

Capítulo 1

Antenas

Agenda

- Introdução
- Histórico
- Parâmetros das antenas
- Principais tipos de antenas
 - Dipolos
 - Monopolos
 - Redes de antenas lineares
 - ❖ Log Periódica
 - ❖ Yagi-Uda
 - ❖ Helicoidal
 - ❖ Corneta
 - Antenas com refletores
 - ❖ Planos
 - ❖ Canto
 - ❖ Parabólicos

Introdução

Curiosidade: origem da palavra antena

A palavra antena tem origem latina e significa uma vara muito flexível. A antena não é uma invenção humana, mas foi usada por milhões de anos por lagostas, camarões e numerosos insetos como sensor no formato de uma vara flexível.

Curiosidade

A origem do nome Antena

Para comunicações sem fio, o transmissor deve ser conectado a um componente que irradie a frequência de rádio sobre condições desejadas, e do lado da recepção outro componente que capture esta irradiação nas mesmas condições. Estes componentes irradiando são chamadas ANTENAS.

A palavra antena tem origem latina e significa uma vara muito flexível. A antena não é uma invenção humana, mas foi usada por milhões de anos por lagostas, camarões e numerosos insetos como sensor no formato de uma vara flexível.

Foi o físico russo Popov quem iniciou o uso desta palavra para a sua invenção de um detector de tempestades atmosféricas; após isto, todos os físicos utilizando a equação de Maxwell adotaram esta expressão.

Introdução

Definição:

www.inatel.br

Definição oficial do IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers):

“Um meio para irradiar ou receber ondas de rádio”.

Antena é definida pelo dicionário Aurélio como:

- “Parte de um transmissor cujo potencial varia rapidamente, irradiando para o espaço ondas eletromagnéticas”.
- “Parte de um receptor de ondas de rádio ou de ondas eletromagnéticas que capta a energia eletromagnética, introduzindo-a no aparelho sob forma de impulsos elétricos”.
- “Estrutura metálica, fio ou conjunto de fios com as funções indicadas acima”.

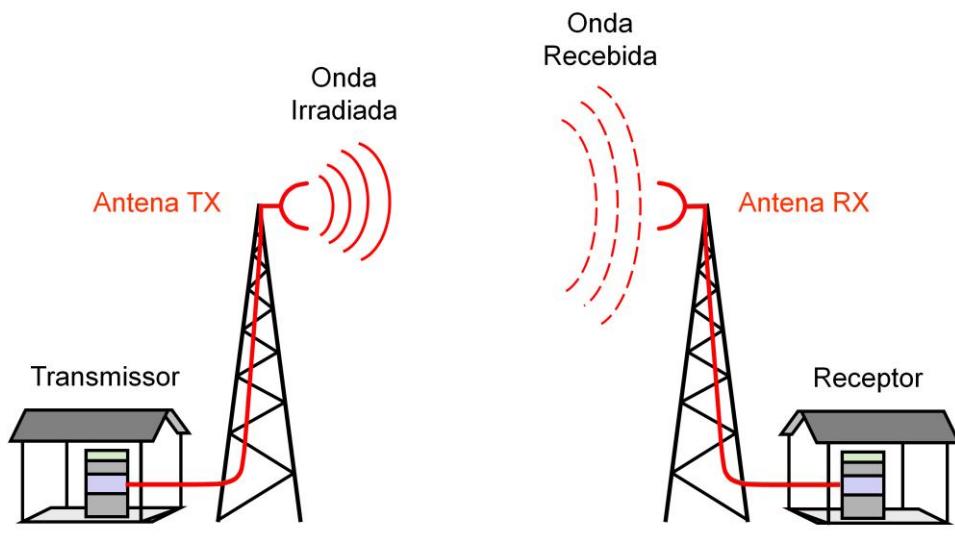
A definição oficial do IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) é muito simples:

- “Um meio para irradiar ou receber ondas de rádio”.

Apesar da simplicidade contida nas definições descritas acima, o ramo da ciência que estuda as antenas é bastante complexo, pois depende de muita matemática e física aplicada. Ao contrário de outras áreas da ciência, as antenas nem sempre possuem conceitos intuitivos ou facilmente visualizados. Em geral, qualquer demonstração de projetos de antenas necessita de muitos cálculos matemáticos, bem como conceitos de eletromagnetismo.

Assim sendo, o objetivo deste curso é mostrar os parâmetros que definem as antenas de forma a fornecer subsídios para especificar e entender as antenas normalmente utilizadas. Os tópicos de tipos de antenas mais comuns e projetos básicos são suficientes para discutir, acompanhar testes, avaliar e construir antenas mais simples.

Introdução



A antena de rádio é uma estrutura que atua como elemento de transição entre uma onda guiada e um espaço aberto. Segundo a definição oficial, mostrada anteriormente, a antena é um elemento empregado para a irradiação ou a recepção das ondas eletromagnéticas.

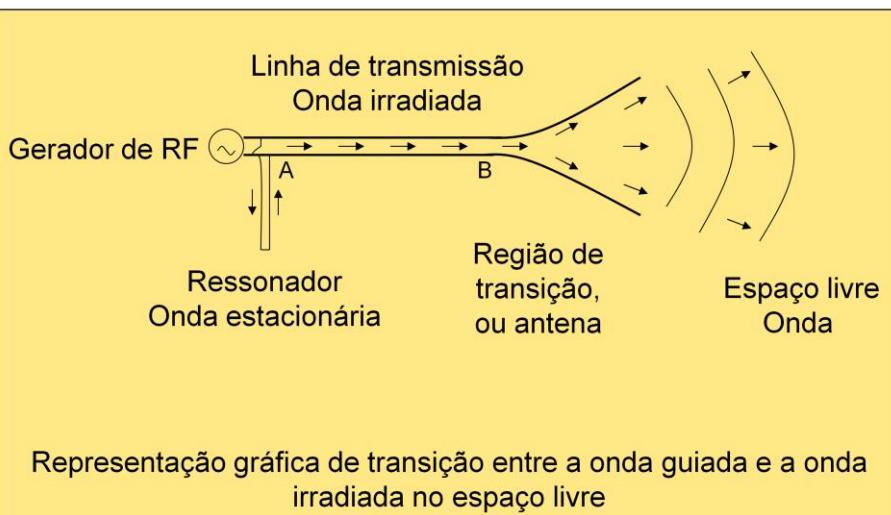
A *antena transmissora*, ligada ao transmissor, é utilizada para a transformação da energia gerada no sistema eletrônico em ondas eletromagnéticas irradiadas.

A *antena receptora* tem o objetivo de captar a onda eletromagnética do espaço e encaminha-la ao sistema de recepção, para o processamento adequado do sinal.

Na prática, as antenas podem assumir as mais variadas formas, desde configurações bem simples, como os monopolos, os dipolos curtos, os dipolos de meia-onda, as antenas espirais, etc., passando pelas redes lineares, as redes planares, as redes volumétricas, até as antenas de características especiais, de elevado ganho ou de grande largura de faixa, de grande rejeição de sinais espúrios e assim por diante. As propriedades desejadas para uma antena dependem do sistema “na” qual será empregada.

Uma antena para radiodifusão, por exemplo, deve irradiar, em princípio, igualmente em todas as direções no plano horizontal. Desta maneira, a mensagem poderá atingir a maior quantidade de pontos possível, correspondendo a uma *irradiação omnidirecional* no plano horizontal.

Conceito básico de uma antena



Conceito Básico de uma Antena

Uma antena pode ser classificada como uma estrutura metálica associada a uma região de transição entre uma onda guiada e uma onda no espaço livre, e/ou vice versa. Ou seja, uma antena é um transdutor de ondas que se propagam em meios confinados , tais como cabo coaxiais, guias de onda, linhas bifilares, enfim/, linhas de transmissão e a propagação no espaço livre, que possui como meio de propagação o ar ou o vácuo.

Uma maneira simples de representar uma antena, é uma linha de transmissão com sua extremidade em aberto. A figura do slide acima ilustra um gerador conectado a dois fios, e assim, formando uma linha de transmissão AB. Supondo que existe um casamento entre o transmissor e a linha, a onda é guiada em um meio confinado até atingir o ponto B onde os fios se separam gradualmente e com isto espalham a energia até então guiada. Quando os fios já estiverem separados de muitos comprimentos de onda, a onda guiada transforma-se em onda irradiada no espaço livre. Esta região de transição pode ser considerada uma antena.

Percebe-se que a definição de antenas aqui mostrada é bastante simples. Entretanto existem provas matemáticas, muito mais complexas, que comprovam como uma antena irradia. Basicamente as formulações matemáticas foram elaboradas por Maxwell, e são ilustradas a seguir.

Equações de Maxwell

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -j\omega\mu \vec{H}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = (\sigma + j\omega\epsilon) \vec{E}$$

Equações de Maxwell

$$\nabla \times E = -j\omega\mu H - J_m$$

$$\nabla \times H = (\sigma + j\omega\epsilon)E + J$$

$$\mu \nabla \cdot H = \rho_m$$

$$\epsilon \nabla \cdot E = \rho$$

Onde:

E – campo elétrico;

H – campo magnético;

J – densidade da corrente elétrica;

J_m – corrente magnética fictícia;

ρ - densidade de carga elétrica;

σ - condutividade do meio;

ϵ - permissividade elétrica do meio;

μ - permeabilidade magnética do meio

ω - frequência angular ($2\pi f$);

f - frequência.

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \mathbf{ax} + \frac{\partial}{\partial y} \mathbf{ay} + \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{az} \text{ (coordenadas cartesianas)}$$

Agenda

- Introdução
- Histórico
- Parâmetros das antenas
- Principais tipos de antenas
 - Dipolos
 - Monopolos
 - Redes de antenas lineares
 - ❖ Log Periódica
 - ❖ Yagi-Uda
 - ❖ Helicoidal
 - ❖ Corneta
 - Antenas com refletores
 - ❖ Planos
 - ❖ Canto
 - ❖ Parabólicos

Histórico

- **1822 - Michael Faraday** - Lei da indução que relaciona a força eletromotriz ao magnetismo.
- **1864 - James Clerk Maxwell** - Deduziu matematicamente a existência de onda eletromagnética.
- **1883 - Heinrich Rudolf Hertz** - Mostrou a possibilidade de irradiar onda eletromagnética através do ar.
- **1895 - Alexander Stepanovich Popov** - Surgimento do dipolo
- **1901 - Guglielmo Marconi** - Inventou o rádio

1822 – Michael Faraday (1791 – 1867)

Através da lei da indução que relaciona a força eletromotriz ao magnetismo, foi mostrado por Faraday, que sinais elétricos podiam ser transmitidos sem contato físico direto, ou seja, através da indução a força eletromotriz podia ser transmitida por um meio magnético.

1864 – James Clerk Maxwell (1831 – 1879)

Foi então demonstrado por Maxwell que a eletricidade e o magnetismo estavam relacionados, sendo que ele deduziu matematicamente a existência da onda eletromagnética. Pode-se dizer sem nenhum exagero que Maxwell é o pai do eletromagnetismo, pois somente após este estudo foram possíveis os primeiros eventos práticos nas áreas de propagação e antenas propriamente ditas.

1883 – Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894)

Utilizando a teoria estabelecida por Maxwell, Hertz mostrou pela primeira vez que era possível irradiar a onda eletromagnética através do ar, dando início ao caminho do desenvolvimento das antenas e recebendo o título do fundador da teoria das antenas.

1895 – Alexander Stepanovich Popov (1859 – 1905)

Popov, desenvolveu e utilizou uma vareta metálica para transmitir e receber a uma distância de 1000 metros as ondas geradas pelo oscilador de Hertz (hoje essa vareta é chamada de dipolo simples). Deve-se notar que Edson também realizou essa experiência provavelmente antes de Popov.

Histórico

- **1936 - Sergei A. Schelkunoff** - Teorema das correntes equivalentes
- **1920 à 1940 - S. Uda, H. Yagi e outros** - Antenas Yagi-Uda
- **Década de 40** – Antenas com refletores com o advento do Radar
- **Década de 50** – J.D. Krauss determina parâmetros de engenharia da antena helicoidal
- **1958 – D.E. Isbell** – Desenvolve a antena log periódica
- **Década de 60** – Antenas são desenvolvidas usando o computador e os métodos numéricos (Ex. antena off-set)

1897 – H.E. Pocklington com o trabalho: “Electrical oscillations on wires”.

1898 – M. Abraham com os trabalhos: “Oscilações em um prolato esferoidal” e “Cálculo eletromagnético irradiado por um dipolo de meia onda”.

1898 – André Blondel (1863 – 1938)

Mostrou os efeitos do solo em uma antena vertical, fato até hoje largamente utilizado em antenas de baixa frequência.

1904 – F. Hack

Utilizando o trabalho de Abraham, Hack conseguiu traçar os campos ao redor das antenas retilíneas de meio comprimento de onda.

No período entre as duas grandes guerras, houve um avanço significativo na engenharia de antenas, devido a necessidade de maior eficiência de forma geral.

