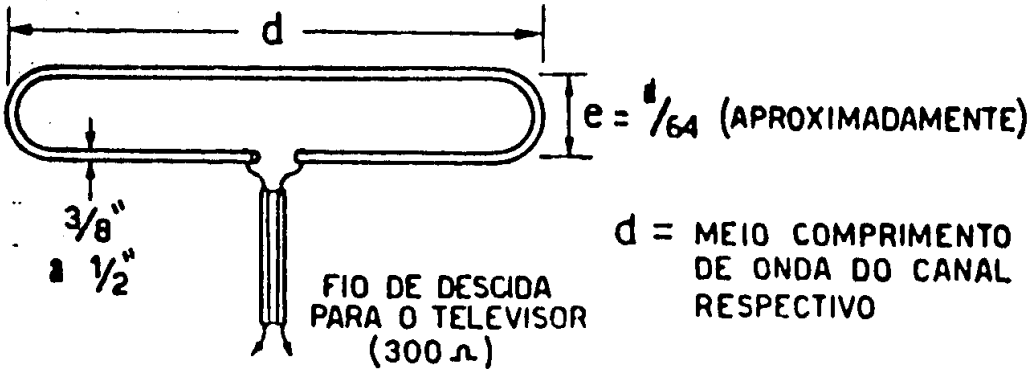
O dipolo dobrado consiste em dois dipolos simples, (condutores) cada um com meio comprimento de onda, em paralelo, ligados pelas extremidades, sendo o fio de descida, ligado no meio do condutor de baixo, como pode ser visto na figura – Antena dipolo dobrado.



Suas características são:

Freqüência de trabalho – de acordo com seu comprimento.

Faixa – o diâmetro efetivo da antena aumenta com a conexão em paralelo, e, em conseqüência, a largura de faixa melhora consideravelmente, alcançando diversos canais de TV.



Impedância característica – seu valor é de 300 Ohm, na freqüência de trabalho, se os dois condutores (superior e inferior do dipolo) tiverem o mesmo diâmetro. É possível aumentarmos a impedância característica, o que será necessário em certos casos, como veremos, fazendo-se os diâmetros dos condutores desiguais. Em princípio, quanto maior a relação dos diâmetros, e menor a distância entre eles, mais cresce a impedância característica. Por outro lado, se for acrescentado um elemento adicional, em paralelo com os outros dois, (ficando assim o dipolo com três condutores), a impedância cresce para 600 Ohm.

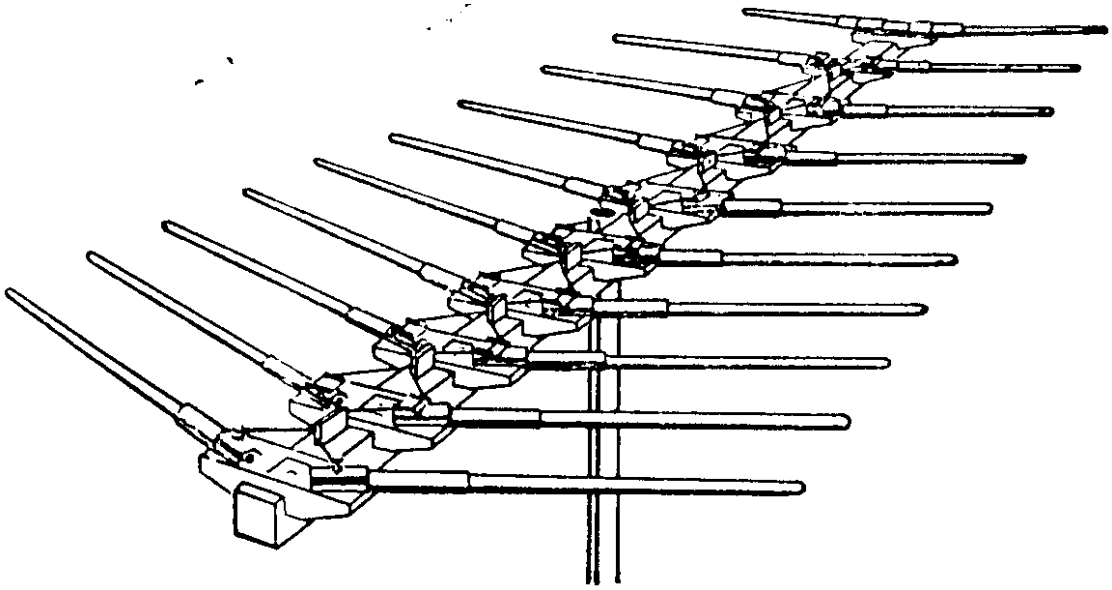
Diretividade – Sensivelmente semelhante à do dipolo simples.

Ganho – Sensivelmente o mesmo do dipolo simples.

Esta antena tem faixa razoavelmente larga. Além disto, como veremos mais tarde, sua impedância característica normal (300 Ohm) torna simples e eficiente o emprego do fio de descida mais comumente usado, o que é o fio duplo paralelo de 300 Ohm. Associada a elementos parasitas chamados refletor e diretores, é possível alterar suas características, formando a chamada Antena Yagi.

ANTENA "ESPINHA-DE-PEIXE"

Trata-se de uma antena de elementos ativos, dipolos simples, dispostos em um eixo isolado, e ligados em paralelo, de forma semelhante ao da antena "compactrom". Também é de baixa impedância e faixa larga, destinando-se a locais de sinal forte, com muitas estações, todas na mesma direção (ver figura – Antena "espinha-de-peixe").



A ANTENA LOG-PERIÓDICA

A antena log- periódica, é um projeto recente difundido no Brasil pela fábrica L. Caselli, sendo constituída de dois painéis, consistindo cada um em diversos elementos de comprimentos diferentes, dispostos em uma ordem "logarítmica", donde seu nome de batismo. Apresenta características úteis e interessantes:

Freqüência de trabalho e faixa – a faixa é extremamente larga, podendo, de acordo com seu desenho, cobrir toda a faixa de TV, desde o canal 2 até o canal 13, com ganho aproximadamente uniforme. A dimensão do menor elemento determina a freqüência mais alta coberta, e a do maior elemento a mais baixa freqüência. (Esta antena, com dimensões diferentes das aqui

apresentadas, vêm tendo emprego cada vez maior nas estações de radiocomunicações comerciais e governamentais, na faixa de ondas curtas.)

Impedância característica – cerca de 150 Ohm, em toda a faixa. Esta impedância permite seja a antena ligada diretamente quer à linha de descida comum paralela de 30 Ohm, quer ao cabo coaxial RG59/U, em ambos os casos acarretando um descasamento de 2:1, o que é aceitável, pois a perda daí decorrente é relativamente pequena.

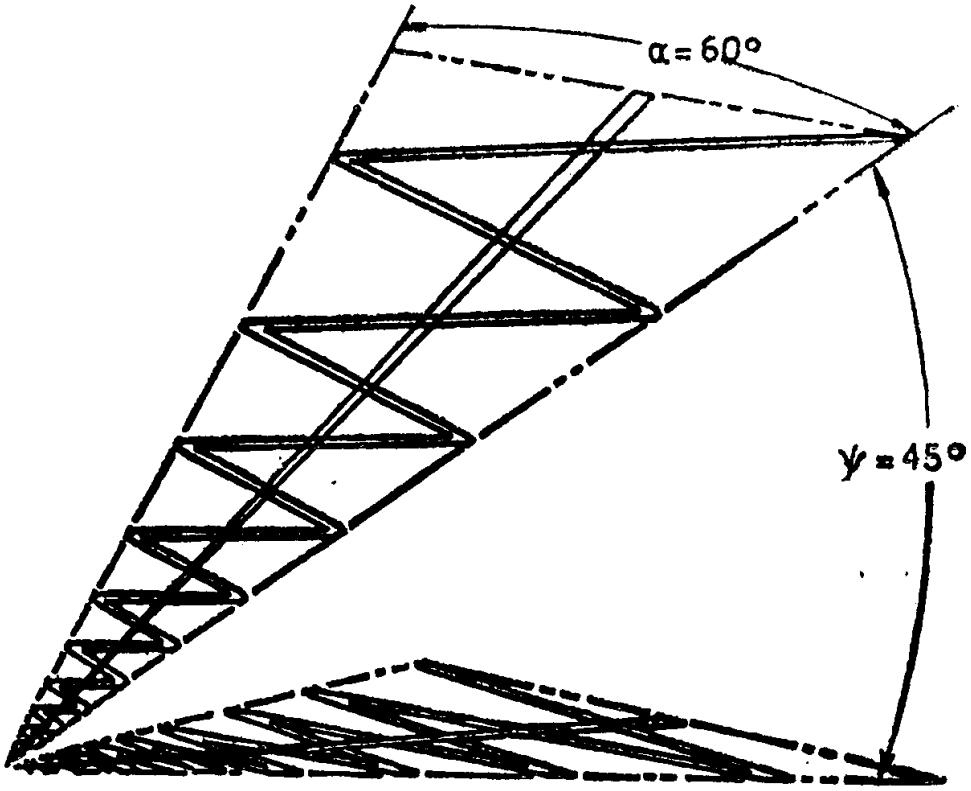
Diretividade – É uma antena com diretividade razoável: recebe sinais dentro de 30° para cada lado de seu eixo, com uma perda no máximo de 50%. Em outras palavras, se estiver apontada não para a estação transmissora mas sim para uma direção dela divergente no máximo 30° para qualquer lado, o sinal irá ser captado no máximo 50% menor do que seria se a antena estivesse corretamente apontada. Este ângulo de 30° é vantajoso, porque permite, quando for o caso, que se aponte a antena para a direção geral onde estão situadas todas as estações transmissoras.

Ganho – Em cada canal esta antena fornece um sinal equivalente ao de uma Antena Yagi de 3 a 5 elementos daquele canal, isto é, cerca de 2,5 a 3 vezes maior que o de um dipolo sintonizado de meia onda, que é a antena usada como referência.

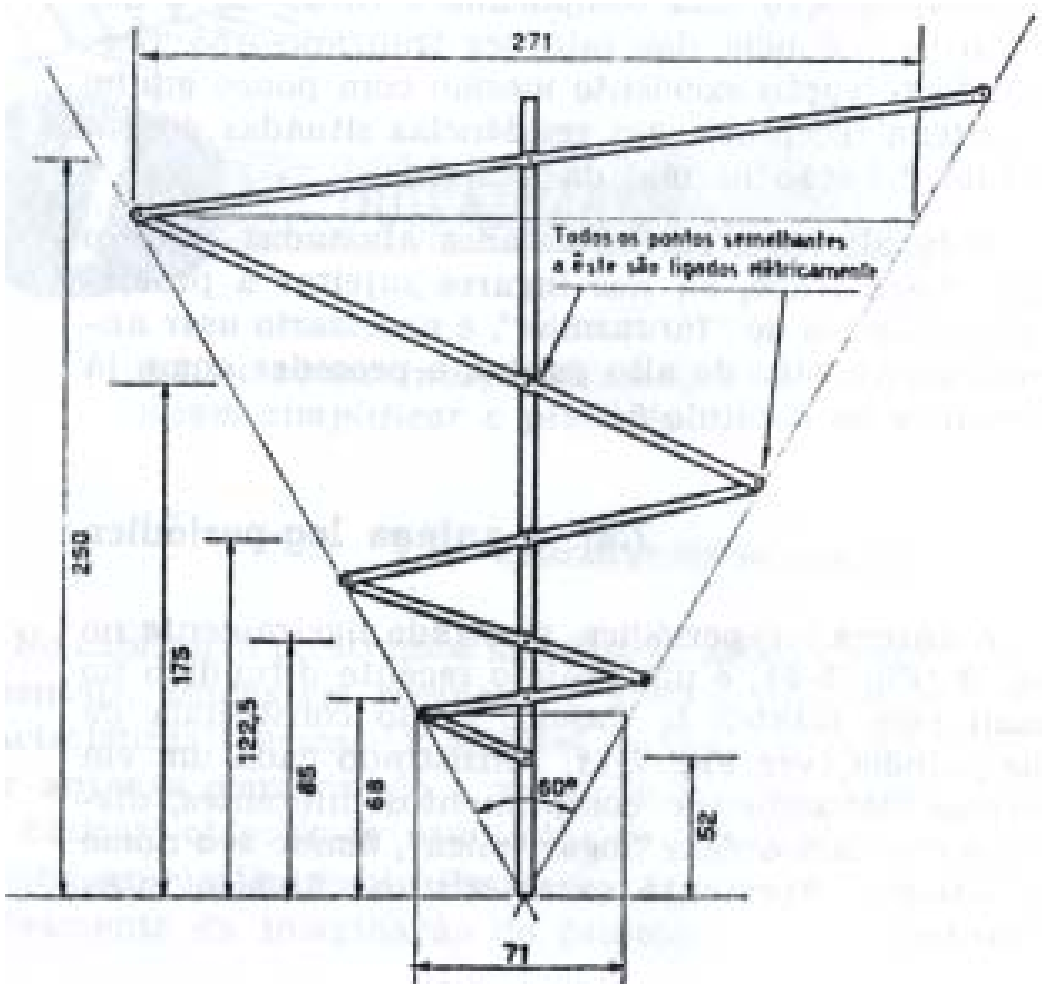
Emprego – Trata-se de uma antena de faixa larga e ganho médio, mas de tamanho relativamente grande. Destina-se a zonas de sinal médio, em que haja espaço suficiente para sua instalação, e em que as estações estejam todas aproximadamente na mesma direção. Podem ser colocadas em locais onde não haja problemas especiais de recepção, situados até a 100 Km das estações transmissoras, desde que estas tenham potência razoável.