1936 – Sergei A. Schelkunoff

Sua obra “Teorema das correntes equivalentes” deu base para a invenção de inúmeros tipos de antenas, principalmente durante a II Segunda Guerra Mundial.

Agenda

- Introdução
- Histórico
- Parâmetros das antenas
- Principais tipos de antenas
 - Dipolos
 - Monopolos
 - Redes de antenas lineares
 - ❖ Log Periódica
 - ❖ Yagi-Uda
 - ❖ Helicoidal
 - ❖ Corneta
 - Antenas com refletores
 - ❖ Planos
 - ❖ Canto
 - ❖ Parabólicos

Parâmetros das Antenas

- Dimensões
- Impedância de Entrada – Z_e
- Diagrama de Irradiação
- Diretividade
- Eficiência de Irradiação
- Ganho
- Largura de Feixe (Abertura de Feixe)
- Largura de Faixa (Faixa de Passagem)
- Área Efetiva
- Resistência de Irradiação
- Relação Frente-Costa
- Polarização
- Rejeição de Polarização

Nosso objetivo é compreender como os parâmetros das antenas podem quantificar de forma absoluta ou relativa a capacidade de irradiar ou receber energia.

Os principais parâmetros estão relacionados com a impedância de entrada, com a eficiência de irradiação e uma maior capacidade de concentrar energia em determinada direção.

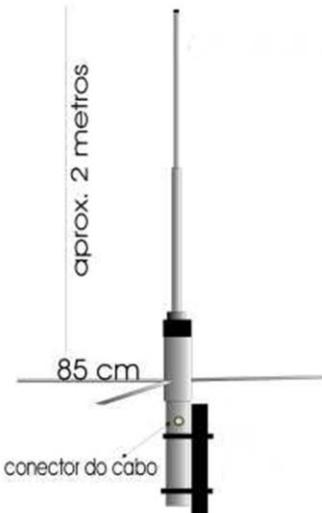
Para melhor compreensão dos parâmetros ilustrados acima, é conveniente que alguns comentários sobre a antena isotrópica e sobre a correlação existente entre a frequência e as dimensões das antenas seja feita.

Dimensões

De uma forma geral existe uma razão de proporção entre o comprimento da onda eletromagnética e o tamanho da antena, porém em alguns casos não vale esta proporcionalidade

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

λ → comprimento da onda eletromagnética (m)
 c → velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m/s)
 f → frequência da onda (Hertz – Hz)



As dimensões das antenas podem variar desde as chamadas microminiatura até as gigantes.

De uma forma geral, existe uma razão de proporção entre o comprimento da onda eletromagnética e o tamanho da antena.

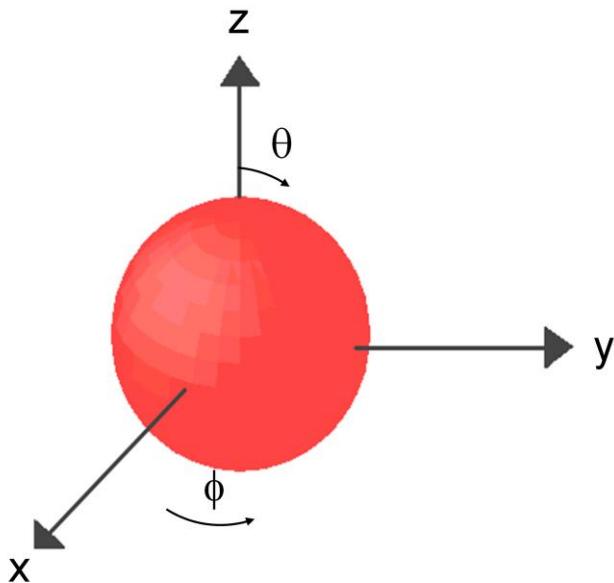
Entretanto, isso deve ser visto com cautela porque muitas antenas utilizam artifícios para melhorar a eficiência ou para concentrar energia em uma dada direção, que literalmente invalidam essa proporcionalidade. É o caso da antena parabólica que possui certa proporcionalidade com o comprimento de onda apenas em seu alimentador, sendo o refletor função da capacidade de concentrar a energia em uma determinada direção. Note que neste caso estamos falando de pequenos comprimentos de onda e grandes antenas.

Outro exemplo de que a regra básica não é seguida são as antenas de baixa frequência. Nesse caso deveriam ser utilizadas antenas de grandes dimensões, mas como a eficiência não é importante, pequenas antenas podem ser utilizadas.

A idéia de que frequências altas implicam em antenas pequenas e que frequências baixas implicam em antenas grandes, deve ser mantida e sempre que a regra não for válida, existirão razões ligadas aos parâmetros das antenas.

Uma antena de VLF (Very Low Frequency) pode medir aproximadamente 300 metros, enquanto um dipolo de microondas mede na ordem de um centímetro.

A Antena Isotrópica



Para o estudo de diversos parâmetros das antenas é importante o conhecimento das características de uma antena hipotética, freqüentemente utilizada como referência, denominada *antena isotrópica*. (algumas vezes essa antena também é chamada de antena unipolo).

Por definição, a antena isotrópica é uma antena capaz de irradiar igualmente em todas as direções. Considerando-se uma distância constante do radiador isotrópico, a densidade de potência é sempre igual, formando assim, uma esfera com centro na antena isotrópica. Esta antena não pode ser construída na prática, pois trata-se de uma abstração, muito útil para a análise do comportamento de outras antenas. Como a irradiação é idêntica em todas as direções, é evidente que a energia irradiada distribui-se uniformemente em todas as direções, ficando na dependência apenas da distância radial a contar da origem. Se a antena irradia uma potência P e esta potência é distribuída igualmente em todas as direções, a uma distância r da origem, tem-se uma *densidade de potência* uniforme.

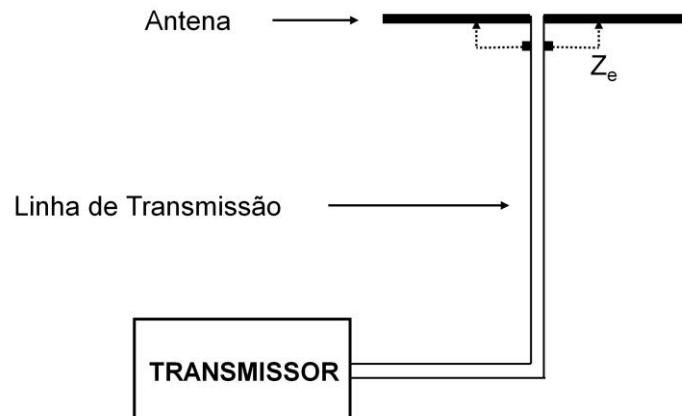
Considerando que o radiador isotrópico está situado na origem das coordenadas, qualquer ponto no espaço tridimensional pode ser definido como um vetor $r; \theta, \phi$, onde:

r - distância do centro;

θ , - ângulo em relação ao eixo z;

ϕ - ângulo em relação ao eixo x.

Impedância de Entrada - Z_e



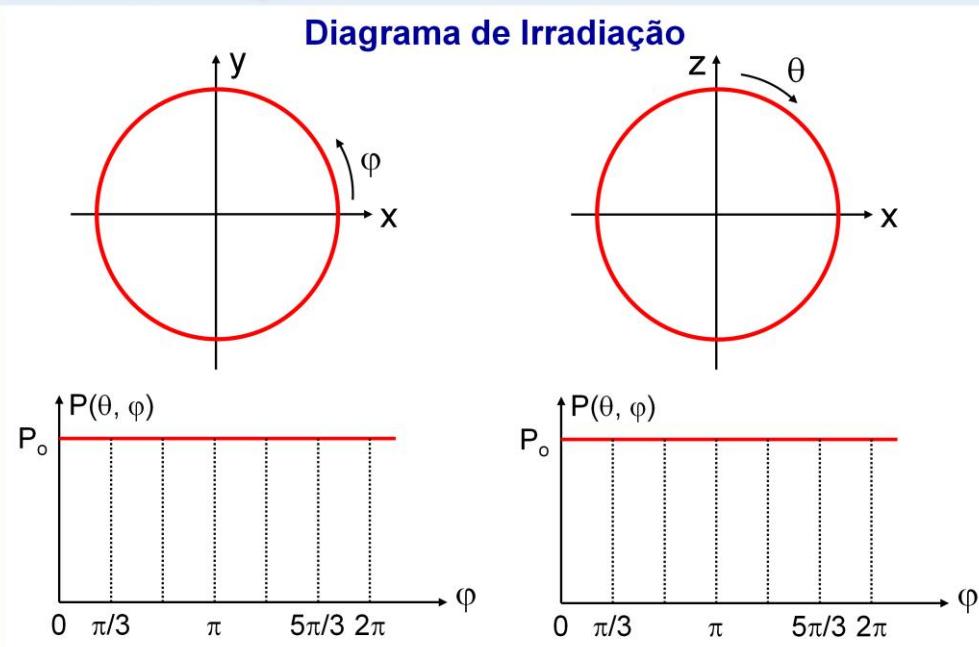
A impedância de entrada de uma antena é definida como sendo a impedância que ela apresenta para a linha de transmissão que a conecta à fonte do sinal, como podemos observar acima. O conceito de impedância de entrada da antena em nada difere da definida para qualquer sistema eletromagnético linear, passivo, que possua um único par de terminais.

A impedância de entrada depende de muitos fatores, destacando-se principalmente :

- características construtivas;
- forma de alimentação.

Em geral procura-se obter de uma antena a impedância mais próxima possível da impedância da linha de transmissão, de forma a minimizar as perdas por reflexão; esta pode ser representada da seguinte forma complexa :

$$Z_e = R_e + jX_e$$



O diagrama de irradiação de uma antena é uma de suas características mais importantes, pois a partir deste diagrama se consegue extrair uma grande quantidade de informação.

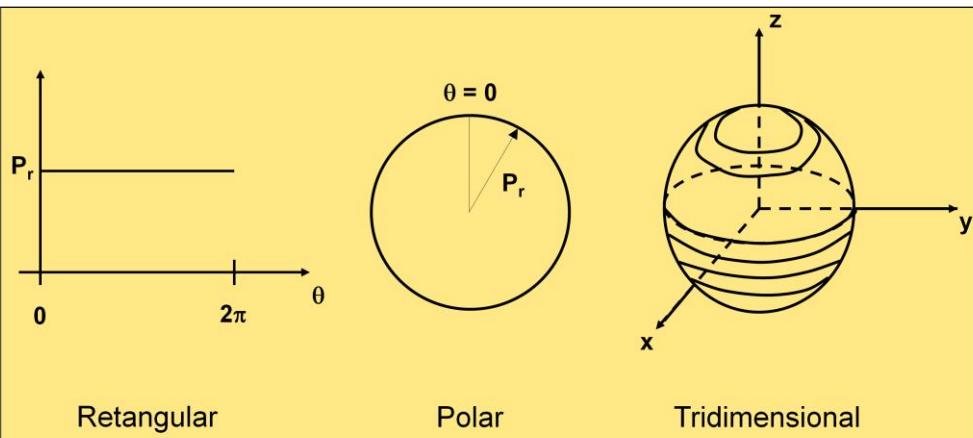
É importante salientar uma propriedade das antenas conhecida como “Teorema da reciprocidade”, que é o seguinte:

Para uma dada frequência, ou faixa de frequências constante, as antenas se comportam igualmente tanto na transmissão quanto na recepção. Isto significa que os diagramas de irradiação, impedância e outros parâmetros são iguais nas duas situações. Nota-se que certos parâmetros possuem restrições de ordem construtiva (ex. normalmente uma antena de recepção não suporta potências elevadas quando usada como transmissora).

Em princípio, o diagrama de irradiação é uma maneira de visualizar e medir a densidade de potência irradiada pela antena nas diversas direções existentes, e fundamentalmente é um gráfico em três dimensões. Somente de posse do diagrama de irradiação é que realmente se consegue analisar como uma determinada antena irradia.

Para o levantamento deste diagrama supõe-se a antena localizada na origem de um sistema de coordenadas esféricas. A seguir, mede-se a grandeza a ser representada sobre a superfície de uma esfera hipotética, a uma distância constante r . Os valores medidos são transportados para um gráfico em coordenadas retangulares ou polares. Conforme a grandeza representada pode-se ter um diagrama das formas apresentadas na folha seguinte:

Diagrama de Irradiação



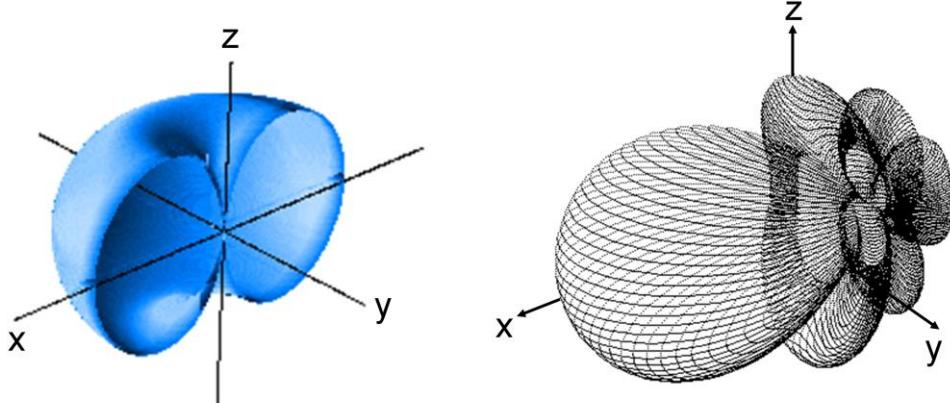
Sendo a intensidade de campo igual em todas as direções, nota-se que no diagrama de três dimensões forma-se uma esfera perfeita. Neste caso, qualquer plano de corte será igual, representados na figura acima.

Os diagramas de irradiação da antena isotrópica acima são definidos como:

- Diagrama retangular;
- Diagrama polar;
- Diagrama tridimensional.

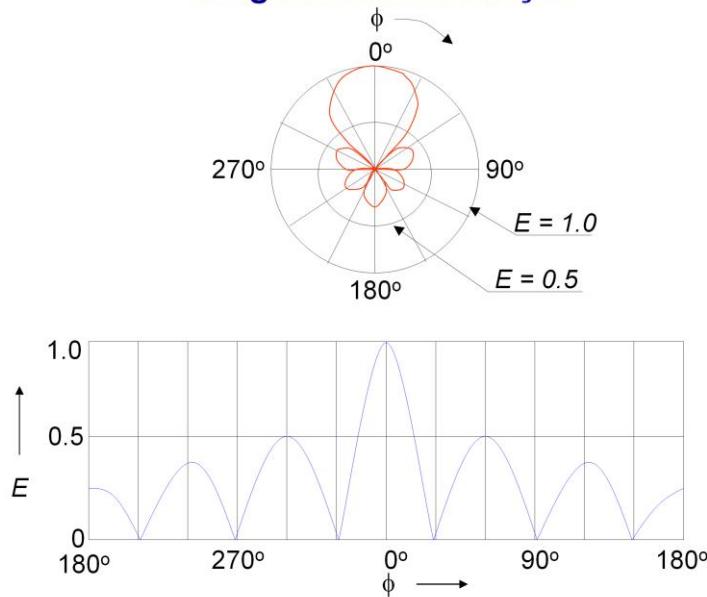
Diagrama de Irradiação – Exemplos Reais

www.inatel.br



Embora a antena isotrópica seja útil como elemento de referência ela não pode ser realizada na prática. Mesmo a mais simples de todas as antenas possui propriedades direcionais que lhes obrigam a irradiar mais energia em determinadas direções. São mostrados acima, diagramas de irradiação de antenas anisotrópicas e alguns diagramas típicos

Diagrama de Irradiação

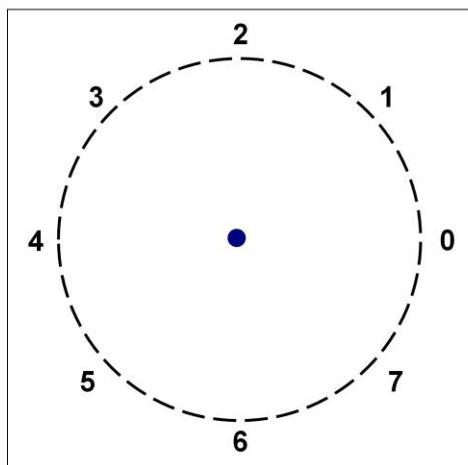


O objetivo deste exemplo é ilustrar a correlação entre o diagrama polar, figura de cima, e o diagrama retangular, figura de baixo, da mesma antena e no mesmo plano (corte).

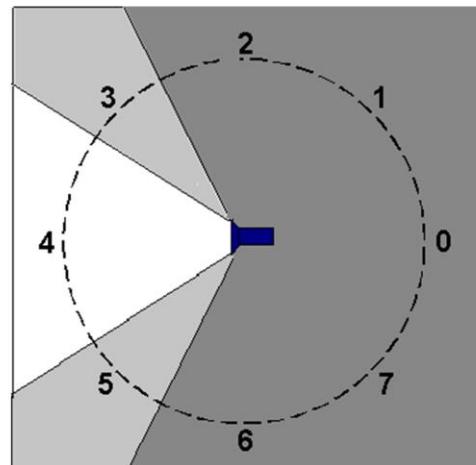
Nota-se que é fácil a localização de pontos de nulo no diagrama retangular, porém causa distorções visuais análogas às que acontecem nos mapas de projeção MERCATOR, principalmente nas regiões polares. Entretanto as informações contidas são mantidas.

Diretividade

Fonte Isotrópica



Lanterna

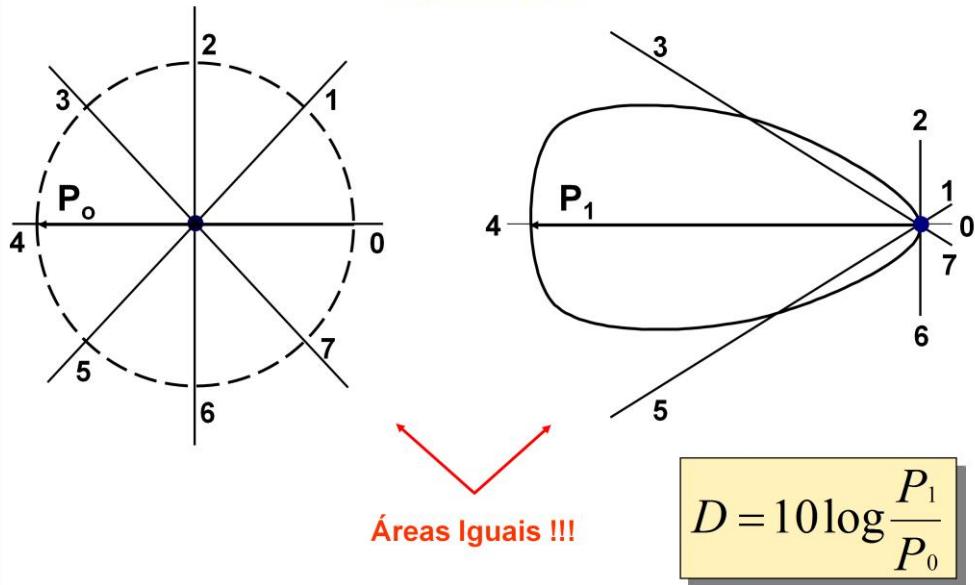


Como a antena real tende a concentrar a energia mais em uma direção do que em outra, torna-se importante introduzir o conceito de *diretividade* para esta antena. Por definição, a função *diretividade* $D(\theta, \phi)$ é a relação entre a intensidade de irradiação na direção (θ, ϕ) e a intensidade de irradiação média. A intensidade de irradiação média corresponde ao valor obtido se a antena irradiasse igualmente em todas as direções. Ou seja, é a intensidade de irradiação da antena isotrópica.

Este parâmetro é muito importante porque dá um informação quantitativa sobre a eficiência da antena em concentrar a energia irradiada em uma certa direção.

Na figura acima procuramos ilustrar essa comparação, através de um exemplo simples. A primeira fonte de luz é uma fonte isotrópica que irradia uma potência (P_o) em todas as direções, e consequentemente, seu diagrama de irradiação em qualquer plano é circular, conforme pode ser vista na próxima figura. A segunda fonte de luz é uma lanterna, que irradia uma intensidade de luz máxima na direção 4, ao passo que nenhuma luz na direção 0. Por esse motivo seu diagrama de irradiação é diferente da fonte isotrópica, uma vez que ele representa uma distribuição de energia com concentração em uma dada direção. É importante observar ainda que a área limitada pelos dois diagramas de irradiação são absolutamente iguais, o que significa que a potência total irradiada é exatamente a mesma.

Diretividade



A diferença fundamental é que na direção 4 a fonte isotrópica irradia uma potência $P_0 < P_1$ da lanterna e na direção 0 a lanterna não irradia potência alguma e a fonte isotrópica irradia a mesma potência P_0 .

Assim a diretividade fica :

$$D = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$$

Diretividade

Tipo de antena	Diretividade	Diretividade (dB)
Isotrópica	1	0
Dipolo curto	1,5	1,76
Dipolo de meia onda	1,64	2,15
Dipolo de meia onda sobre um plano condutor perfeito	3,28	5,15

Para nos aproximarmos de uma antena real, a função matemática $\sin^2\theta$, pode representar o dipolo curto.

A diretividade pra este caso é $D=1,5$.

Nota-se que neste caso existe irradiação para duas direções opostas, logo nos dois lados a diretividade é a mesma, pois existem dois máximos.

Nos cálculos e resultados de engenharia é mais comum que a diretividade seja apresentada na forma de decibéis, calculada pela seguinte expressão:

$$D(\text{dB}) = 10 \log D$$

A tabela acima apresenta os valores de diretividade com os seus correspondentes valores calculados em decibéis.

O ganho é relacionado com a diretividade apenas por uma constante:

$$G = \eta_r \cdot D$$

Onde η_r é o fator que representa a eficiência de irradiação da antena, ou seja, a influência das perdas ôhmicas dos materiais utilizados na fabricação e o casamento de impedância com o gerador.

Logo a diretividade é igual ao ganho quando a eficiência é de 100%.

Geralmente o ganho ou diretividade são expressos em dB e as unidades mais usadas são as seguintes:

dBi – (em relação à antena isotrópica)

dBd – (em relação ao dipolo de meia onda)

Eficiência de Irradiação de uma Antena

É a relação entre a potência irradiada e a potência entregue à antena, ou seja, a eficiência de irradiação quantifica as perdas na antena.

$$\eta = \frac{P'_m}{P_m}$$

A diretividade de uma antena é baseada apenas no formato do diagrama de irradiação, não sendo consideradas nem a potência de entrada e nem as perdas da antena. Em geral, parte da potência fornecida à antena é dissipada sob a forma de calor nos condutores e no dielétrico, além de eventuais perdas por reflexão, causadas pelo descasamento entre a antena e a linha de transmissão. Logo, irradiada uma parte menor do que a potência de entrada. Para analisar o desempenho da antena com relação às perdas define-se a *eficiência de irradiação*, η , pela relação entre a potência irradiada e a potência de entrada da antena. Isto é,

$$\eta = \frac{P_r}{P_e} = \frac{P_r}{P_r + P_L}$$

onde P_r é a potência irradiada, P_L é a potência perdida na antena e P_e é a potência de entrada. A intensidade de irradiação máxima é proporcional à potência irradiada. Desta forma, a eficiência de irradiação pode representar a relação entre a intensidade de irradiação máxima da antena real e a intensidade de irradiação máxima se a antena não tivesse nenhuma perda.

$$\eta = \frac{P'_m}{P_m}$$

Ganho

É a relação entre a máxima intensidade de irradiação da antena sob teste e a intensidade de irradiação máxima de uma antena de referência, com igual potência de entrada.

$$G = \frac{P'_m}{P_{mr}}$$

$$G_i = \eta \cdot D$$

$$G(dB) = 10 \log G$$

O ganho de potência de uma antena, simbolizado por G, é definido pela relação entre a máxima intensidade de irradiação da antena sob teste e a intensidade de irradiação máxima de uma antena de referência, com igual potência de entrada.

$$G = \frac{P'_m}{P_{mr}}$$

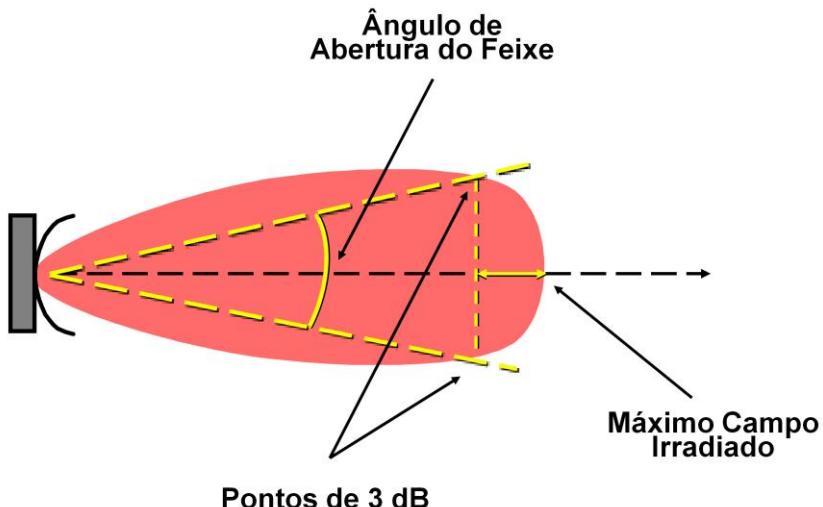
onde P_{mr} é a intensidade máxima da antena de referência. Esta antena de referência normalmente é o dipolo de meia-onda ou a antena isotrópica. Neste último caso, costuma-se simbolizar o ganho por G_o ou G_i , dado por

$$G_i = \frac{P'_m}{P_i} \quad \text{Equação 1}$$

Como a eficiência da antena é :

$$\eta = \frac{P'_m}{P_m} \quad \text{Equação 2}$$

Largura de Feixe



A *abertura de feixe*, também denominada *largura de feixe* ou *ângulo de abertura do feixe*, corresponde ao ângulo formado pelas retas que saem da origem do diagrama de irradiação e passam pelos pontos de meia potência do lóbulo principal. Quando a escala usada é a logarítmica, esse ângulo é medido onde a irradiação cai 3 dB (metade) em relação à máxima intensidade de irradiação.