CONSTRUÇÃO

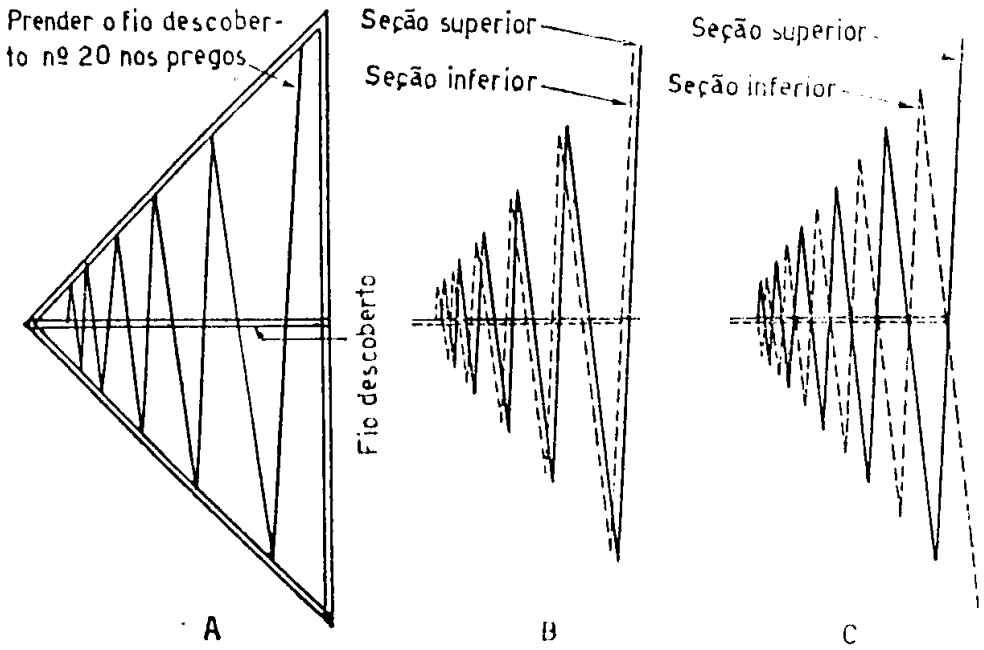
Esta antena consiste em 2 painéis independentes, em forma geral de trapézio, um superior e outro inferior, inteiramente independentes, formando entre si um ângulo de 45°.



Cada painel é constituído de um elemento central condutor e de elementos transversais também condutores. O elemento central poderá ser uma cantoneira de alumínio de seção quadrada de ¾" de lado, e os elementos transversais tubos de alumínio ocos de ½" de diâmetro, com as pontas amassadas e furadas, para serem fixados uns nos outros por parafusos de latão, tudo de acordo com o desenho, que indica todas as dimensões. Os elementos transversais devem ter bom contato elétrico entre si e com o elemento central, em cujo extremo deve ser instalado um parafuso com terminal para o fio de descida.



Esta antena pode ser de construção caseira. Neste caso, ao invés de usar tubos e cantoneiras de alumínio para os elementos condutores, pode ser usado fio nu AWG nº 20 ou mais grosso, em uma armação de madeira, com pregos, para dar ao painel a forma geral da figura (A) Armação de Madeira. Cada uma das armações pode ser confeccionada com sarrafos de madeira de lei (para suportar intempéries) de 12x12 mm, colados e pregados para maior firmeza. Depois, são fixados pregos de cobre nas traves externas e na central, de acordo com o desenho, e finalmente é estendido o fio, começando pelo vértice, e passando de prego em prego. Outro fio corre ao longo do suporte central, desde o vértice até o prego que será cruzado pelo maior elemento. Os fios devem ser soldados a cada prego do conjunto. As dimensões a serem obedecidas são as da figura – Painel de uma antena log-periódica.



Uma vez feitos os dois painéis, devem ser montados com o zigue-zague invertido um em relação ao outro (observar a figura B – As duas seções superpostas são idênticas – e C – As duas seções invertidas, posição em que devem ser montadas) reunidos pelos vértices (mas sem se encontrarem), e formando um ângulo de 45°, o que também é obtido por meio de sarrafos de madeira que devem no conjunto, constituir uma armação sólida e rígida.

INSTALAÇÃO

A antena log-periódica é instalada com o vértice voltado para a direção geral das estações transmissoras. Os fios de descida são ligados um em cada vértice voltado para a direção geral das estações transmissoras. Pode ser usado fio de 300 Ohm ou cabo coaxial RG59/U de 75 Ohm.

Esta antena pode ser colocada no telhado, exigindo uma boa estrutura de base, e provavelmente esta para evitar que fique balançando com o vento, ou pode ser instalada em um sótão, onde sua fixação será bem mais simples.

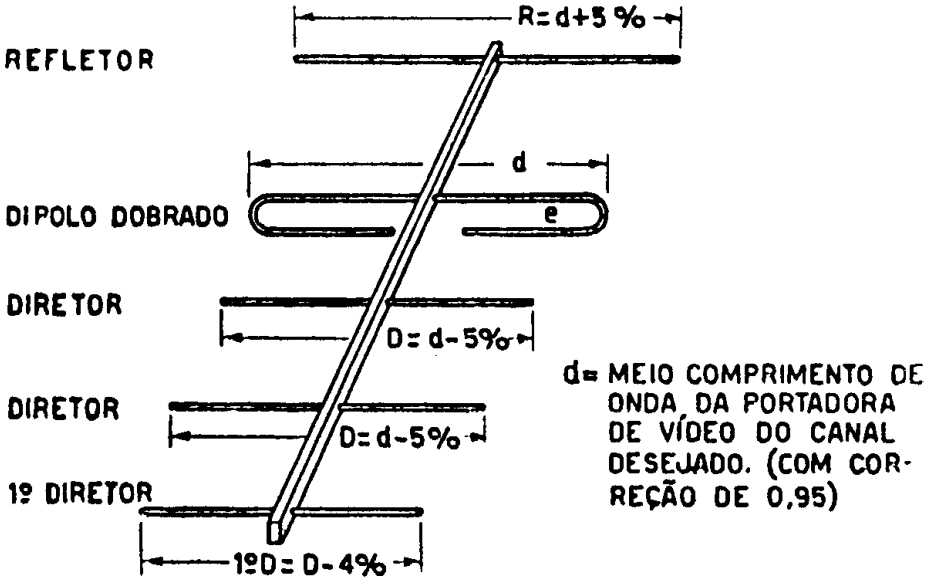
ANTENA YAGI

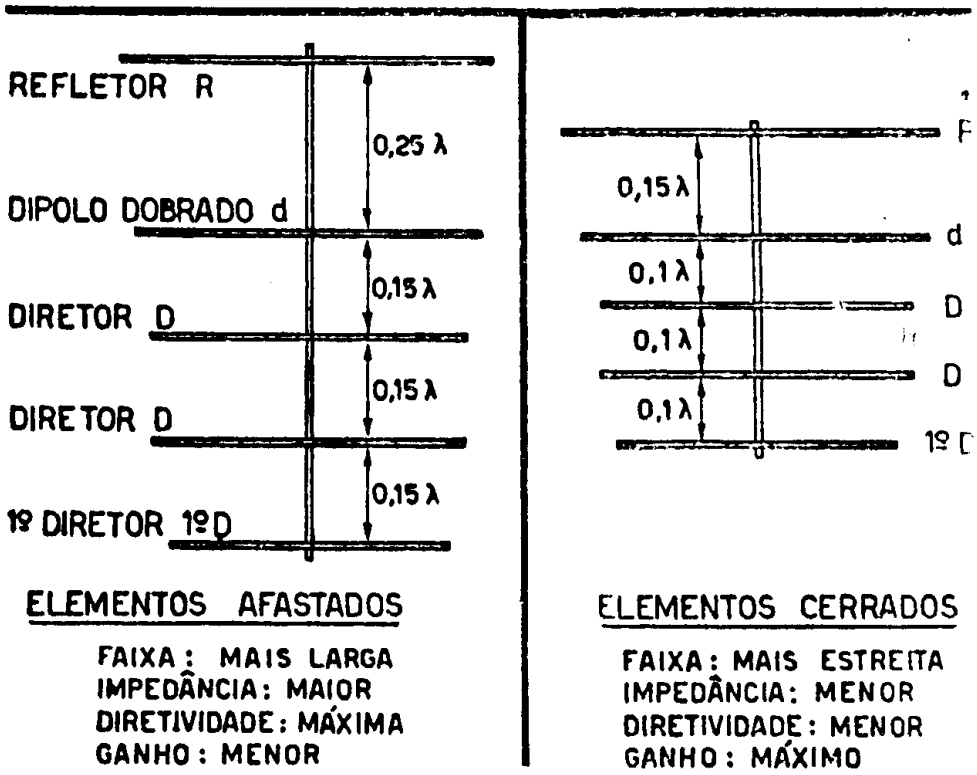
Em geral, é conhecida como Antena Yagi, por ter sido esta antena criada pelo físico japonês Hidetsugu Yagi.

A Antena Yagi é constituída de 3 elementos cerrados, ou a de 5 elementos afastados, sem compensação, tem uma impedância de cerca de 50 Ohm e, usando-se tubos de alumínio de ½" ou ¾", sua faixa é suficientemente larga para retransmitir o sinal em uma dada direção, com transmissores de pequena potência, com impedância de saída de 52 Ohm. Poderá ser usada com cabo coaxial RG8/U, cuja impedância é de 52 Ohm, de preço acessível e perda de 2 dB/30 m em 100 MHz. É aconselhável usar um "balun" na antena.

Em princípio, usam-se dois tipos de afastamento entre os dois elementos parasitas e o duplo dipolo, conforme podemos melhor observar nas figuras Antenas Yagi comum de 5 elementos partes B e C.

Suas características dependem, naturalmente, do número de elementos e do afastamento entre eles. (ver Tabela Antenas Yagi comum de 5 elementos)



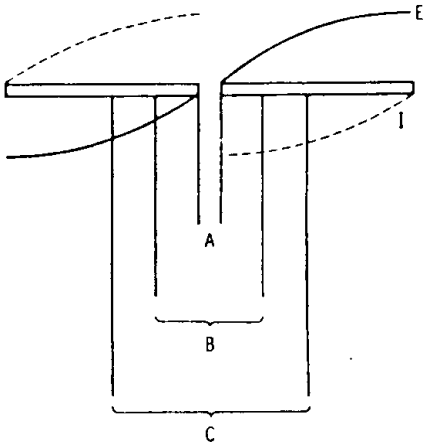


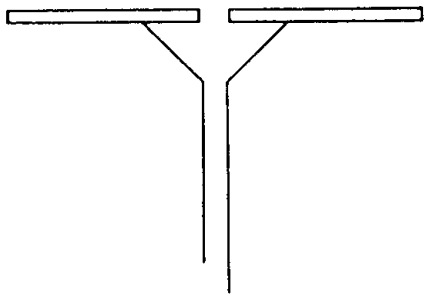
Freqüência de trabalho – De acordo com o comprimento do duplo dipolo.

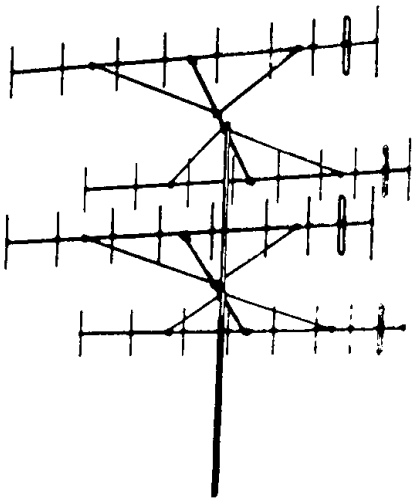
Faixa – a Antena Yagi apresenta uma faixa de operação mais estreita do que o duplo dipolo. Quanto maior o número de elementos, mais estreita a faixa. Acima de três elementos (refletor, dipolo dobrado e diretor) só é aconselhável para um canal, salvo se o outro (ou os outros) forem muito mais fortes. No Rio, em que o canal 9 entra, e geral, com um sinal muito mais forte que o 13, é freqüente estar sendo usada a antena da TV-Rio (13) para a Continental (9). Mesmo quando a antena TV-Rio é de 5 elementos, ou mais, ainda assim o sinal é captado por aquele antena. Na Tabela – Antenas Yagi comum de 5 elementos, resumimos as relações entre o número de elementos, faixa e outras características. Quanto menor o afastamento entre os elementos, também mais estreita será a faixa. Assim, a antena da figura parte C terá uma faixa mais estreita que a da figura parte B.