Algumas antenas apresentam diagramas de irradiação consistindo de vários lóbulos, todos eles com densidades máximas de potência da mesma ordem de grandeza, mas não apresentando a mesma abertura de feixe. Neste caso, o conceito de abertura de feixe perde o significado, só devendo ser empregado para antenas que apresentam apenas um lóbulo principal. Evidentemente, quanto maior for a diretividade da antena menor será a abertura de feixe, mostrando uma estreita relação entre o ganho e a abertura de feixe.

Algumas antenas têm abertura de feixe dependente do plano de referência considerado. Quando isto ocorrer costuma-se definir uma abertura de feixe no plano horizontal e uma no plano vertical (ou em outro plano especificado).

Um exemplo de aplicação dos ângulos de meia potência é no caso de um antena direcional com feixe estreito utilizada como elemento localizador de uma fonte transmissora. Apesar do feixe estreito e com um bom apontamento, fica difícil de determinar com precisão a direção exata do transmissor, devido à característica do lóbulo da antena de ser “plano” nos pontos de máxima intensidade.

Largura de Faixa ou Faixa de Passagem

$$BW = f_{máx} - f_{mín}$$

$$BW(\%) = \left(\frac{f_{máx} - f_{mín}}{f_o} \right) \cdot 100\%$$

$$BW_r = \frac{f_{máx}}{f_{mín}}$$

Em geral todas as características de uma antena são dependentes da frequência. Por isso é importante considerar-se a faixa de frequências dentro da qual o desempenho da antena esteja dentro das especificações impostas para impedâncias, diagrama de irradiação, abertura de faixa, etc... Algumas antenas devem operar em um faixa estreita de frequências. Outras aplicações envolvem sistemas com grande largura de faixa, o que implica no emprego de antenas especiais, seguindo técnicas de projeto e construção mais sofisticadas.

A largura de faixa pode ser calculada pela diferença entre a maior e a menor frequência de operação:

$$BW = f_{máx} - f_{mín}$$

ou pela relação entre este valor e a frequência central da faixa,

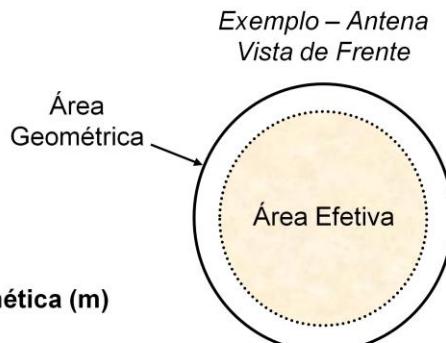
$$BW(\%) = \left(\frac{f_{máx} - f_{mín}}{f_o} \right) \cdot 100\%$$

Área Efetiva

Uma antena receptora coleta energia de uma onda plana incidente, se devidamente casada, transfere essa energia para a carga. A área efetiva de irradiação pode ser definida como a área de uma antena ideal a qual absorve a mesma potência de uma onda plana incidente da antena em questão.

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D$$

λ → comprimento da onda eletromagnética (m)
 D → diretividade



O desempenho de uma antena também pode ser expressa em termos do aproveitamento de sua área física em relação a sua seção transversal ou área efetivamente ativa.

Uma antena receptora coleta energia de uma onda plana incidente, se devidamente casada, transfere essa energia para a carga. A área efetiva de irradiação pode ser definida como a área de uma antena ideal a qual absorve a mesma potência de uma onda plana incidente da antena em questão.

De uma maneira mais direta, a área efetiva pode ser expressa como a porção da área física da antena realmente utilizada.

Em termos de diretividade a área efetiva da antena é dada por:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D$$

Resistência de Irradiação

É o valor de resistência equivalente que consumiria do transmissor a mesma potência irradiada pela antena.

Se I_m for o valor de pico da corrente no ponto de alimentação da antena:

$$P = \left(\frac{I_m}{\sqrt{2}} \right)^2 \cdot R_0$$

ou

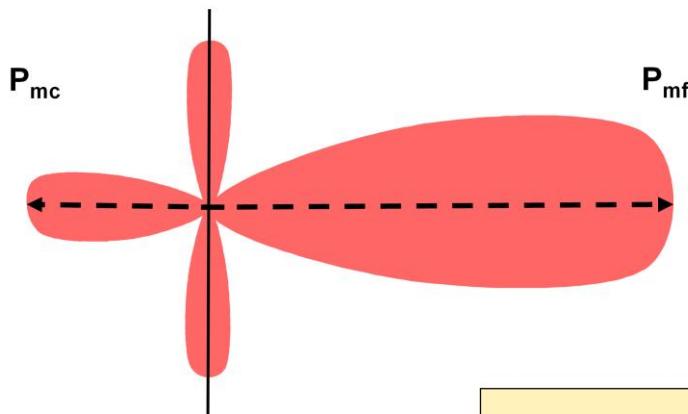
$$R_0 = \frac{2P}{I_m^2}$$

Ao aplicar um sinal a uma antena, mesmo que ela não apresente perdas, haverá um consumo de potência da fonte de sinal, representando a energia irradiada sob forma de ondas eletromagnéticas. Ou seja, o sistema comporta-se como se houvesse uma resistência absorvendo a potência da fonte. Portanto, o efeito da irradiação é o mesmo de uma resistência equivalente dissipando a mesma quantidade de potência. Essa resistência é denominada *resistência de irradiação*. Assim, se a irradiação de uma potência P é obtida pela circulação de uma corrente senoidal com valor máximo I_m , a resistência de irradiação será:

$$R_0 = \frac{2P}{I_m^2}$$

Esse conceito é aplicável apenas às antenas para as quais a irradiação é devida a uma corrente em um único condutor. Ainda assim, quando o comprimento da antena é da ordem de grandeza do comprimento de onda ou maior, esta definição sofre algumas restrições, uma vez que a corrente não é constante ao longo de toda a extensão do condutor. Desta forma, é necessário especificar a posição na qual a corrente foi medida. Normalmente toma-se ou nos pontos em que a corrente é máxima ou nos terminais de entrada da antena. Em alguns tipos de antena estes pontos coincidem, como por exemplo no dipolo de meia-onda.

Relação Frente-Costa



$$RFC = 10 \log \frac{P_{mf}}{P_{mc}}$$

Existem antenas que apresentam o diagrama de irradiação com um lóbulo principal bem destacado e vários lóbulos secundários, de menor amplitude, indicando irradiação da onda eletromagnética em outras direções.

Observa-se que uma característica de irradiação deste tipo indica a possibilidade de recepção de sinais indesejáveis nas direções dos lóbulos secundários. Por estas razões, uma antena diretiva deve apresentar o lóbulo principal bem maior do que os secundários. Comumente, costuma-se comparar a irradiação (ou recepção) na direção do máximo do lóbulo principal com a correspondente na direção oposta. A este parâmetro dá-se o nome de *relação frente-costa* da antena (RFC). Dessa forma temos

$$RFC = 10 \log \frac{P_{mf}}{P_{mc}}$$

Onde P_{mf} é a potência transmitida (ou recebida) na direção do máximo de irradiação do lóbulo principal e P_{mc} é a potência transmitida (ou recebida) na direção oposta.

Polarização

- Polarização Linear
- Polarização Circular
- Polarização Elíptica
- Rejeição de Polarização

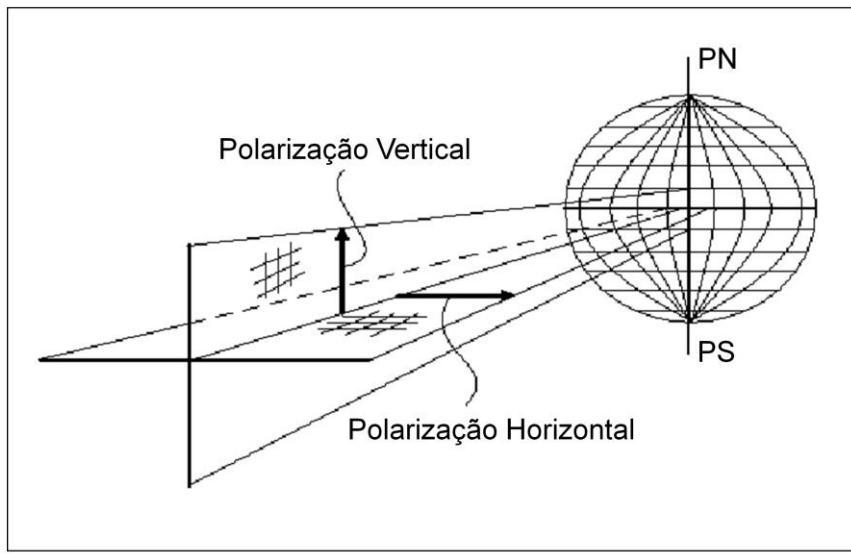
A polarização de uma antena é determinada pela polarização desejada para a onda eletromagnética irradiada. As antenas mais simples transmitem ou recebem ondas polarizadas linearmente. Nesta situação, obtém-se a polarização desejada pela posição da antena em relação à superfície da terra.

A escolha do tipo de polarização algumas vezes é baseada na necessidade e outras vezes em vantagens técnicas de um tipo sobre o outro. Por exemplo, em baixas frequências, até a faixa de radiodifusão em ondas médias, é praticamente impossível transmitir de forma satisfatória uma onda polarizada horizontalmente. Isto porque sendo o solo condutor nesta faixa, o campo eletromagnético fica curto-circuitado no plano horizontal resultando em uma forte atenuação do sinal na direção paralela à superfície da Terra. Desta maneira, abaixo de 2 MHz a polarização vertical é a mais freqüentemente encontrada.

Nas frequências correspondentes aos canais de televisão foi padronizada a polarização horizontal, na maioria dos países. Tal fato é justificado pela verificação experimental de que os ruídos produzidos pelo homem (motores, máquinas, etc) interferem mais nas ondas polarizadas verticalmente.

Em comunicações na faixa de microondas os dois tipos de polarização são utilizados e ambos podem apresentar vantagens, conforme a aplicação. Eventualmente, em lances que incluem repetidores para reforço do sinal, a recepção é feita em uma polarização e a transmissão é feita em outra, a fim de reduzir a probabilidade de interferência do sinal transmitido sobre o recebido.

Polarização Linear

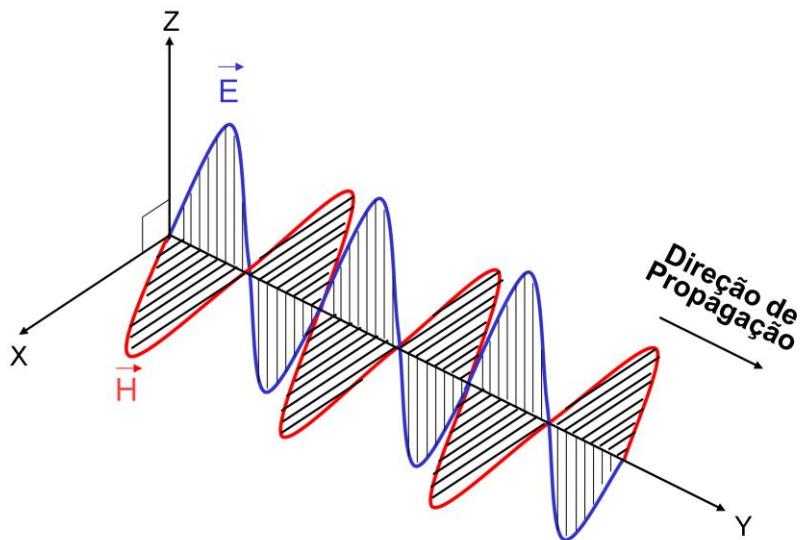


Diz-se que a antena possui polarização linear quando a onda irradiada tem polarização linear. Para os sistemas usuais costuma-se identificar a polarização linear horizontal e a polarização linear vertical. Para comunicações terrestres a polarização linear vertical terrestre indica que o campo elétrico irradiado é normal a superfície da terra. A polarização linear horizontal indica que o campo elétrico é paralelo à superfície da terra.

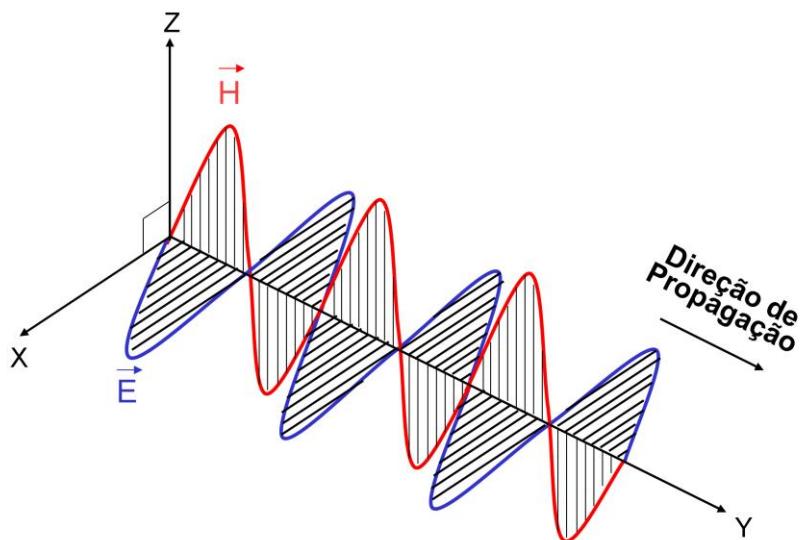
Para comunicações especiais considera-se polarização horizontal quando o campo elétrico estiver paralelo a linha do Equador e considera-se polarização vertical quando o campo elétrico estiver paralelo ao eixo polar.

Polarização Linear Vertical

www.inatel.br

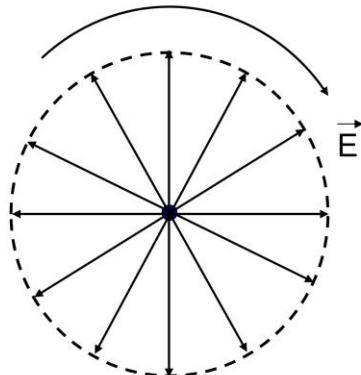


Polarização Linear Horizontal

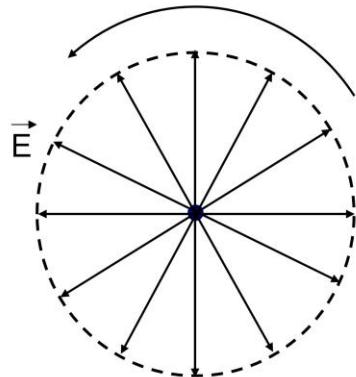


Polarização Circular

www.inatel.br



Polarização circular a direita

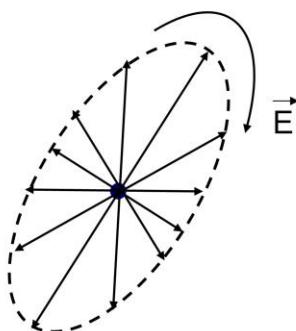


Polarização circular a esquerda

É usada em alguns sistemas de comunicações, como em radiodifusão FM, sistemas de satélites e outros.

É possível irradiar com polarização circular à direita e à esquerda. Nestes casos, o campo elétrico resultante apresenta campo elétrico constante e direção variável, com a extremidade do vetor e (ou h) movendo-se sobre uma circunferência de círculo.

Polarização Elíptica



Para essa polarização segue o mesmo comentário feito no slide anterior, pois a polarização elíptica é o caso geral da polarização circular.

Nas antenas polarizadas circularmente existe ainda o efeito da razão axial, que consiste na desigualdade entre os dois eixos da elipse que forma a rotação da polarização.

O ideal é a razão axial igual a 1 ou 0 dB, o que significa que não há perdas por despolarização no sistema. Devido às deformações das antenas, na prática, a razão axial sempre pode ser medida e causa perdas que variam de acordo com a antena.

Rejeição de Polarização

- Uma antena com polarização vertical não deveria receber qualquer sinal com polarização horizontal e vice-versa. Na prática, é comum receber parte da polarização indesejável.
- A relação entre a amplitude do sinal desejado e a amplitude do sinal indesejado, define a rejeição de polarização cruzada (XPD).

E_d = campo de polarização desejada

E_i = campo de polarização indesejada

$$XPD(dB) = 20 \log \left| \frac{E_d}{E_i} \right|$$

A polarização é extremamente importante na definição de uma antena, pois polarizações cruzadas entre antenas inviabilizam a transmissão ou recepção de sinais.

Isso significa que se a antena transmissora está em polarização vertical, a receptora também deve estar, para otimizar a recepção. Teoricamente, polarizações ortogonais são incompatíveis, ou seja, a antena literalmente não funciona.

Na prática ocorre a chamada polarização cruzada para polarizações lineares, que consiste no nível de polarização ortogonal que é excitado de forma indesejável devido as deformidades construtivas da antena.

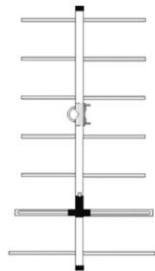
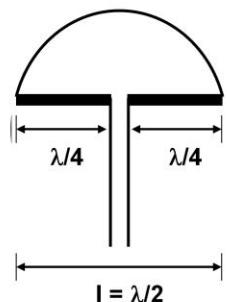
Esse parâmetro é de extrema importância em alguns sistemas, podendo esse “vazamento” de polarização causar sérias interferências nas comunicações.

No caso da polarização circular, a polarização cruzada ocorre entre as polarizações direita e esquerda.

Agenda

- Introdução
- Histórico
- Parâmetros das antenas
- Principais tipos de antenas
 - Dipolos
 - Monopolos
 - Redes de antenas lineares
 - ❖ Log Periódica
 - ❖ Yagi-Uda
 - ❖ Helicoidal
 - ❖ Corneta
 - Antenas com refletores
 - ❖ Planos
 - ❖ Canto
 - ❖ Parabólicos

Tipos de antenas



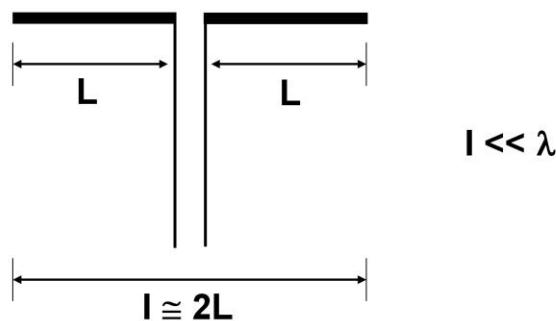
A quantidade e a variedade dos tipos de antenas é extremamente grande. O objetivo é mostrar as principais geometrias e suas características básicas. Em geral, a classificação das antenas é feita a partir dos seus parâmetros básicos já definidos previamente, de forma que pode-se enquadrá-las em mais de uma categoria.

Dipolos e Monopolos

- Dipolo Curto
- Dipolo de Meia Onda
- Dipolos de Comprimentos Variados
- Dipolo Dobrado
- Monopolos

Os dipolos e monopolos são as mais simples e comuns das antenas existentes, mesmo porque, a engenharia de antenas nasceu com o dipolo de Hertz.

Dipolo Curto



- Também conhecida com Dipolo de Hertz

Dipolo curto, também conhecido como **dipolo de Hertz** talvez seja a estrutura mais simples e mais importante sob o ponto de vista da teoria de antenas. O nome dipolo curto é dado devido ele apresentar pequeno comprimento em relação ao comprimento de onda, sendo não maior que $0,1\lambda$.

Características:

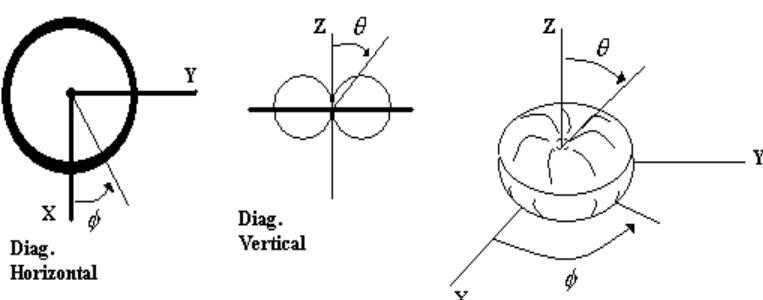
Resistência de irradiação:

$$Rr = 790 \frac{\ell^2}{\lambda^2}$$

onde: ℓ é o comprimento do dipolo

λ é o comprimento de onda

Diagramas de irradiação: Omnidirecional no plano horizontal, forma de um “∞” no plano vertical e de um toróide de revolução em forma tridimensional.

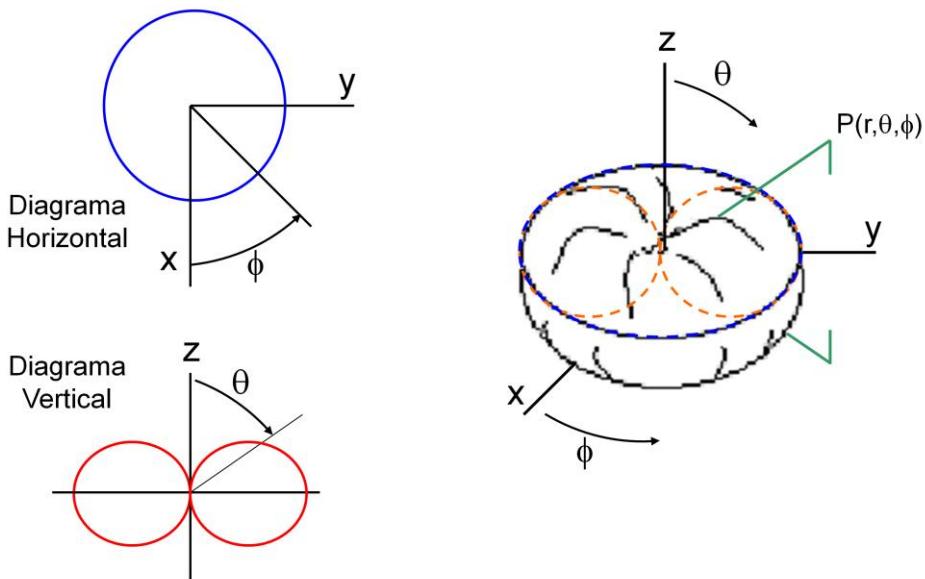


Largura de feixe: 90°

Diretividade: 1,5 ou 1,74 dBi

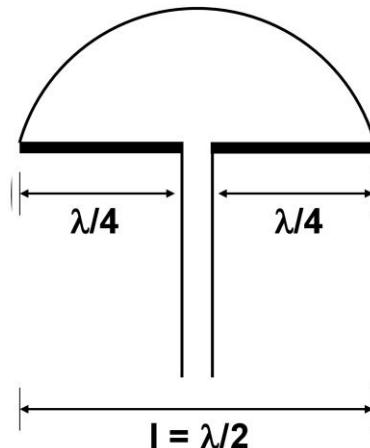
Diagrama de Irradiação do Dipolo Curto

www.inatel.br



Observa-se que no corte horizontal o diagrama é omnidirecional (plano perpendicular ao eixo do dipolo), ou seja, irradia igualmente em todas as direções e no corte vertical forma um “8” como vemos acima. Em termos tridimensionais forma um toróide de revolução.

Devido sua característica não ressonante o dipolo curto é em geral uma antena de baixa eficiência. Para seu uso adequado usualmente são feitos elaborados circuitos de casamento de impedância pra compensar o fator mencionado.

Dipolo de Meia Onda

O dipolo de meia onda é uma das antenas lineares mais largamente difundidas na prática, em face às suas características de irradiação, impedância de entrada e facilidade de construção e excitação.

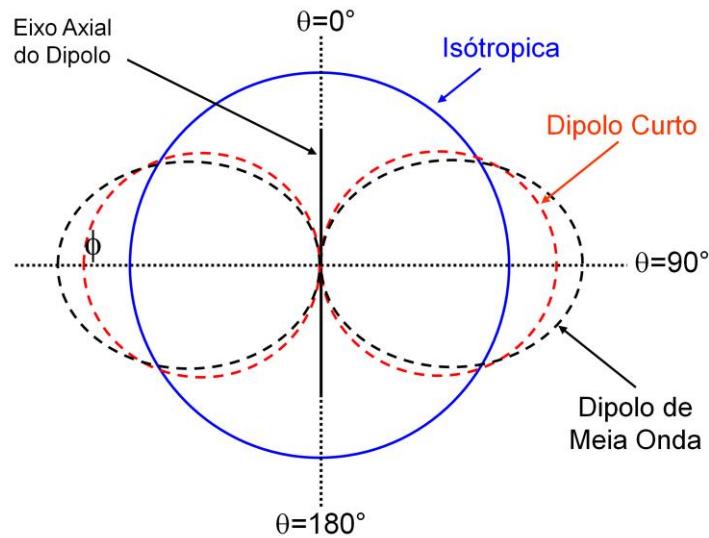
Diagrama de irradiação: Comportamento é semelhante ao dipolo curto.

Largura de Feixe: 78° (pouco menor do que dipolo curto)

Diretividade: 1,64 ou 2,14 dBi

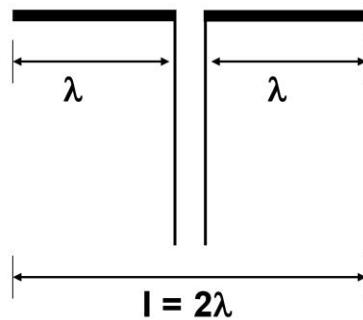
Área Efetiva: $A_e = 0,1306\lambda^2 = 0,5224l^2$

Resistência de Irradiação: $73,1\Omega$ (antena extremamente fina e comprimento igual a $\lambda/2$). Na verdade a resistência de irradiação depende do diâmetro do condutor e do comprimento de onda e na prática ela varia de 62 a 68 Ohms. A redução do dipolo de meia onda, em torno de 5%, para que ele alcance a condição de ressonância, faz com que a resistência de irradiação varie também.