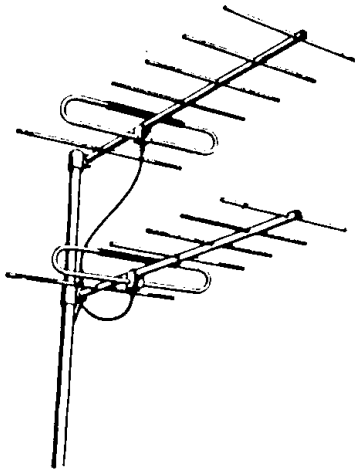
Impedância Característica – cada novo elemento parasita que é acrescentado à antena reduz a impedância característica do dipolo dobrado. Quanto menor o afastamento, mais esta redução se faz sentir, conforme também é possível ser visto na tabela 3-3, para os diversos tipos de yagi. Para compensar esta redução, de forma a manter a impedância total da antena de 300 Ohm (que é o valor fácil de ser empregado), a solução é aumentarmos a impedância original do dipolo dobrado (aumentando-se o diâmetro do condutor superior do dipolo dobrado, levantamos a sua impedância, conforme vemos na figura 3-4A). assim, por exemplo, se a impedância total de uma antena ficar reduzida de 30 vezes em relação à impedância do dipolo dobrado devido ao acréscimo de elementos parasitas (yagi de 8 elementos cerrados, como na fig. 3-5), então é preciso, para compensar esta redução, multiplicarmos por 30 a impedância do dipolo dobrado. Para isto fazemos o diâmetro do condutor de acima de 1½”, maior, portanto, do que o diâmetro do condutor inferior (3/8”). Assim, o dipolo dobrado ficará com 9.000 Ohm de impedância, e a Antena Yagi com 9.000:30 ou seja, 300 Ohm de impedância, que é a desejada. Na tabela – Como elevar a impedância do dipolo dobrado –, fornecemos os dados para efetuar esta correção de impedância, elevando-a para 300 Ohm, com as Antenas Yagi desde 2 elementos até 10 elementos, cerrados ou afastados.

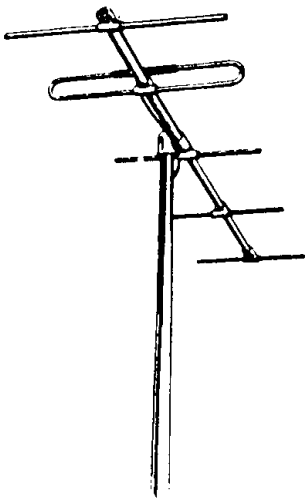
Conforme veremos mais tarde, esta impedância de 300 Ohm é o ideal para a melhor transferência do sistema captado pela antena para a linha de descida mais freqüentemente usada. Entretanto, erros de até 50% não chegam a ser demasiadamente prejudiciais. Consequentemente, é comum vermos Antenas Yagi de 3 elementos, e mesmo de 5 elementos (refletor, dipolo dobrado e 3 diretores), sem a compensação de diâmetros nos condutores do dipolo dobrado. Embora não sejam tecnicamente corretas, funcionam razoavelmente. É vantajoso, entretanto, se o problema for de sinal de fraco (onde justamente se as yagis de maior número de elementos, que são as que dão maior ganho), que acima de 3 elementos sejam usadas antenas com correção de impedância (diâmetros diferentes no dipolo). Acima de 5 elementos é imprescindível esta correção. Existem no comércio antenas com esta correção. Custam mais caro, mas compensam largamente, pois permitem o máximo de transferência de sinal da antena para a linha, sem perdas. O técnico instalador não irá fabricar antenas, mas deverá saber escolhê-las de acordo com seu problema específico e, se for habilidoso, poderá modificar suas antenas, para corrigir sua impedância, usando os dados fornecidos na tabela – Como elevar a impedância do dipolo dobrado.

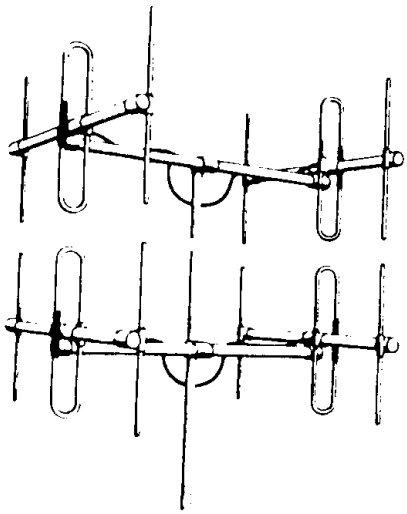

E
I
A
B
C











Diretividade – Quanto maior for o número de elementos, mais diretiva é a antena. Ao contrário do que ocorre com o ganho, quanto mais afastados os elementos dentro de determinados limites) mais diretiva a antena. Assim, a antena tipo figura – Antenas Yagi comum de 5 elementos parte B, tem seus afastamentos calculados para máxima diretividade. Também a tabela acima citada analisa esta característica da antena, em função do número de elementos e afastamento.

Ganho – Quanto maior o número de elementos, maior o ganho, à custa da faixa mais estreita. Ao contrário do que ocorre com a diretividade, os elementos devem ficar mais aproximados para proporcionar maior ganho, dentro de determinados limites. Assim, a antena da fig. Citada parte C tem seus afastamentos calculados para máximo ganho. Também a mesma tabela ilustra o aumento de ganho, em relação ao dipolo dobrado, proporcionando pelo aumento do número de elementos. A prática vem demonstrando que acima de 8 a 10 elementos não há aumento apreciável de ganho, ou de diretividade, com acréscimo de novos elementos. Há outros recursos, neste caso, se o sinal captado ainda for muito fraco, como veremos em capítulo posterior. O que é importante compreender, neste ponto, é que o aumento de ganho, proporcionado pelo acréscimo de elementos, será desperdiçado, se não for feita a correção de impedância (que se reduz devido àquele acréscimo de elementos), correção está que permitirá que todo o sinal captado pela antena seja transferido para a linha de transmissão. É pouco inteligente, se o problema for sinal fraco, usar uma antena de 8 ou 10 elementos, sem correção de impedância, com uma linha de descida paralela de 300 Ohm. A maior parte do sinal será desperdiçado, e não transferido devidamente da antena para o fio.

Este fato justifica, também por que motivo uma determinada marca de antenas que usa elementos afastados, existente no comércio (vendida, aliás, a preços bastante altos), apresenta maior ganho do que outras de elementos cerrados, conforme alguns dos leitores já terão podido observar. Pelo que estabelecemos no início deste parágrafo, e na tabela – Antenas Yagi comum de 5 elementos –, o ganho da antena com elementos cerrados devia ser maior. Aquela antena, entretanto, usa uma correção de impedância do tipo da figura – Como elevar a impedância do dipolo dobrado – parte B, o que proporciona um melhor casamento da antena com a linha. Assim, embora seu ganho original seja menor que o da antena de elementos cerrados, ela transfere quase tudo que recebe para a linha, enquanto as antena de elementos cerrados normais, sem compensação, devido à baixa impedância, acarretam uma perda de sinal ao ser este transferido para a linha. Evidentemente, se as antenas de elementos cerrados usassem dipolos com condutores diferentes (como nas figs). Como elevar a impedância do dipolo dobrado parte A e fig. Yagi de alto ganho, de 8 elementos, para o canal 13, com impedância corrigida para 300 Ohm), de acordo com os dados da tabelas Antenas Yagi comum de 5 elementos e Como elevar a impedância do dipolo dobrado, teriam sua impedância corrigida, não haveria perda naquela ligação da antena com a linha, e o ganho seria maior do que o proporcionado pela antena mencionada (que tem elementos afastados).

Estamos insistindo neste ponto porque a maioria das antenas instaladas no Rio, São Paulo, Belo Horizonte e outras cidades, não tem correção de impedância, constituindo, portanto, esta prática, um dos erros mais comuns de nossos instaladores. É possível obtermos melhores resultados com uma antena de 5 elementos com impedância correta (devido à correção) do que com outra de 10 elementos sem correção, cuja impedância cai às vezes para menos de 10 Ohm.

A Antena Yagi, não sem razão, é a mais usada atualmente na recepção de TV. Oferece um preço razoável, é de fácil instalação, proporciona ganho considerável e boa diretividade. Ocupa pequeno espaço no telhado, podendo ser montada em um eletroduto. Sua impedância característica, devidamente corrigida, adapta-se bem à linha de descida mais usada, que é a de dois fixos

paralelos de 300 Ohm. Sua maior deficiência é a faixa estreita, que normalmente alcança um canal (ou, eventualmente, os adjacentes).

A Antena Yagi é, portanto, uma ótima antena, cujas características o técnico deve conhecer muito bem. Seu emprego não pode, entretanto, ser indiscriminado. Para obter dela o máximo, é preciso conhecer suas características e usar e usar o tipo adequado para o problema específico a ser resolvido, como veremos nos capítulos que se seguem.

ANTENAS PARA FREQÜÊNCIAS MUITO BAIXAS (VLF)

As antenas destinadas ao uso nas faixas de freqüências muito baixas (VLF, de 10 a 30 KHz) são muito complexas por causa do enorme comprimento de onda dos sinais nesta faixa. Um bom exemplo é a antena da marinha do Estados Unidos, instalada em Cutler, Maine. O transmissor, que cobre uma faixa de 14 a 30 KHz, é usado para comunicações de longo alcance com navios e submarinos. A marinha adotou esta freqüência por causa das vantagens da faixa de VLF, no que diz respeito à propagação. A informação transmitida a submarinos submersos tem que ser irradiada com portadora de freqüência muito baixa porque somente estes sinais penetram o suficiente na água salgada. Uma portadora em VLF oferece uma outra vantagem: ela se propaga principalmente ao longo da curvatura da Terra, sem reflexões pela ionosfera. Isto elimina as áreas em que não há recepção, chamadas zonas de silêncio, que ocorrem nas freqüências mais altas, em conseqüência das reflexões na ionosfera. A absorção terrestre, que aumenta com a freqüência, apresenta-se mínima nesta faixa de freqüências.

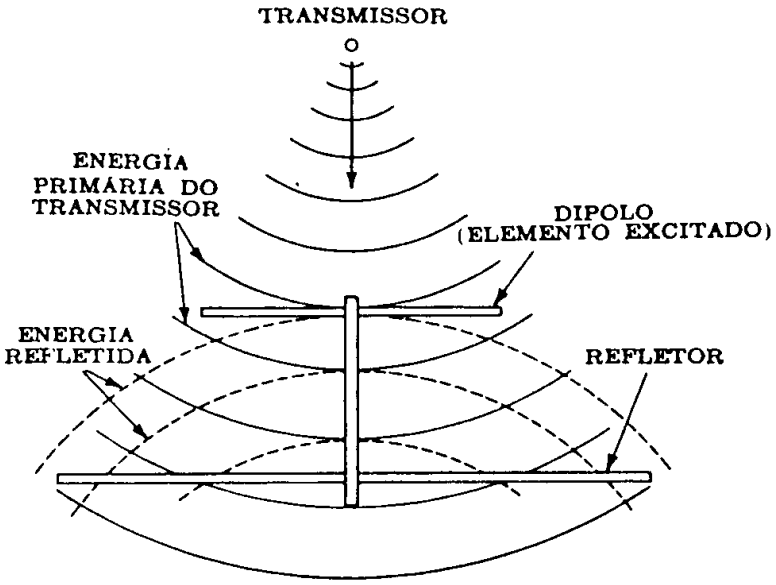
Os conjuntos de antenas do sistema mencionado acima assemelham-se a uma gigantesca teia de aranha estendida no céu. A antena pode ser visualizada como um enorme capacitor; a teia de fios forma uma placa do capacitor e uma rede de fios colocada na terra para reduzir as perdas forma a Segunda placa do capacitor. Os fios de terra se estendem para o oceano a fim de formar um melhor condutor. Ambas as teias que constituem as placas do capacitor cobrem uma área de mais de cinco quilômetros quadrados. A península em que o transmissor está instalado, como uma superfície de mais de dez quilômetros quadrados, está inteiramente tomada por um sistema de malha de terra, que utiliza cerca de 3.500.000 metros de fio de cobre número 6. O sistema de antena consiste em dois conjuntos em forma de estrela de seis pontas, cada qual formado por seis painéis em forma de losango, com oito cabos cada um. Os seis losangos são suportados por uma torre central de quase 300 metros de altura, seis torres interiores de 267 metros e seis torres exteriores de 244 metros – um total de 26 torres para os dois conjuntos. As estruturas foram projetadas para resistir a ventos com velocidade de até 192 Km/h. A distância entre duas pontas opostas de cada estrela é de 1859 metros, de modo que os dois conjuntos abrangem uma largura de quase dois quilômetros e um comprimento superior a três quilômetros.