Diagrama de Irradiação do Dipolo de Meia Onda

O slide acima mostra o diagrama do dipolo de meia onda comparado à antena isotrópica e ao dipolo curto.

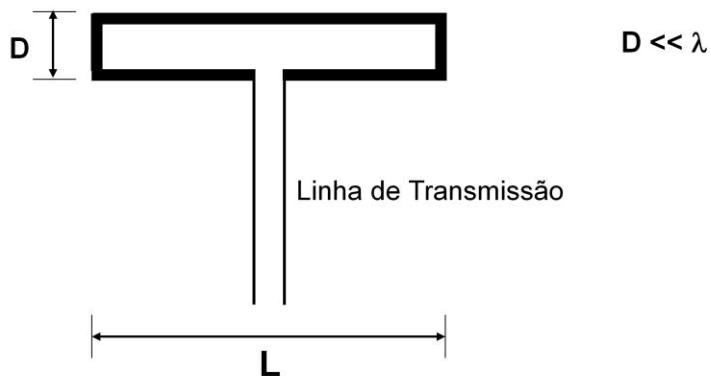
Dipolos de Comprimentos Variados



Quando as dimensões físicas do dipolo ultrapassam um comprimento de onda, surgem vários lóbulos de igual intensidade e outros secundários. Nessa caso não faz sentido definir os parâmetros da antena a não ser que se defina o lóbulo em questão.

O diagrama de irradiação também é afetado pelo diâmetro do tubo que forma os braços do dipolo. Cabe lembrar que, a análise inversa pode ser aplicada, ou seja, dado que uma antena do tipo dipolo foi construída para a frequência f_o , se a frequência for alterada de forma significativa, pode-se mudar completamente seu comportamento. O diagrama de irradiação pode deslocar seu máximo para as mais variadas direções.

Dipolo Dobrado



- Quando for de $\lambda/2$ sua impedância é da ordem de 300Ω
- Muito conveniente para recepção de sinais de TV
- Costuma-se fazer D até 5% de λ

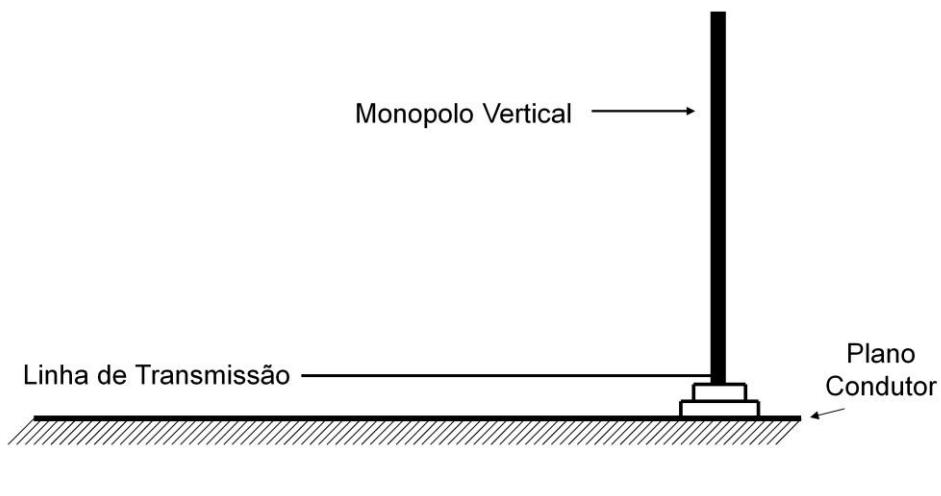
O dipolo dobrado é construído de dois dipolos com as extremidades interligadas. É necessário que a separação entre os condutores seja muito menor do que o comprimento de onda.

Para o dipolo dobrado com tamanho igual a $\lambda/2$ sua impedância é igual a 300Ω , o que o torna muito conveniente para uso na recepção de TV. A largura de faixa também aumenta e é da ordem de 45% em relação a f_0 . (no dipolo de meia onda simples é de 34%).

Para que esta antena atue como dipolo dobrado é necessário que a separação entre os condutores seja muito menor do que o comprimento de onda. Tipicamente, o valor dessa separação não deve ultrapassar 5% de λ .

Naturalmente, como todas as antenas, existem inúmeras variações em torno da idéia, ou seja, pode-se variar o comprimento físico em relação à λ e construir de forma assimétrica para os diâmetros dos tubos, gerando uma infinidade de características diferentes.

Monopolos



Utilizando as propriedades de reflexão no solo pelas ondas eletromagnéticas, tornou-se possível realizar muitas aplicações para antenas verticais, principalmente em radiodifusão em frequências mais baixas.

Com apenas a metade do dipolo instalado, perpendicular ao solo, gera-se o monopolo vertical como pode ser visto no slide.

Quando o monopolo vertical se situar bem próximo ao solo, fica praticamente unida à sua imagem e o conjunto funciona como se fosse uma antena com o dobro do tamanho.

A impedância de entrada do monopolo vertical é igual à metade da do dipolo simétrico correspondente e raciocínio semelhante pode ser feito a resistência de irradiação.

Essa antena é largamente utilizada em sistemas de radiodifusão, devido sua característica omnidirecional no plano horizontal. Como a imagem no solo é refletida, o campo irradiado é o dobro do dipolo, ou seja, a diretividade do monopolo vertical é duas vezes a do dipolo equivalente, assim, um monopolo curto possui $D=3$ e o monopolo de $\lambda/4$ tem $D=3,28$ ou $5,15$ dBi.

Os diagramas de irradiação do monopolo vertical também se comportam aproximadamente como os do dipolo secionado ao meio (ver diagrama do dipolo curto visto anteriormente). O máximo do diagrama de irradiação nem sempre ocorre na direção do horizonte, fato desejado para as emissoras de radiodifusão. A altura do monopolo é que determina a intensidade de campo na direção do horizonte.

Agenda

- Introdução
- Histórico
- Parâmetros das antenas
- Principais tipos de antenas
 - Dipolos
 - Monopolos
 - Redes de antenas lineares
 - ❖ Log Periódica
 - ❖ Yagi-Uda
 - ❖ Helicoidal
 - ❖ Corneta
 - Antenas com refletores
 - ❖ Planos
 - ❖ Canto
 - ❖ Parabólicos

Redes de Antenas Lineares

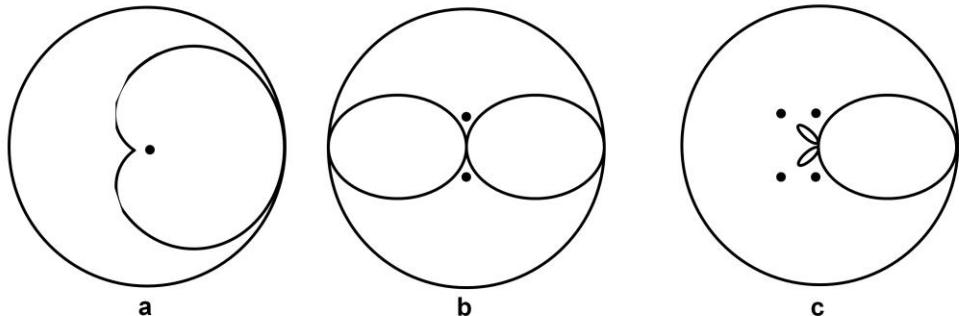
- As redes de antenas são formadas por dipolos ou outras antenas situadas lado a lado.
- O objetivo é reforçar os lóbulos maiores de forma a aumentar o ganho da antena como um todo. Variando-se a alimentação das antenas e a distância entre elas, é possível formatar e orientar o diagrama do conjunto.
- Redes
 - Transversais (ou “broadside”)
 - Longitudinais (ou “end-fire”)

As redes (Arrays) são formadas por dipolos ou outras antenas situadas lado a lado de forma que as contribuições de cada uma somadas ou subtraídas, geram diagramas dos mais variados tipos. Em geral, o objetivo é reforçar os lóbulos maiores de forma a aumentar o ganho da antena como um todo. Isso é verdade principalmente nas redes denominadas “end-fire” e “broadside”.

Redes de Antenas Lineares

Diagramas de irradiação de uma rede linear de dois elementos alimentados pela mesma amplitude

www.inatel.br



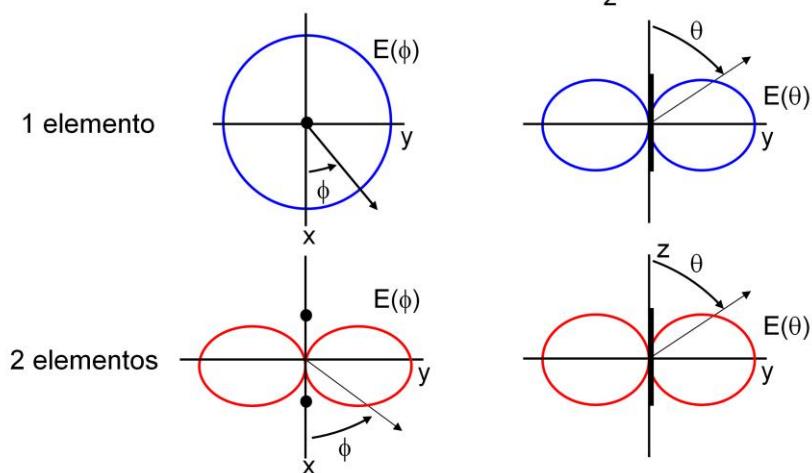
- a) Espaçamento entre as antenas de $\lambda/4$ e fase T/4 (end-fire) ($T=360^\circ$)
- b) Espaçamento entre as antenas de $\lambda/2$ e fases iguais (broadside)
- c) Combinação dos dois casos anteriores

As redes (Arrays) são formadas por dipolos ou outras antenas situadas lado a lado de forma que as distribuições de cada uma somadas ou subtraídas, geram diagramas dos mais variados tipos. Em geral, o objetivo é reforçar os lóbulos maiores de forma a aumentar o ganho da antena como um todo. Isso é verdade principalmente nas redes denominadas “end-fire” e “broadside”.

Os exemplos mostram que variando-se a alimentação das antenas e a distância entre elas é possível formatar e orientar o diagrama do conjunto. Esse princípio é utilizado nas antenas de varredura eletrônicas onde a antena fisicamente permanece estática e através do computador executa-se defasagens individuais nos múltiplos elementos irradiantes gerando assim a orientação do feixe, bem como o formato do diagrama.

Redes Transversais (Broadside)

- Apresenta diagrama de irradiação perpendicular ao eixo da rede.
- Os elementos devem ser alimentados em fase.

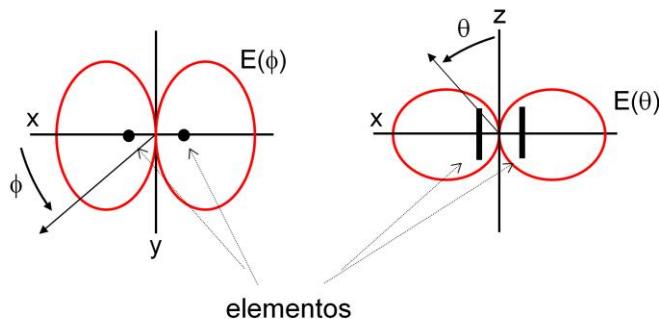


Essa rede apresenta um diagrama de radiação no qual o lóbulo principal está na direção perpendicular ao eixo da rede. No caso dos elementos estarem dispostos ao longo do eixo x, a máxima radiação a 90° e 270° . Os elementos da rede devem ser alimentados em fase.

No slide acima vemos o exemplo de dois elementos formando uma rede “broadside”, nesse exemplo de rede os dois dipolos de meia onda estão em fase e espaçados de $\lambda/2$. Podemos visualizar os diagramas de irradiação comparado ao dipolo simples. O ganho dessa rede é de 6 dBi.

Redes Longitudinais (End-Fire)

- Apresenta diagrama de irradiação na direção do eixo da rede.
- Os elementos devem ser alimentados em fases adiantadas ou retardadas (conforme deseja-se a direção do lóbulo principal).



O diagrama gerado por essa rede apresenta o lóbulo principal na direção do eixo da rede. Assim sendo, quando os elementos estiverem no eixo x, o máximo campo ao longo desse eixo é obtido a 0° e 180° . Os elementos devem ser alimentados com fases retardadas ou adiantadas, conforme desejado a direção do lóbulo principal.