O sistema de terra tem como finalidade coletar as fortes correntes espaciais que se desenvolvem sob o sistema de antena, e a maior concentração de fios se verifica diretamente abaixo dos painéis da antena. Nesta área de maior concentração há seis fios radiais por grau. Existem fios coletores que se estendem radialmente para o centro de cada conjunto, enquanto outros se estendem para a linha litorânea, onde existe um fio de união periférico. Há 446 terminais marítimos, de onde partem cabos para o oceano, abaixo dos níveis de maré baixa. Cada terminal marítimo termina na praia, em um cilindro de concreto, onde sua corrente pode ser medida para verificar se está intacto após a ocorrência de tempestades. Os dois conjuntos do sistema de antenas são excitados em dois pontos de alimentação separados, um ao norte outro ao sul do edifício do transmissor, a uma distância de quase um quilômetro.

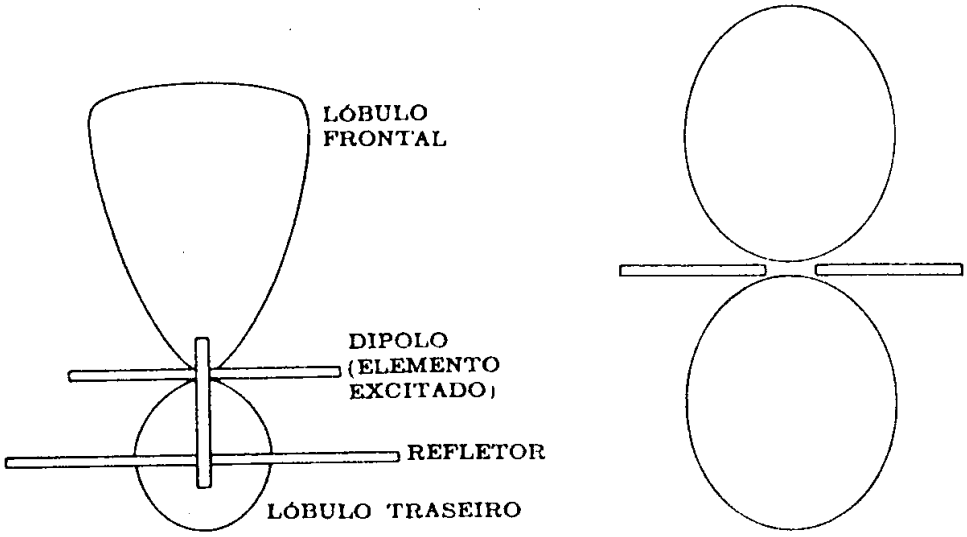
Os equipamentos em cada uma das duas construções destinadas à alimentação do sistema de antena são idênticos. A antena é sintonizada por uma bobina helicoidal com mais de 12 metros de altura, sendo o diâmetro do enrolamento de aproximadamente 5,5 m. a estrutura que suporta a hélice tem aproximadamente 8 m de diâmetro e o seu teto fica a 21 m de altura. A hélice é enrolada em duas seções de cinco espiras, quatro espiras, duas espiras e uma espira. Isto permite fazer conexões, no painel de ligações, para variar a freqüência entre 14 e 30 KHz. Em série com a hélice há um variômetro de 6 metros de altura, com um estator de 3,7 m de diâmetro e um rotor de 3 m de diâmetro. O variômetro é usado para o ajuste fino da sintonia e para compensar as variações nas condições do sistema de antena.

REFLETOR

Quando um elemento parasita (também chamado antena secundária ou auxiliar) é colocado aproximadamente a 0,15 de comprimento da onda, atrás do elemento excitado (em relação à direção de onde vem o sinal) e tem um comprimento aproximadamente 5% maior que o do elemento excitado, este elemento parasita tem o nome de refletor. Na figura – Efeito do refletor sobre o campo de irradiação –, mostra-se o efeito de um refletor sobre um campo de irradiação que por ele passa. As frentes de onda são vistas, cortando primeiro o dipolo excitado e atingindo em seguida o refletor. Estas frentes de onda estão representadas por linhas cheias. As ondas representadas em linha tracejada mostram a ação do refletor. As correntes de sinal são induzidas no refletor da mesma maneira como o são no polo, mas como o refletor não está ligado a uma carga resistiva, a maior parte da energia das correntes induzidas no refletor é novamente irradiada. Devido ao espaçamento entre o refletor e o dipolo a energia reirradiada, ou secundária, retorna ao dipolo em fase com a energia primária que vem do transmissor. A energia refletida induz assim correntes no dipolo e estas correntes se somam com as que são induzidas pelo sinal primário. O conjunto assim formado proporciona então um gancho, ou um aumento na captação de sinal em relação ao que seria captado pelo dipolo sozinho. Um refletor também é usado por seus efeitos direcionais, pois os sinais que chegam por trás, ou seja, pelo lado do refletor, estarão fora de fase ao chegarem ao dipolo e desse modo enfraquecerão as correntes induzidas no dipolo por este sinal.



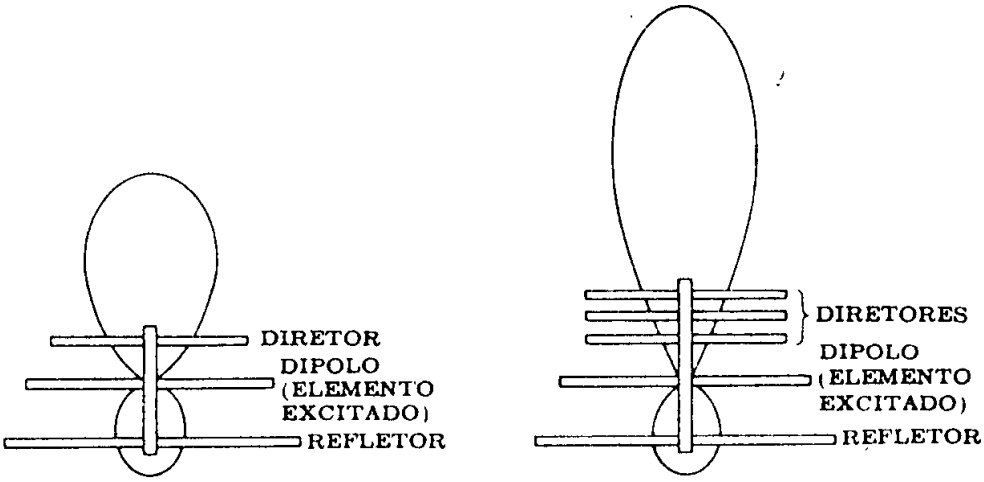
A combinação dipolo-refletor produz um diagrama polar semelhante ao que se vê na figura – Diagrama de um dipolo com refletor, comparado com o de um dipolo comum (parte A). Para fins de comparação, vê-se nesta mesma figura (parte B), o diagrama típico, em forma de oito, do dipolo padrão de meia onda. Como se pode notar, o lóbulo frontal foi um tanto alongado e estreitado, indicando um aumento da captação de sinal na direção frontal e, ao mesmo tempo, uma melhoria nas características direcionais da antena. Além disso, a resposta aos sinais vindos de trás foi consideravelmente reduzida, como mostra o lóbulo traseiro.



(A) Dipolo com refletor. (B) Dipolo padrão.

A intensidade com que são captados os sinais pela frente, em comparação com os que vêm pela retaguarda, constitui também uma especificação de uma antena, muito importante em certos tipos de comunicação por ondas de rádio (relação frente-trás).

Diretor – O outro tipo de elemento parasita é o diretor. O diretor é geralmente colocado à frente do elemento excitado, a uma distância de 0,1 comprimento de onda deste e dimensionado 5% mais curto do que o elemento excitado. Ele contribui para intensificar as correntes de sinal no elemento principal, de modo muito semelhante ao do refletor. Seu efeito principal, contudo consiste em estreitar o diagrama direcional em sua parte frontal. A adição de mais diretores aumenta apenas ligeiramente o ganho, mas estreita consideravelmente o lóbulo frontal. A figura Efeito de diretores adicionais sobre o diagrama direcional –, ilustra a diferença entre os diagramas polares de um conjunto com apenas um diretor de um outro com três diretores.



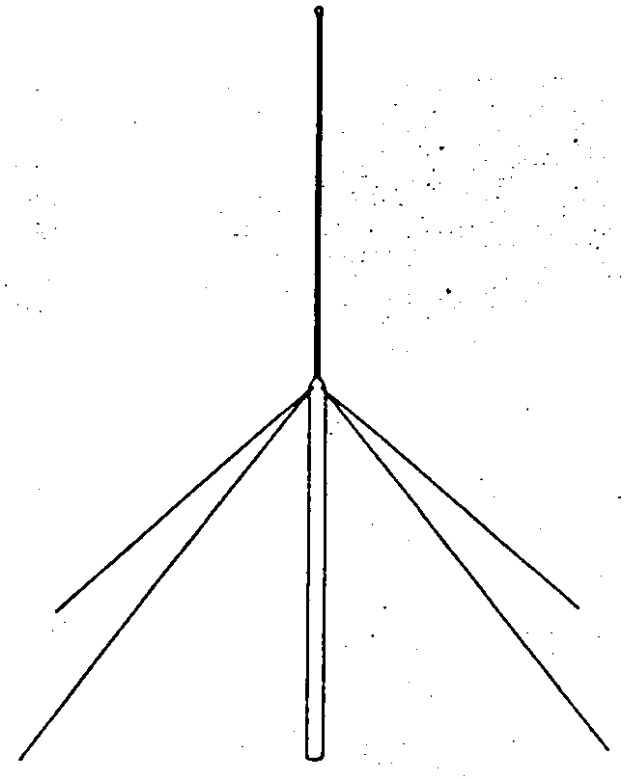
(A) Um diretor. (B) Três diretores.

ANTENAS PARA ESTAÇÕES COMERCIAIS

Os sistemas de comunicações pelo rádio são muito usados para fins comerciais. A confiabilidade desses sistemas depende da eficiência global das antenas, tanto da estação base como das unidades móveis. O diagrama de irradiação da estação base é de grande importância, pois os sinais devem ser transmitidos e recebidos não só em áreas densamente povoadas como também em áreas mais isoladas como as suburbanas e rurais. A figura – Os três diagramas de irradiação mais comumente usados, mostra os três básicos mais comumente usados. As antenas devem ser construídas de modo que o seu diagrama de irradiação seja o mais adequado para cobrir a área de interesse, enviando o máximo de energia para onde ela é mais necessária. Por exemplo, se a estação transmissora estiver situada em uma colina, proporcionará a melhor cobertura. Por outro lado, se a antena está no topo de um edifício, no centro da cidade, o diagrama onidirecional será o mais indicado.

As antenas para as faixas de freqüências entre 25 e 450 MHz devem ficar tão altas, em relação ao solo, quanto for praticamente possível, por causa da limitação de alcance da chamada transmissão e recepção na linha de visão. Será preciso usar uma terra artificial. No caso da estação móvel, a terra artificial, conhecida como plano de terra, será constituída pela própria capota ou estrutura metálica da viatura. Nas instalações em torres, deve-se dispor dos meios para a construção de um plano de terra e ao mesmo tempo para isolar as antenas dos efeitos da linha de transmissão e da torre.

Um tipo básico de antena com plano de terra aparece na figura – Antena com plano de terra básica. O elemento irradiante é uma vertical de um quarto de onda. Abaixo do irradiador foram instaladas quatro hastes de um quarto de onda, que se inclinam para baixo, formando um pequeno ângulo com a horizontal. O ângulo é determinado de forma a dar impedância adequada ao sistema. Quando se faz necessária uma isolação adicional, mostram-se mais hastes horizontais de um quarto de onda, em um ponto mais baixo, na torre de sustentação. A antena com plano de terra, quando montada conforme se viu, produz um diagrama de irradiação onidirecional



A antena dipolo coaxial tem a vantagem de oferecer menor resistência ao vento do que os sistemas com plano de terra. A comparação com a antena dipolo horizontal, mostra como se chegou ao dipolo coaxial. Um dos elementos do dipolo básico se transforma em irradiador. O outro é engrossado até se transformar em tubo. A linha de transmissão coaxial é então introduzida por dentro do tubo, sendo o seu condutor interno ligado ao irradiador e a blindagem ligada ao tubo.

ANTENAS PARA ESTAÇÕES DE AMADORES E COMERCIAIS

Iremos tratar, nos próximos parágrafos, tanto das antenas para estações fixas como móveis, tendo em vista a relação que existe entre ambas em qualquer ligação bilateral por rádio. A antena é um elo vital em uma cadeia de radiocomunicações. Por isso, numerosos projetos de antena saíram das pranchetas, num interminável esforço para conseguir cada vez melhor desempenho. Este capítulo abrange a teoria básica e a construção de algumas dessas antenas.

EMPREGO DE ESTAÇÕES MÓVEIS

Há atualmente nos Estados Unidos aproximadamente dois milhões de transmissores empregados em ligações móveis, autorizados pelo órgão competente (lá é a FCC, Federal Comunications Comission, correspondente ao nosso CONTEL, Conselho Nacional de Telecomunicações). Há também cerca de 1.300 canais reservados a esse serviço, entre as freqüências de 25 e 470 MHz. A interferência entre estações é um problema sério porque muitos usuários estão operando ao mesmo tempo, no mesmo canal. Esta situação tem criado muitas dificuldades para os que usam o rádio para estabelecer ligações comerciais, especialmente na faixa dos 50 MHz e, para outros

serviços, na faixa dos 150 MHz. Os radioamadores conseguiram adaptar-se a uma situação semelhante na faixa dos 10 metros para amadores, onde a interferência foi sempre um praga para o operador móvel.

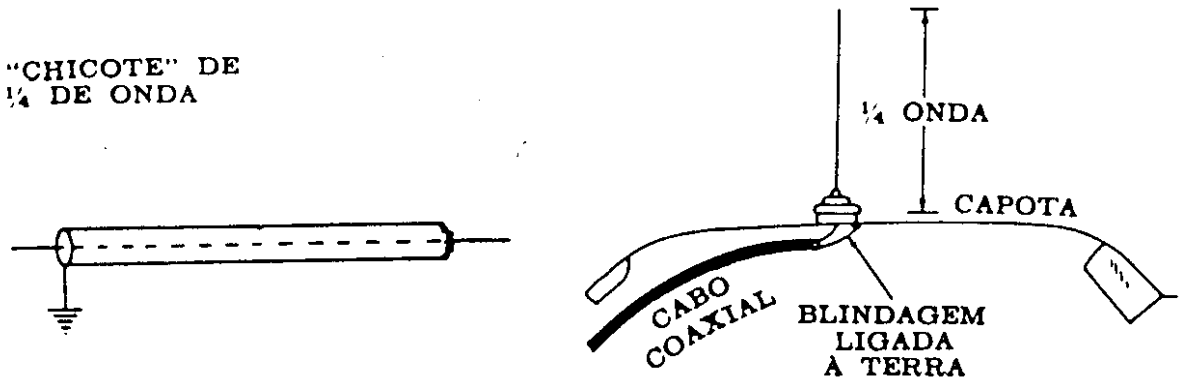
A solução tem sido fazer maior uso das freqüências ultra-altas (UHF), cujos canais se encontram menos congestionados e podem assegurar comunicações confiáveis. Inicialmente o alcance reduzido do equipamento de UHF constituía uma objeção à sua utilização. Era notório que o número de quilômetros de distância atingida, por watt de potência do transmissor, diminuía à medida que a freqüência de operação ia sendo aumentada. Contudo, o desenvolvimento de novas antenas mostrou que o alcance podia ser consideravelmente ampliado, no espectro de UHF. Os usuários verificaram também que uma relativa imunidade ao ruído do tipo impulso, nessas freqüências, contribuía para estender ainda mais o alcance das estações.

Os serviços móveis de rádio mais conhecidos incluem o da polícia, bombeiros, guardas florestais, faixa do cidadão, radioamadores, defesa civil, ligações comerciais e marítimas. Os requisitos de antena de todos eles são essencialmente os mesmos. Os sistemas móveis de antena usados na faixa do cidadão, de 27 MHz, são quase idênticos aos que se usam na faixa de amadores de 28 MHz.

TIPOS DE ANTENAS MÓVEIS

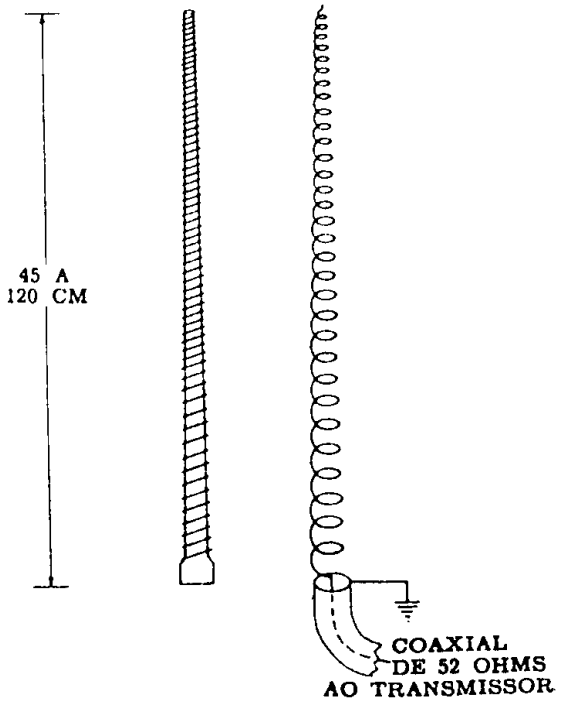
O elemento básico de uma antena móvel é a Telescópica de um quarto de onda. Montada verticalmente, ela é mais conhecida como “chicote” de um quarto de onda e os automobilistas estão há muito familiarizados com ela. Uma antena de um quarto de onda tem aproximadamente 2,5 metros em 30 MHz, meio metro em 150 MHz, reduzindo-se a apenas uns 15 cm em 450 MHz.

Em sua forma mais simples, a antena vertical de um quarto de onda é apenas um fio vertical em cuja extremidade inferior se liga o condutor interno de um cabo coaxial. A blindagem externa do cabo coaxial é ligada à terra como mostra a figura – Antena vertical básica de um quarto de onda (telescópica) ou antena chicote. O chicote de um quarto de onda podes ser instalado em um automóvel de diversas maneiras. A localização ideal é no centro da capota. O fio que serve como antena é montado isolado na capota e o cabo coaxial é ligado pela parte interna do carro, como se vê na figura – Montagem do chicote de um quarto de onda na capota do automóvel. Este tipo de montagem é prático para as antenas curtas usadas nas faixas de 150 e 450 MHz, porém não o é para as antenas mais longas que são necessárias nas faixas de freqüências mais baixas, como por exemplo a faixa do cidadão de 27 MHz ou a de radioamadores de 28 MHz. Os chicotes de aproximadamente 2,5 m para a faixa de 28 MHz de radioamadores, ou ligeiramente mais longos para a faixa do cidadão de 27 MHz precisam ser montados em partes mais baixas do veículo. Existem suportes especiais para montagem nos pára-lamas, nos pára-choques ou no capô.

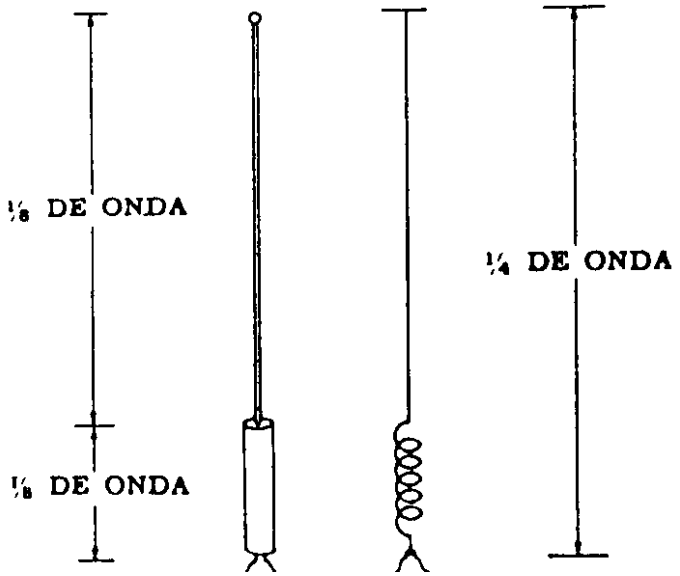


CARGA DA ANTENA

Possivelmente, o maior problema que se apresenta na instalação de uma antena em um veículo, na região dos 27 MHz é a obtenção de um plano de terra suficiente para um bom desempenho. As antenas montadas no pára-choques tem diagramas de irradiação e característica carga/faixa passante deficientes. Com novos princípios de projeto, a antena de 2,5 metros pode ser encurtada, fazendo uso do princípio da bobina de carga ou fazendo um enrolamento contínuo de fio ao redor de uma haste de fibra de vidro. A antena que se vê na figura – Chicote continuamente carregado para a faixa do cidadão (27 MHz). Um condutor formando por enrolamento helicoidal contínuo, de passo decrescente resulta em uma distribuição de corrente essencialmente uniforme, com uma impedância de 50 Ohms, na freqüência de ressonância. Este mesmo princípio pode ser usado para antenas com um comprimento físico entre aproximadamente 45 e 120 cm. O comprimento adotado na maioria das instalações é de 120 cm e as antenas podem ser instaladas na tampa do porta-malas, no capô, pára-lama ou capota.

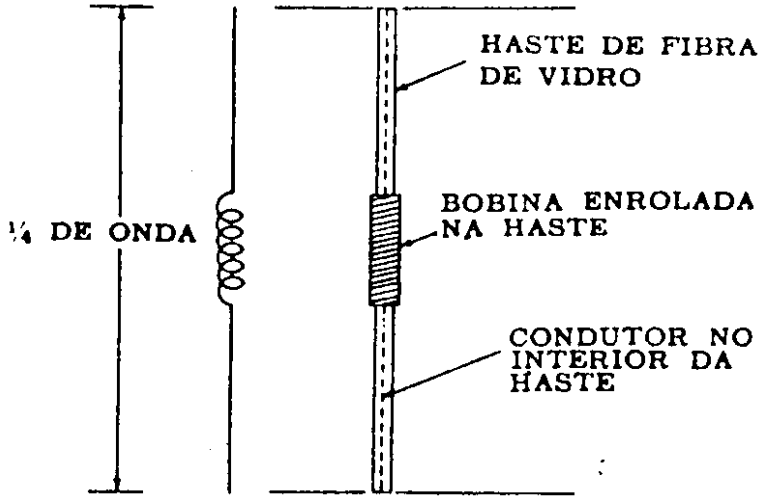


É possível encurtar uma antena vertical usando uma bobina como parte de um radiador, como mostra a figura – Chicote com carga na base. Este dispositivo foi usado nos primeiro receptores da faixa do cidadão. Um certo comprimento de fio rígido é enrolado em sua parte inferior, como mostra a figura abaixo parte (B), e montado sobre um isolador na tampa do transceptor. O mesmo princípio foi seguido nos pequenos transceptores portáteis ("Walkie Talkies"). Uma pequena bobina de carga no interior da caixa é combinada com a antena telescópica e as duas são ressonantes na freqüência de operação.

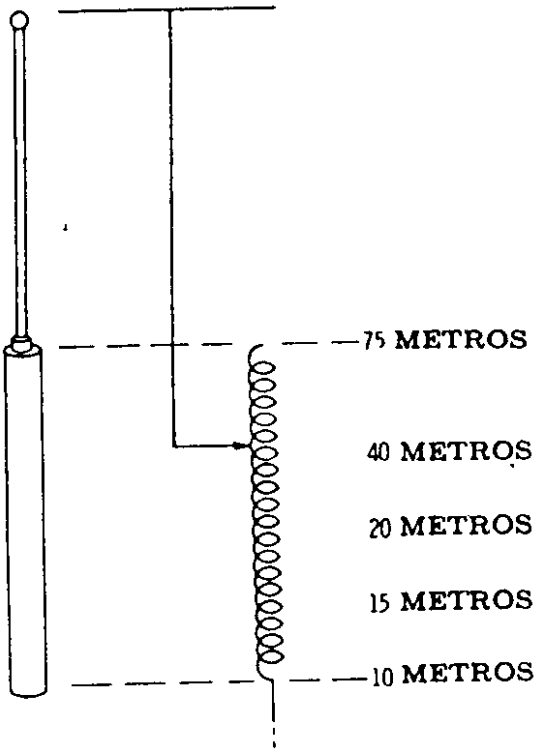


Mecanicamente, a antena com carga na base tem diversas vantagens. Contudo, a maior parte do sinal deixa a antena por sua parte inferior. Como resultado, muito da energia do sinal é refletida pela capota do carro, quando a antena é montada no capô ou na tampa do porta-malas. Para melhorara a irradiação, a bobina de carga é deslocada mais para cima ao longo da antena, de modo que os sinais irradiados encontrem menor reação a superfície do veículo.