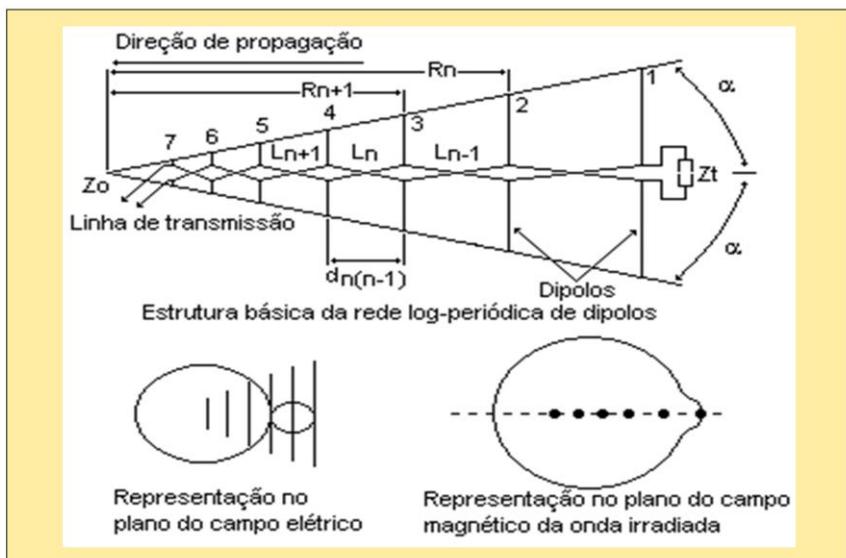
No slide acima vemos um exemplo de dois elementos formando uma rede “end-fire”, onde os dois dipolos de meia onda em oposição de fase estão espaçados de $\lambda/2$. O ganho do conjunto é de 4,4 dBi, o que mostra que a rede “broadside” apresenta maior ganho do que a rede “end-fire”.

Antena Log Periódica

Trata-se de uma rede de N dipolos cujos comprimentos diminuem progressivamente obedecendo a uma relação constante denominada **relação de projeto (τ)**. As separações entre os elementos também diminuem progressivamente obedecendo a mesma relação de projeto. O sistema adotado na alimentação é tal que a máxima irradiação ocorre na direção do menor elemento da rede.

A antena Log Periódica é uma antena utilizada no domínio das comunicações profissionais e fundamentalmente nas faixas de ondas-curtas. Esta antena utiliza-se sobretudo quando se tem necessidade de explorar vastos planos de freqüências, como as situações decorrentes da monitorização de comunicações radioelétricas, incluindo por exemplo, outras atividades de investigação e desenvolvimento, onde se incluem as medidas espectrais e de compatibilidade electromagnética.

Antena Log Periódica



Temos

$$\frac{R_{N+1}}{R_N} = \frac{R_N}{R_{N-1}} = \frac{L_{N+1}}{L_N} = \frac{L_N}{L_{N-1}} = \tau$$

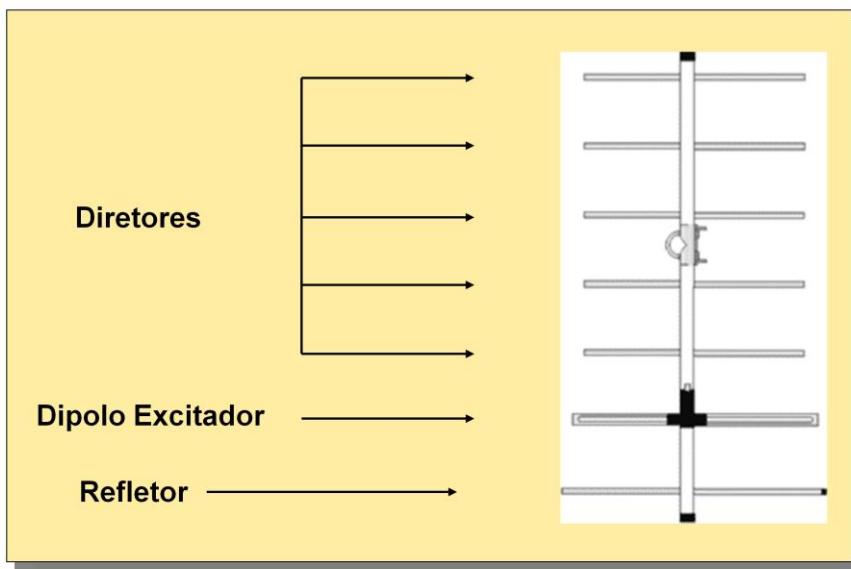
Sendo τ a relação de projeto e seu valor situa-se entre 0,8 e 0,98.

Admitindo-se que o dipolo (2), da figura do slide, esteja na condição de ressonância em um freqüência especificada. O dipolo (1), por ser de maior comprimento, age como refletor e os dipolos (3) e (4) atuam como diretores. Então nesta freqüência tem-se máxima irradiação no sentido do vértice da antena. Os dipolos menores que estiverem muito fora da ressonância têm elevada reatância de entrada e sua corrente fica muito pequena. Então a contribuição sobre o campo irradiado também diminui muito. Assim, nessa freqüência tem-se apenas um conjunto de dipolos que estão efetivamente trabalhando. Este conjunto representa a **região ativa** da antena.

Aumentando a freqüência o dipolo (3) entra em ressonância, o dipolo (2) passa a agir como refletor e o dipolo (4) atua como diretor mantendo o ganho da antena constante. Ou seja, com o aumento da freqüência toda a região ativa deslocou-se na direção do vértice da rede.

Alcançaremos uma freqüência na qual o número de dipolos que agem como diretores começa a diminuir e o ganho da rede cai de valor. Isto determina a freqüência máxima da rede. Conclui-se que este sistema garante a atuação em faixa larga. É possível encontrar rede deste tipo com largura de faixa de 10:1, com ganhos entre 7dBi e 10dBi.

Antena Yagi-Uda



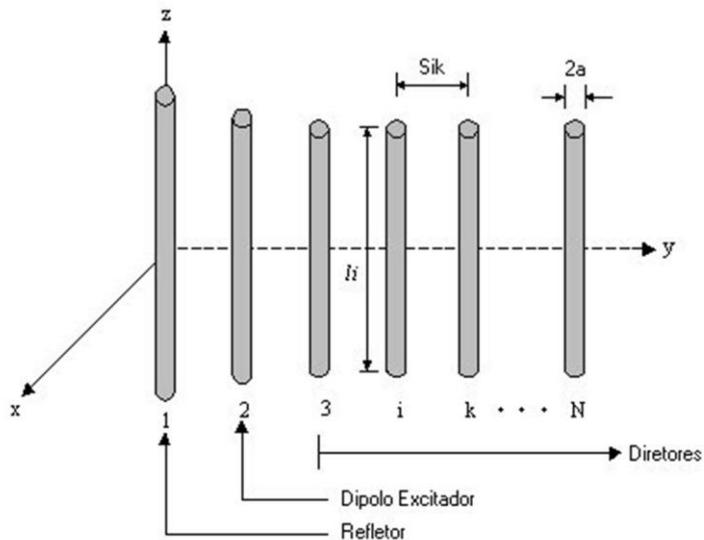
As antenas Yagi são utilizadas desde a faixa de HF até UHF (alguns MHz a centenas de MHz) sendo entretanto o peso de sua aplicação localizado na faixa de VHF. São antenas constituídas de um dipolo excitador (simples ou dobrado), um elemento refletor e um certo número de diretores que varia com o projeto da antena.

O detalhamento do projeto de uma antena Yagi é razoavelmente complexo, existindo entretanto tabelas que permitem determinar o número de elementos necessários, suas dimensões e espaçamentos como função do ganho desejado, faixa passante, relação frente-costa e impedâncias requeridas.

Até o limite de 5 ou 6 elementos o projeto da Yagi pode ser feito obtendo-se ganhos da ordem de 10 dB, com largura de faixa de 2% e relação frente-costa de 15 dB. Ganhos mais elevados exigem um número maior de elementos, sendo entretanto difícil manter o compromisso com a faixa de passagem e impedâncias desejadas, que diminuem com o aumento do número de elementos.

Para aumentar a diretividade são utilizadas mais de uma antena Yagi, instaladas em planos diferentes, de modo que a composição resultante tenha um diagrama de irradiação com as características de diretividade e relação frente-costa superiores aos da Yagi isolada. Esta configuração é chamada de *empilhamento de Yagi*.

Antena Yagi-Uda



Como comentado anteriormente, a antena Yagi-Uda consiste essencialmente de um elemento excitador ou alimentador e elementos parasitas ou em curto, sendo que esses elementos parasitas dividem-se em refletores e diretores, conforme mostra a figura do slide.

Onde:

li - Comprimento dos diretores;

Sik - Espaçamento entre os diretores;

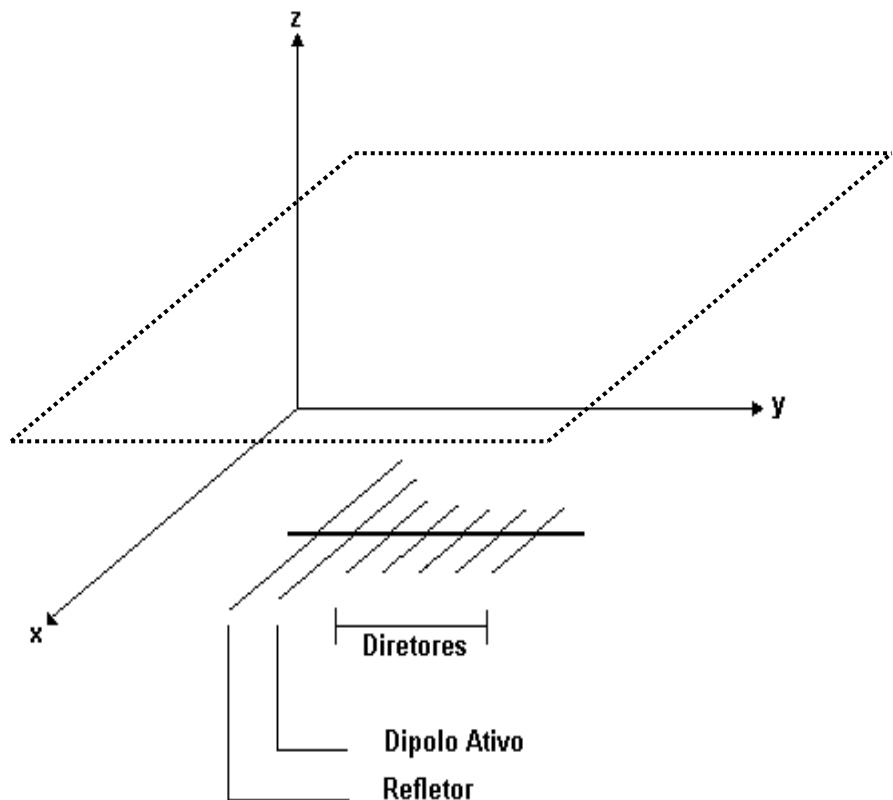
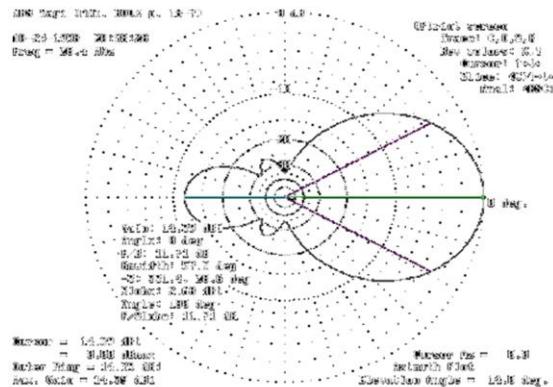
$2a$ - Diâmetro do tubo.

O excitador é um dipolo que tem por função alimentar o arranjo dos elementos parasitas. O refletor é geralmente maior que o excitador e este maior que o elemento diretor.

O elemento ativo é projetado para ficar próximo da condição de ressonância. Se colocarmos lado a lado um dipolo com comprimento ligeiramente maior (5% maior, aproximadamente), o diagrama de irradiação resultante apresenta valor máximo no lado do elemento excitado. Neste caso o elemento parasita é chamado de **refletor**. Se o elemento parasita for ligeiramente menor do que o elemento ativo (5% menor), a máxima irradiação ocorre no lado do elemento parasita, que neste caso recebe o nome de **diretor**.