O chicote com carga central, que pode ser visto na figura – Chicote com carga central –, tem sua bobina de carga colocada próximo ao centro do elemento irradiante. A bobina pode ser enrolada de diversos modos ao redor da antena. As antenas projetadas para a faixa do cidadão de 27 MHz são de freqüência fixa. Isto significa que a combinação da antena com sua bobina de carga deve funcionar eficientemente apenas em uma certa faixa de freqüências, na região dos 27 MHz. Na maior parte dos projetos, o diâmetro da bobina não é maior que o da antena.



As antenas destinadas à operação móvel nas faixas de radioamadores apresentam maiores problemas do que as da faixa do cidadão. A mudança de faixa é a coisa que o amador não dispensa. Para satisfazer a sua necessidade de antenas multifaxiais, os radioamadores puseram em prática meios para carregar a antena vertical, usando combinações de indutância e capacitância para assegurar a ressonância tanto nas altas como nas baixas freq6uências. Uma vertical multifaxiais é essencialmente uma antena com carga central cuja bobina de carga é enrolada diretamente sobre a parte superior do suporte de fibra de vidro, como na figura – Chicotes multifaxiais – o indutor é sintonizável, de modo a permitir a ressonância nas cinco faixas de amadores constantes da figura.

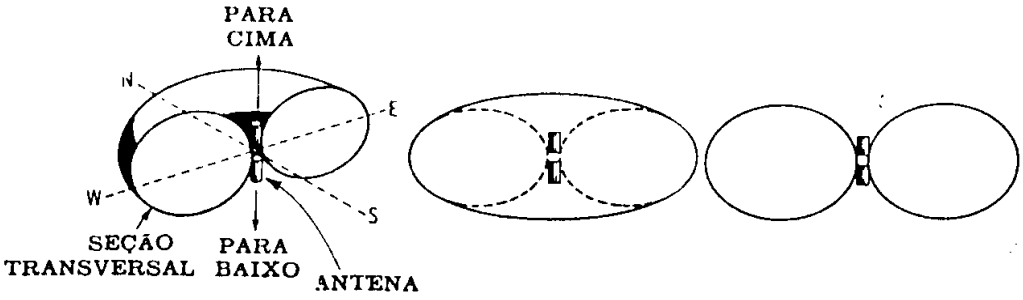


O isolante do fio foi retirado em uma pequena parte de cada espira da bobina, de forma a permitir que a bobina entre em contato, internamente, com um cursor circular ligado à seção superior da antena vertical. O chicote da antena é construído de forma que pode ser deslocado para dentro ou para fora da parte que contém a bobina de carga. Um sistema de travamento fixa a posição do chicote depois de ajustado para a freqüência desejada, ao longo das cinco faixas, tendo ainda uma marca indicadora. Este tipo de carga continuamente variável possibilita a ressonância exata da antena em qualquer freqüência dentro de cada faixa. O comprimento total da antena, com o chicote totalmente estendido, é de cerca de 3 metros. A altura da coluna-suporte, incluindo a seção da bobina de carga, é de aproximadamente 1,6 m, no seu comprimento mínimo (chicote inteiramente recolhido ao interior da seção de carga).

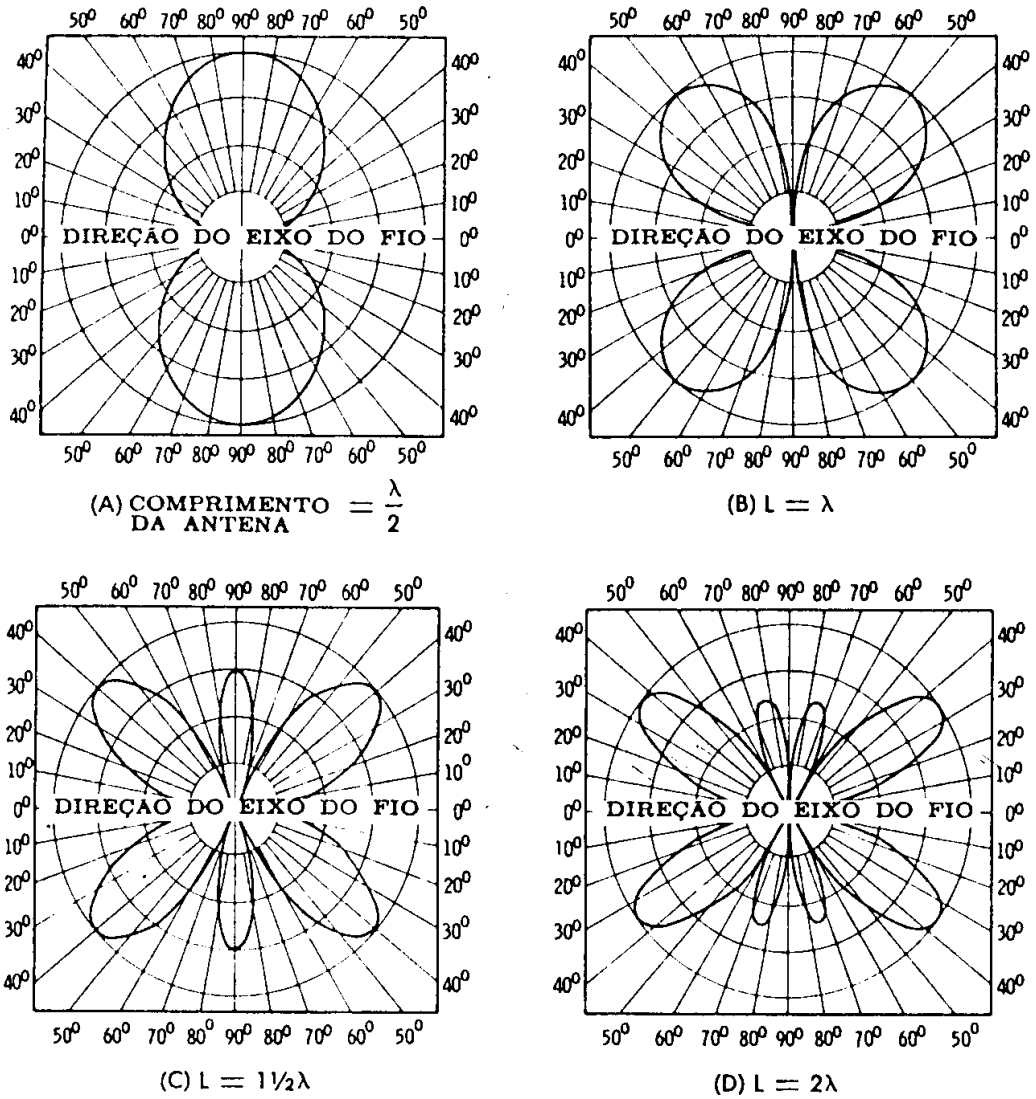
DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO

O diagrama de irradiação de uma antena pode ser modificado de maneira a adaptar-se à finalidade com a qual a antena será utilizada. Se a energia fosse irradiada com a mesma intensidade em todas as direções, o diagrama de irradiação da antena seria uma esfera, em cujo centro estaria localizada a antena. A intensidade da energia irradiada (conhecida como intensidade de campo) vai diminuindo à medida que a distância, a partir da antena vai aumentando.

O diagrama de irradiação real de um dipolo de meia onda fundamental assemelha-se a uma rosquinha, estando a antena montada verticalmente no centro, como mostra a figura – Diagrama de irradiação de um dipolo de meia onda. Uma antena transmissora deste tipo irradiaria quantidades iguais de energia nas direções norte, sul leste e oeste, como se vê, sendo mínima a irradiação para baixo e para cima, ou seja, no prolongamento dos fios da antena. A mesma coisa se verifica com uma antena receptora. Ela capta a energia igualmente de todas as direções, exceto pelas extremidades de cima e de baixo.



A diretividade de uma antena varia com o seu comprimento elétrico. A figura – Diagrama de irradiação típicos, de uma antena dipolo, em quatro diferentes freqüências de funcionamento, mostra os diagramas de irradiação característicos de uma antena dipolo, para quatro diferentes freqüências de operação. A antena, neste caso, é horizontal, com o máximo de irradiação ou captação nas direções assinaladas. Os diagramas de irradiação são toroidais (em forma de rosquinha, como já foi visto na figura – diagrama de irradiação de um dipolo de meia onda), de modo que se deve imaginar que eles se estendem para cima e para baixo do papel em que estão desenhados.



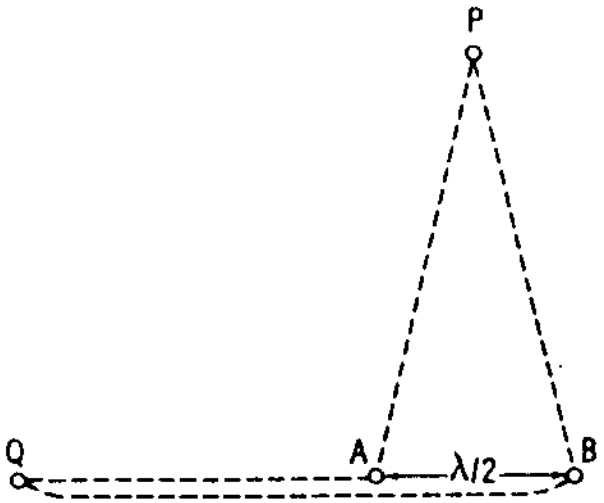
A figura acima (parte A) representa as características direcionais de uma antena de meia onda típica, conforme foi visto anteriormente na figura – Diagrama de irradiação de um dipolo de meia onda. Quando a freqüência de operação é duplicada, a antena se torna na realidade uma antena de onda completa, ou seja, seu comprimento total passa a ser igual a um comprimento de onda, e o diagrama de irradiação se altera (fig. Diagramas de irradiação típicos, de uma mesma antena dipolo, em quatro diferentes freqüências de funcionamento –parte B). Note que ele apresenta agora quatro lóbulos, dois em uma direção e dois na direção oposta. Haverá máxima transmissão ou recepção de sinal em cada uma das quatro direções assinaladas pelos quatro lóbulos, e não em duas como anteriormente.

Na figura acima citada parte C, temos o diagrama de irradiação da mesma antena, em uma freqüência igual ao triplo da original. Observe que há agora três lóbulos para a frente e três para trás, e a antena é efetivamente uma antena de um e meio comprimento de onda. Na figura parte D, a antena é utilizada numa freqüência quatro vezes maior do que a original e tem portanto um comprimento igual a dois comprimentos de onda. A antena tem agora quatro lóbulos para a frente e quatro para trás. Geralmente, quanto maior é a freqüência em que trabalha a antena, maior é o número de lóbulos do diagrama de irradiação.

OBTENÇÃO DOS DIAGRAMAS DE IRRADIAÇÃO

O diagrama de irradiação de uma antena vertical terá uma forma circular, quando observado de cima da antena. Um emprego típico dessa antena é o sistema móvel de comunicações bilaterais, onde uma estação fixa instalada na base deve comunicar-se com estações móveis, geralmente instaladas em viaturas, que podem estar em qualquer direção em relação à base. Um diagrama circular é portanto uma necessidade, para este tipo de comunicação.

Considerando a parte horizontal do diagrama de irradiação, como foi feito acima, é possível ilustrar como são obtidos diagramas especiais de irradiação. A figura – Exemplo ilustrativo de como podem ser obtidos diagramas de irradiação de antenas especiais –, por exemplo, mostra duas antenas verticais (A e B montadas com uma separação de meio comprimento de onda. Isto é indicado como $\lambda/2$, que já é uma notação consagrada para indicar um comprimento igual a meio comprimento de onda. O símbolo λ é a letra grega, minúscula, que se lê lambda.



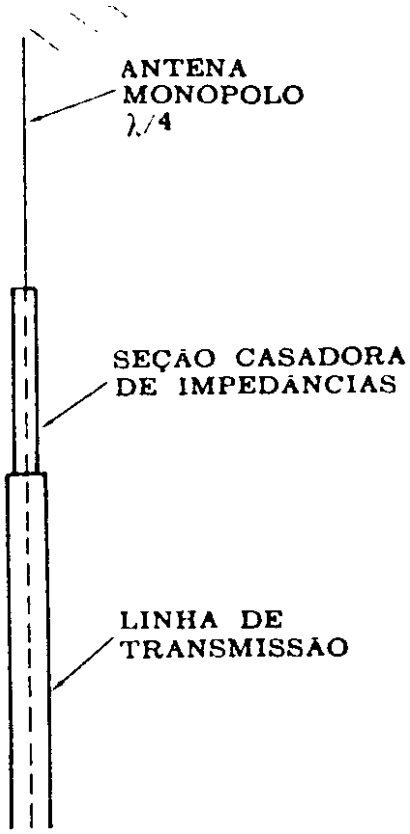
O ponto P é qualquer ponto igualmente distante das antenas A e B. Neste exemplo, suponha que as duas antenas estão sendo alimentadas com sinais de mesma amplitude e mesma fase. No ponto P, os sinais provenientes das antenas A e B terão se deslocado exatamente da mesma distância e, como estão em fase, suas amplitude se somam. O ponto P terá então um sinal com o dobro da amplitude que teria, se houvesse apenas uma antena.

Agora, vejamos o que acontece no ponto Q, situado na linha que une as duas antenas, a uma distância qualquer. A energia que chega ao ponto Q, proveniente da antena A, vence a distância AQ. A energia que chega ao ponto Q, oriunda da antena B, desloca-se de uma distância BQ. Observe, entretanto, que a distância BQ é meio comprimento de onda maior do que a distância AQ. Por causa disso, a energia proveniente de A e a proveniente de B se subtraem, pois estão exatamente em oposição de fase. O meio comprimento de onda adicional que o sinal de B tem que vencer para chegar ao ponto Q faz com que ele fique 180 graus fora de fase em relação ao sinal que vem de A. Portanto, os dois sinais se subtraem e, como têm a mesma amplitude, a energia resultante, no ponto Q, será nula.

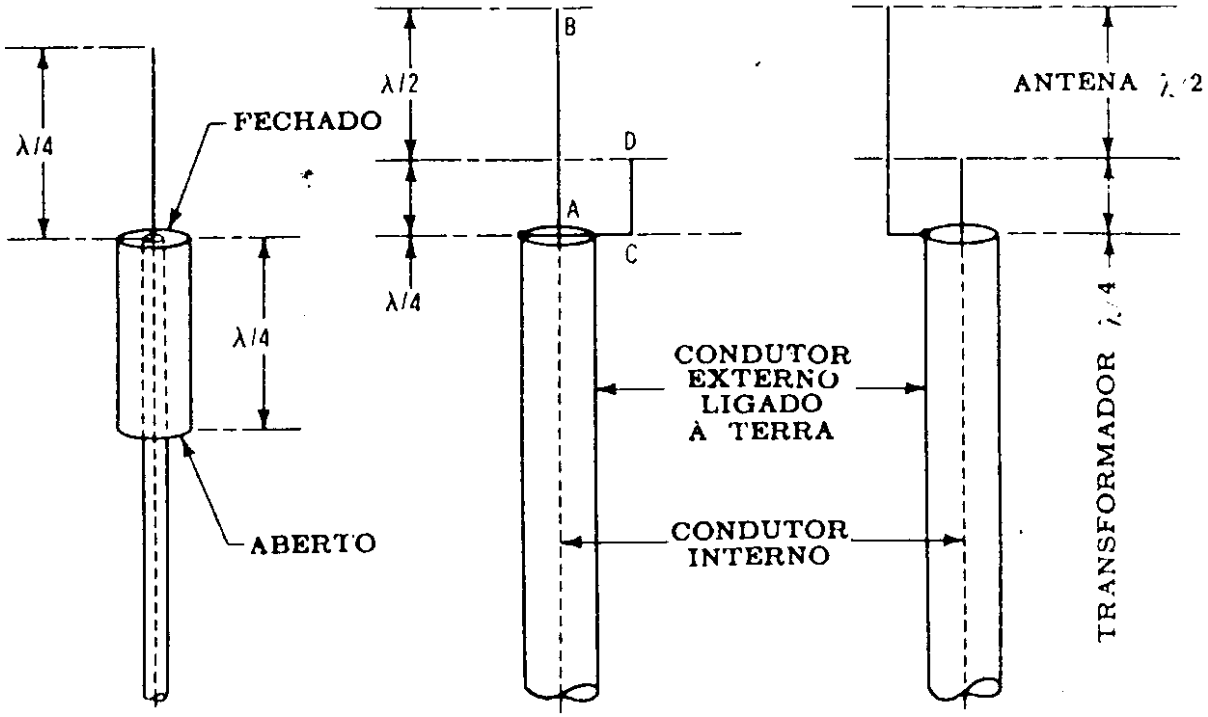
Este exemplo simples mostra como são desenvolvidos os diagramas de irradiação das antenas. Embora tenha sido ventilado o caso particular de antenas verticais, as mesmas condições se aplicariam aos diagramas de irradiação de quaisquer outras antenas.

A antena vertical merece uma atenção especial por ser também de uso muito difundido. Um dos tipos de antena vertical é a de um quarto de onda ligada à terra, conhecida como Marconi (figura – Antena vertical de um quarto de onda, ligada à terra). A parte vertical acima da terra tem um comprimento igual a um quarto de onda e há uma antena virtual ou refletida na própria terra; o diagrama de irradiação da antena vertical de um quarto de onda reflete-se a partir do solo, de modo que aparentemente há uma antena de um quarto de onda enterrada no solo. O diagrama de uma antena deste tipo assemelha-se a uma rosquinha cortada ao meio, com a antena projetando-se para cima no centro da meia rosquinha. Assim sendo, o diagrama de irradiação horizontal desta antena é circular. Sua impedância de entrada é de cerca de 37 Ohms.

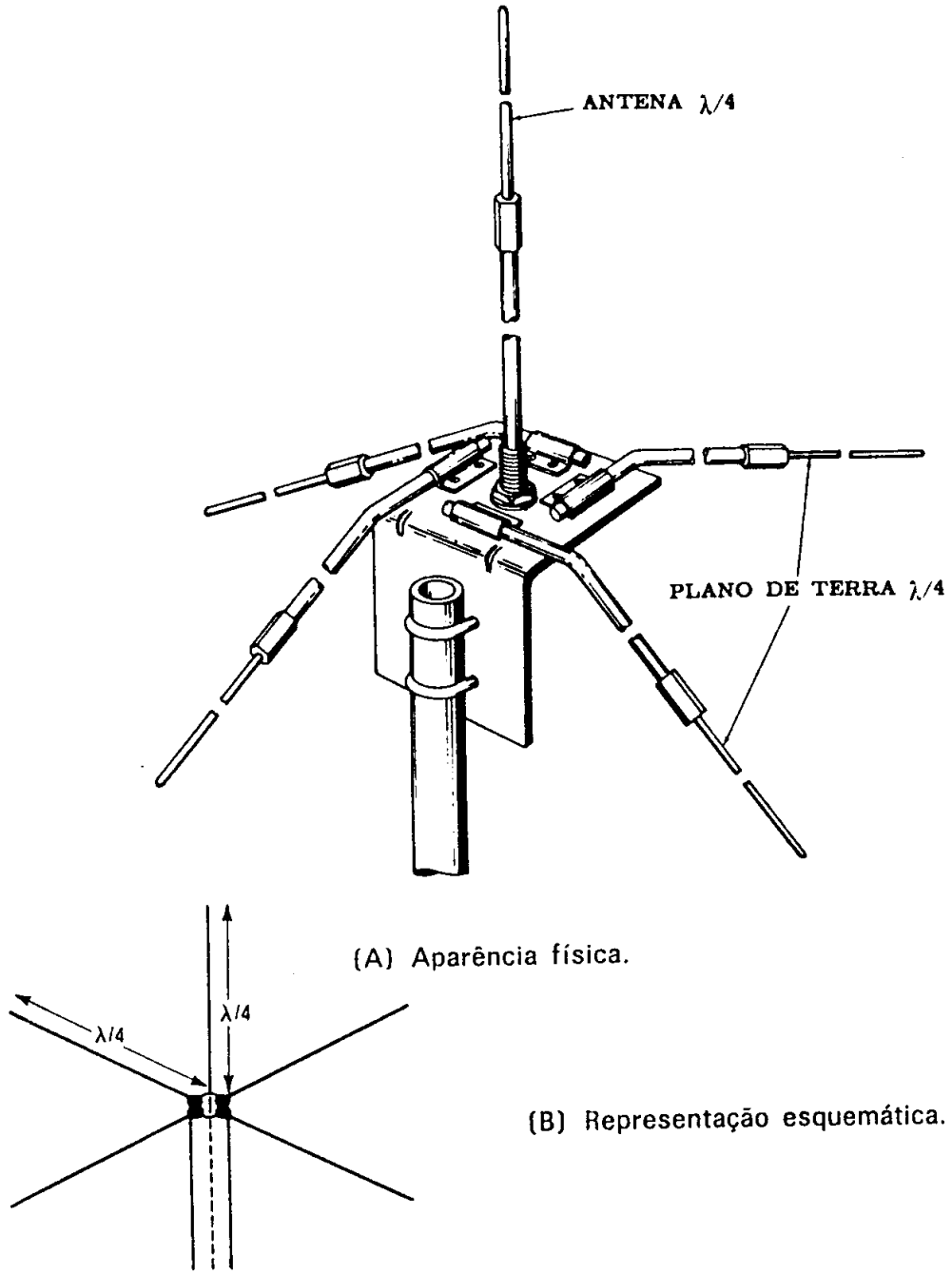
A antena Marconi é usada em muitos tipos de unidades de comunicações móveis, porque permite a transmissão e recepção em todas as direções. Quando é necessária ou desejável uma maior cobertura, este tipo de antena pode ser montado acima do solo. Isto é feito instalando-se a antena bem alto em um mastro e alimentando o sinal por um cabo coaxial. Este tipo de antena é conhecido como monopolo de um quarto de onda (figura – Antena monopolo de um quarto de onda). O condutor externo do cabo coaxial de alimentação é ligado á terra. Essa antena também produz um diagrama de irradiação onidirecional (não direcional), como acontece com outros tipos de antenas verticais.



Uma antena monopolo leva consigo sua terra. Seu diagrama de irradiação é similar ao de uma antena de meia onda. Embora ela seja na realidade uma antena de um quarto de onda, suas características são muito semelhantes às de uma antena de meia onda montada verticalmente. A linha de transmissão coaxial e as seções extremas, de um quarto de onda, dos condutores externo e interno podem ser usados para fazer uma transformação de impedâncias, permitindo o casamento entre a antena e a linha, como se vê na figura – Processos de casamento de impedâncias da antena monopolo com a linha de transmissão.



Em outros tipos de monopolos, ou antenas verticais coaxiais, um “sistema de terra artificial” serve como terra para radiofreqüência. Para isto, diversas hastes de um quarto de onda são ligadas ao condutor externo, como na figura – Antena com plano de terra, parte A – Elas atuam efetivamente como um plano de terra, ou como se estivessem ao potencial da terra, como mostra a figura Antena com plano de terra B.



(A) Aparência física.

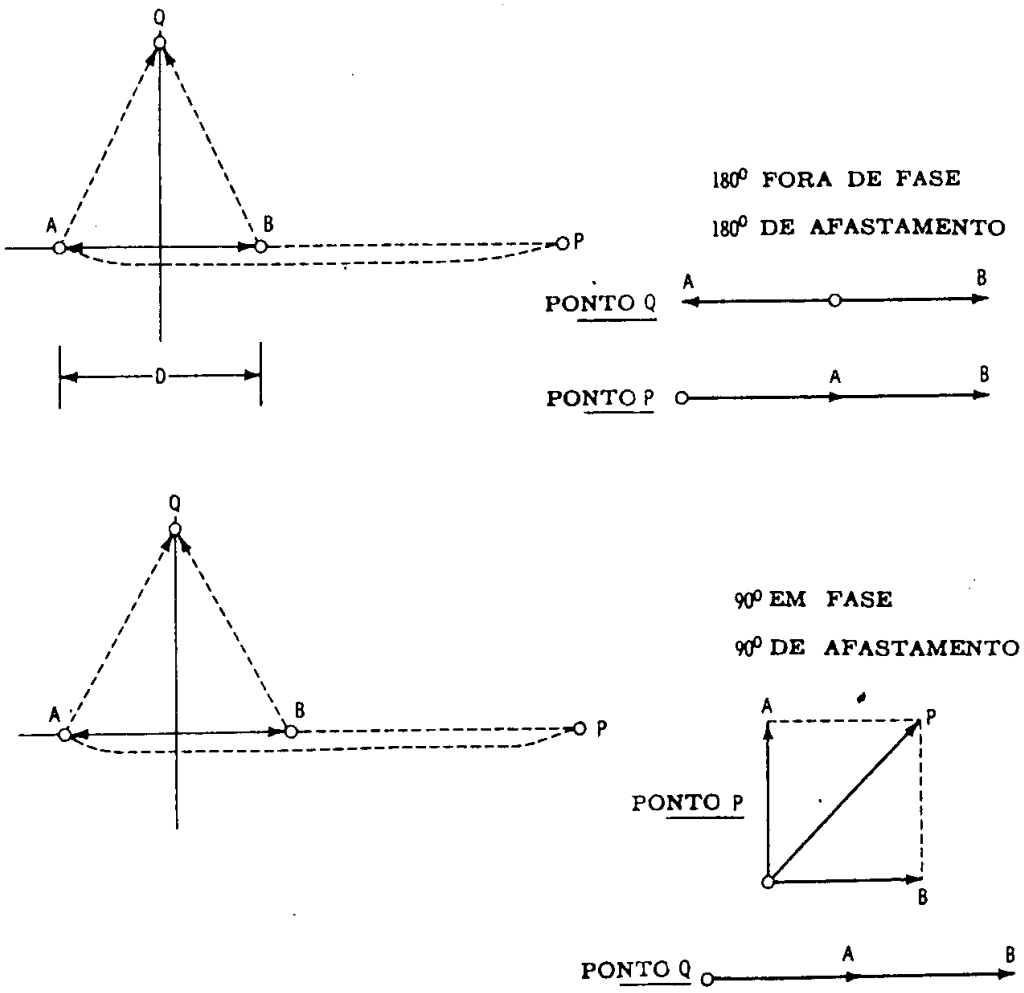
(B) Representação esquemática.

CONJUNTOS

Um conjunto é uma antena composta de vários elementos. O desenvolvimento do diagrama de irradiação de um conjunto, ou antena composta, é feito a partir dos diagramas das antenas individuais e depende também das frases relativas com que são alimentadas e das distâncias que as antenas componentes guardam entre si. Veja, por exemplo, a figura – Dedução do diagrama direcional de um conjunto. Antenas espaçadas de 180° e alimentadas 180° fora de fase. Duas antenas, A e B, são montadas a uma distância correspondente a 180 graus elétricos. Além disso, os sinais com que são alimentadas estas antenas estão 180 graus fora de fase. No ponto Q,

situado numa linha eqüidistante de A e B, os dois sinais se cancelam porque as distâncias percorridas por ambos são as mesmas e os sinais estão exatamente fora de fase. Esta figura é também conhecida como diagrama vetorial; os dois sinais no ponto Q são de mesma intensidade mas de fases opostas, e o vetor resultante é nulo.

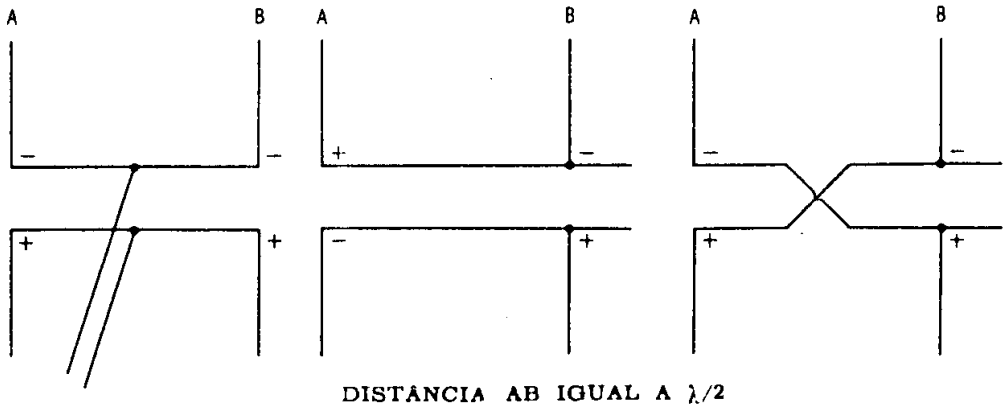
Entretanto, se considerarmos um ponto P, situado sobre a mesma linha reta que passa pelas antenas A e B, haverá adição dos dois sinais. Como um dos sinais parte de B para chegar ao ponto P e outro parte da antena A para chegar ao ponto P, as distâncias percorridas pelos dois sinais diferem entre si de 180 graus elétricos. E, como os dois sinais deixam as antenas respectivas em oposição de fase, os diagramas de irradiação se somam quando os sinais chegam ao ponto P. Recorrendo novamente à linguagem vetorial, o vetor que representar a quantidade de energia irradiada no ponto P pode ser considerado como a soma das energias irradiadas por cada uma das antenas.



Assim podemos ver, por meio de uma análise vetorial simples, haverá uma adição ou reforço de sinal ao longo da linha que passa pelas duas antenas e uma diminuição ou cancelamento de sinal ao longo da linha perpendicular à primeira.

Considere um outro caso, ilustrado na figura – Dedução do diagrama direcional de um conjunto. Antenas espaçadas de 90° e alimentadas em fase. Aqui se trata de duas antenas distanciadas 90°, mas alimentadas em fase. Quando examinamos os dois vetores como no caso anterior, vemos que no ponto Q haverá adição de sinais, porque os dois sinais individuais estão em fase e as distâncias de Q a A e de Q a B são exatamente iguais. Assim, teremos no ponto Q uma soma direta dos dois sinais. Contudo, no ponto P, o sinal da antena B tem de vencer a distância PB, enquanto o sinal da antena A se desloca de uma distância AP, ou seja, 90° a mais. Os dois sinais não se cancelarão em no ponto P; também não se adicionarão diretamente. Ao invés disso, eles se somarão vetorialmente, de modo que a quantidade de energia irradiada no ponto P será maior do que a de uma simples antena, porém menor do que a soma de duas antenas. Isto é mostrado pelo diagrama vetorial.

Neste ponto é interessante considerar o espaçamento físico entre os elementos de uma antena composta e o seu espaçamento elétrico, em termos do sinal alimentado pelo transmissor. Diversas são as técnicas usadas para a alimentação das antenas, empregando-se praticamente quase qualquer relação de fase desejada e quase qualquer separação física desejada, entre as antenas.



A figura – Diferentes formas de alimentação de antenas compostas –, mostra três conjuntos de antenas. Cada um deles tem antenas separadas entre si de 180° (meio comprimento de onda). Na figura citada, parte A, uma linha de transmissão liga entre si as duas antenas, ao passo que a linha de alimentação proveniente de transmissor é conectada exatamente no ponto médio entre as duas antenas. Estas são alimentadas em fase, porque as distâncias entre o transmissor e cada uma das antenas são exatamente iguais. Este é, portanto, o caso em duas antenas estão separadas de meio comprimento de onda e são alimentadas com sinais exatamente em fase.

Na figura citada acima parte B, as antenas estão dispostas em série, sendo a linha de alimentação do transmissor ligada primeiramente à antena B, e depois à antena A. Com esta disposição, o sinal deve percorrer um meio comprimento de onda a mais, para ir do transmissor à antena A, em comparação com o percurso do transmissor à antena B. As duas antenas estão, por conseguinte, sendo alimentadas com sinais 180° fora de fase, embora a sua separação física seja exatamente a mesma que a anterior.

Por vezes é conveniente alimentar as antenas uma após a outra, como na figura citada parte B, porém com sinais em fase. Isto pode ser feito como mostra na mesma figura parte C, simplesmente cruzando-se os dois fios. Observe na figura parte C que, embora o sinal tenha que vencer um meio comprimento de onda adicional, a transposição dos fios tem por efeito alimentar

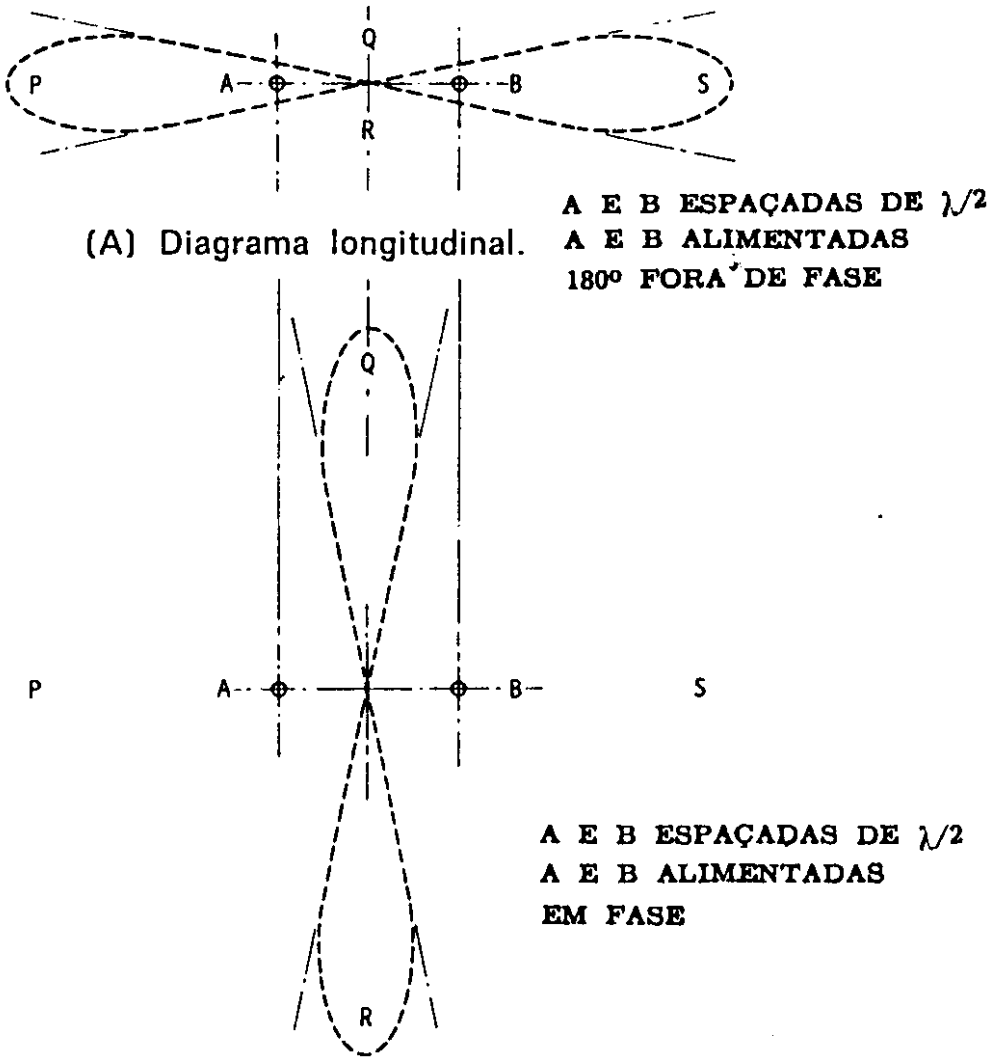
as duas antenas em fase. O comprimento extra de percurso é contrabalançado pelo cruzamento. Assim, a figura C mostra duas antenas alimentadas em fase, exatamente como na Figura parte A.

DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO LONGITUDINAL

Existem numerosas combinações de antenas que produzem diagramas de irradiação muito úteis. Duas que podem ser consideradas fundamentais são apresentadas na figura – Diagramas direcionais de conjuntos de antenas básicos. Também aqui se trata de antenas verticais, de modos que estamos em presença de diagramas de irradiação horizontais. A figura citada, parte A é conhecida como um diagrama longitudinal e resulta de duas antenas afastadas entre si de 180° e alimentadas 180° fora de fase. Como foi discutido anteriormente, isto resulta em um adição de sinais, ao longo da linha que passa pelas antenas, e em cancelamento de sinais nos pontos pelas antenas, e em cancelamento de sinais nos pontos eqüidistantes das duas antenas, isto é, sobre a perpendicular a AB, traçada exatamente no ponto médio entre as duas antenas. Assim, se considerarmos as antenas A e B como transmissoras e imaginarmos quatro receptores colocados nos pontos P,Q,R e S, haverá o sinal máximo nos receptores P e S e sinal mínimo nos receptores Q e R. Observe que o sinal mínimo não significa ausência de sinal, porque haverá algum sinal nos pontos Q e R, embora mais fraco.

DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO TRANSVERSAL

A figura a seguir parte (B) mostra o diagrama de irradiação transversal, resultantes de antenas ainda distanciadas de 180°, porém agora alimentadas em fase. Haverá sinal máximo nos receptores em Q e R, e mínimo em P e S. Assim é possível, neste sistema rudimentar, orientar o diagrama de irradiação segundo uma direção desejada, quer em linha com as antenas, como na figura a seguir (A), quer em um ângulo reto com esta linha, como na figura abaixo (B).



(A) Diagrama longitudinal.

(B) Diagrama transversal.

Este diagrama pode se tornar mais delgado aumentando-se o número de antenas. Isto estreita e alonga o feixe. Nela estão representadas quatro antenas A, B, C e E – estando cada par de antenas consecutivas com uma separação de meio comprimento de onda. Também aqui as antenas podem ser alimentadas segundo qualquer um dos dois critérios. Se forem alimentadas fora da fase, haverá o máximo de sinal no ponto P, situado sobre a linha que une as antenas, e o mínimo no ponto Q, sobre uma reta perpendicular à linha de A a E.

Se as antenas forem alimentadas em fase, haverá o máximo de sinal no ponto Q, e o mínimo no ponto P.