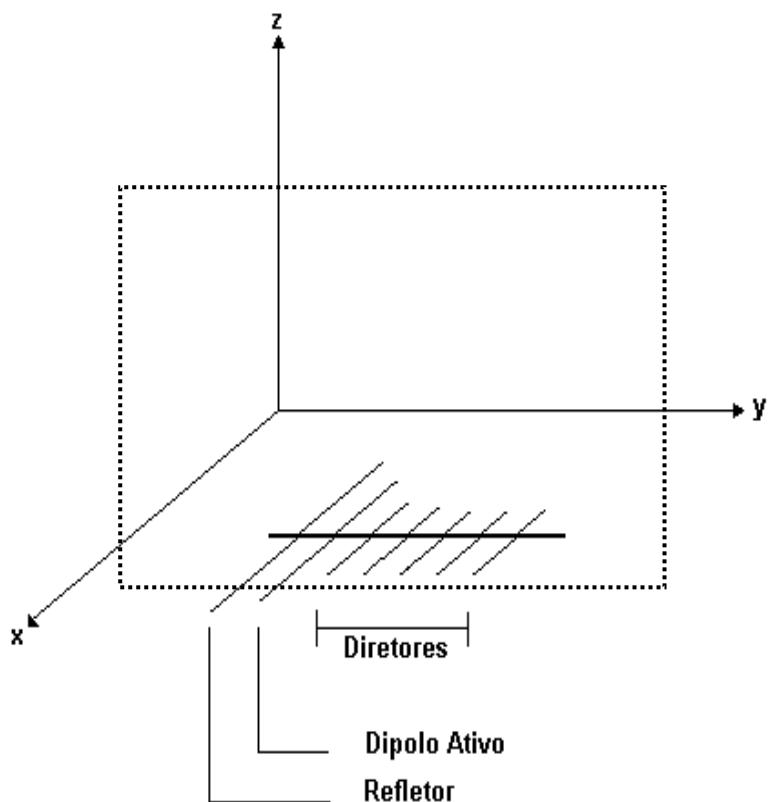
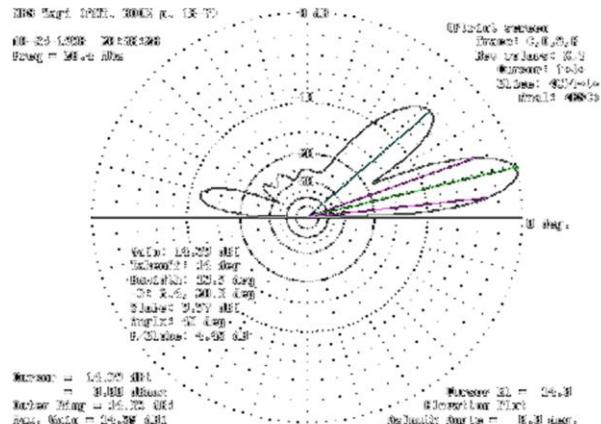
Antena Yagi-Uda

Diagrama de irradiação de uma antena Yagi com 7 elementos no plano XY



Antena Yagi-Uda

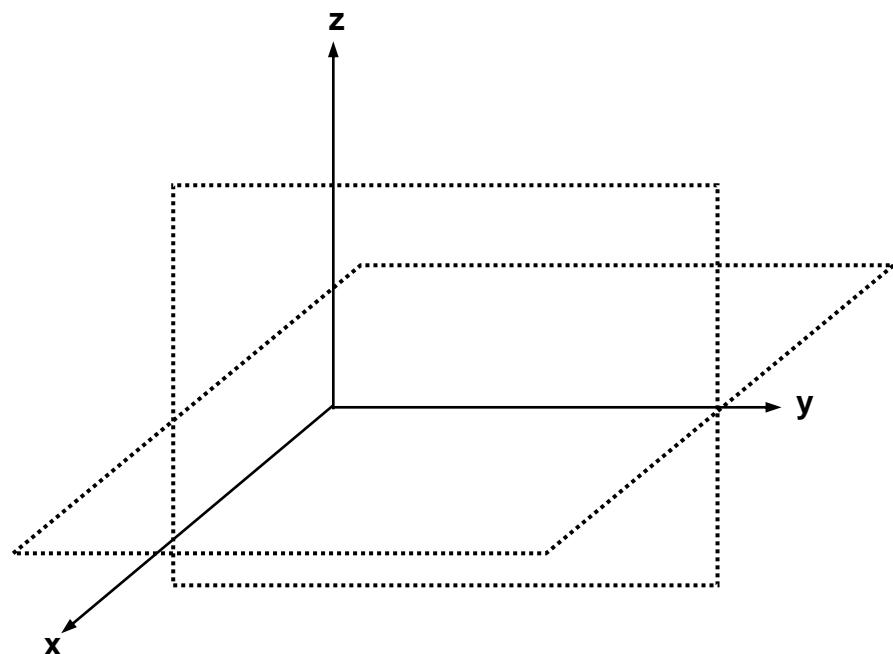
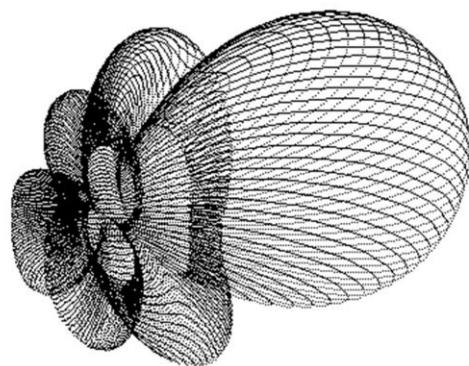
Diagrama de irradiação de uma antena Yagi com 7 elementos no plano YZ



Antena Yagi-Uda

Diagrama de irradiação de uma antena Yagi
com 7 elementos no plano XYZ

www.inatel.br



Antena Helicoidal

- Faixa Larga
- Alto Ganho
- Fácil Fabricação
- Fácil alimentação



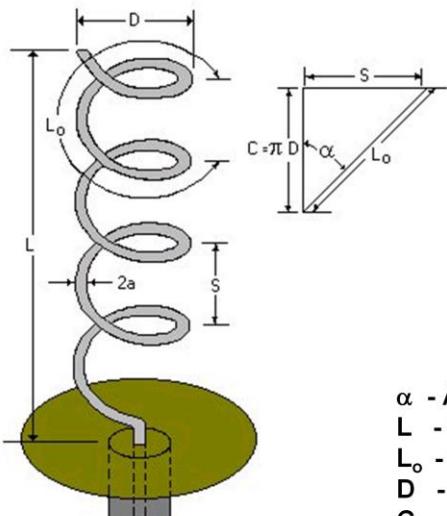
Com uma configuração simples as antenas helicoidais obtiveram uma grande utilização no campo dos irradiadores eletromagnéticos. A antena helicoidal consiste basicamente de um condutor em forma de hélice, tendo uma placa metálica em sua base servindo como plano de terra. Esse tipo de estrutura é alimentada usualmente por meio de uma linha de transmissão coaxial, sendo a malha do cabo coaxial conectada ao plano de terra e o condutor central conectado a antena.

A antena helicoidal é uma estrutura de banda larga, onde suas características de irradiação variam pouco com uma dada faixa de freqüência. Ela é muito utilizada em enlaces de radio-propagação por possuir alto ganho e facilidade de implementação. Os principais modos de irradiação são o normal (ou transversal) e o axial (ou longitudinal).

Um parâmetro importante na análise das propriedades de irradiação dessa antena é o ângulo de passo (α), definido como :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{\pi D} = \frac{S}{C}$$

Antena Helicoidal



- Modos de propagação:
 - Modo Normal
 - Modo Axial

α - Ângulo de passo
 L - Comprimento axial da antena helicoidal
 L_0 - Comprimento do fio entre cada volta
 D - Diâmetro das espiras
 C - Comprimento da espira
 S - Passo da hélice

Modo Normal

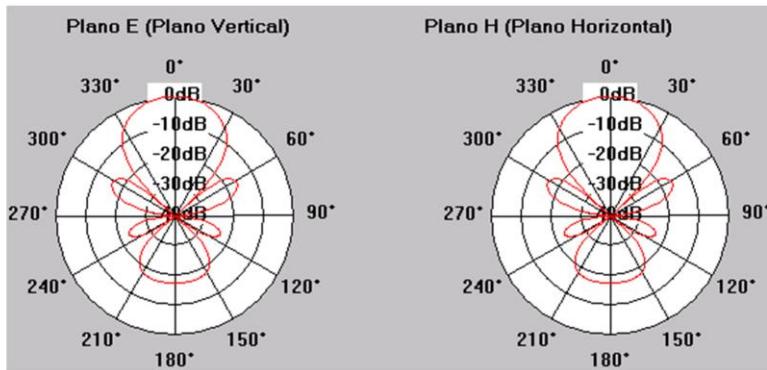
A condição básica para a operação da antena helicoidal no modo normal é que $N \cdot L_0 \ll \lambda$, onde N é o número de voltas. A antena helicoidal operando no modo normal pode ser aproximada por um arranjo de espiras e dipolo em série. Seu diagrama de campo distante independe do número de espiras.

Modo Axial

É o modo de operação mais utilizado na prática, devido possuir um grande lóbulo principal concentrando a máxima intensidade de irradiação na direção axial. A polarização circular é o fator principal para a antena operar neste modo.

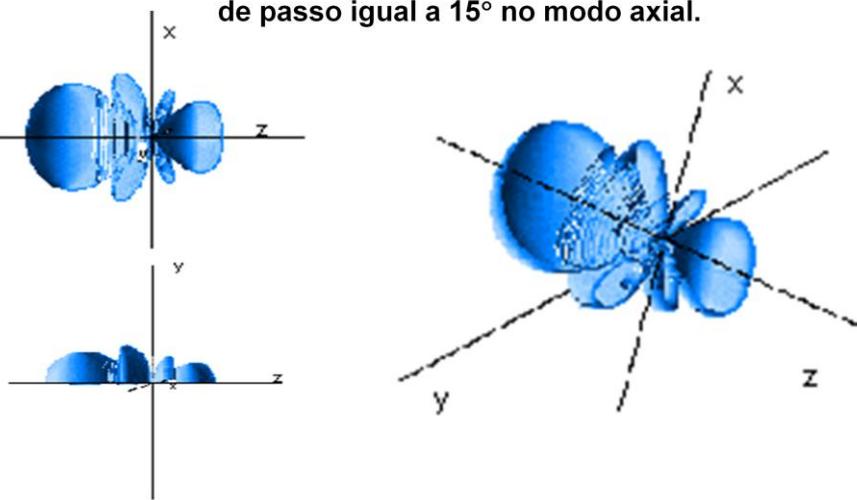
Antena Helicoidal

Exemplo de diagrama polar de irradiação de uma antena helicoidal operando em 1,5GHz, G=15dBi e ângulo de passo igual a 15° no modo axial.



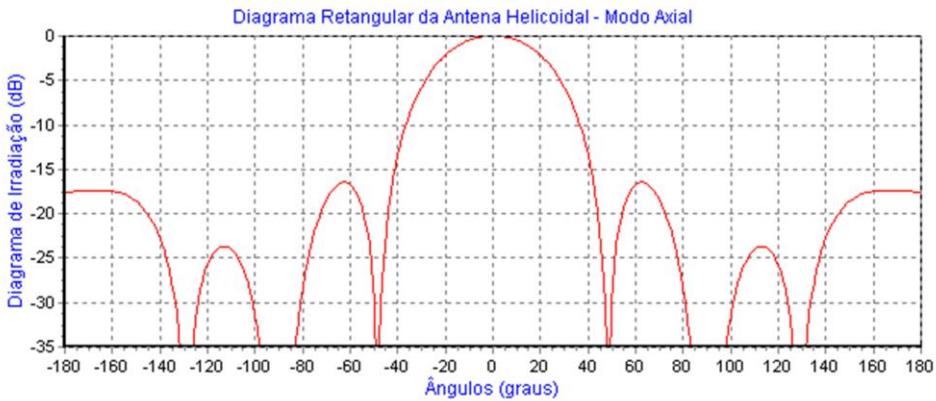
Antena Helicoidal

Exemplo de diagrama tridimensional de irradiação de uma antena helicoidal operando em 1,5GHz, G=15dBi e ângulo de passo igual a 15° no modo axial.



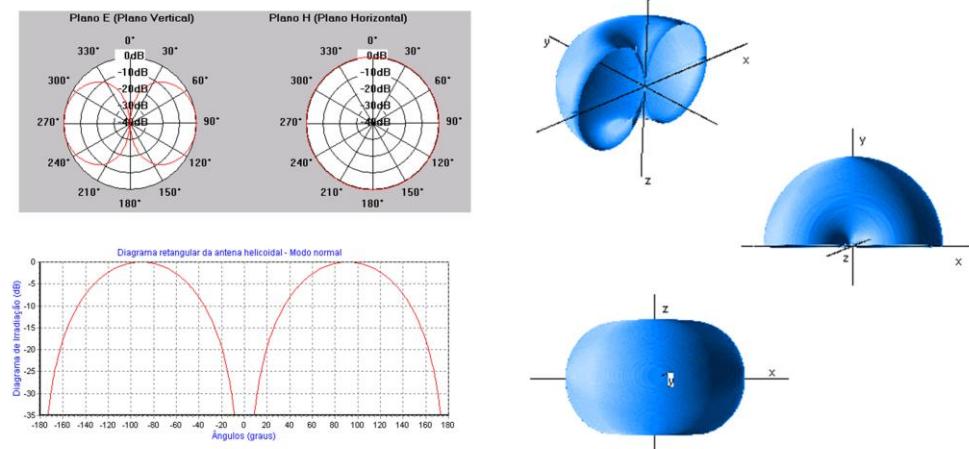
Antena Helicoidal

Exemplo de diagrama retangular de irradiação de uma antena helicoidal operando em 1,5GHz, G=15dBi e ângulo de passo igual a 15° no modo axial.



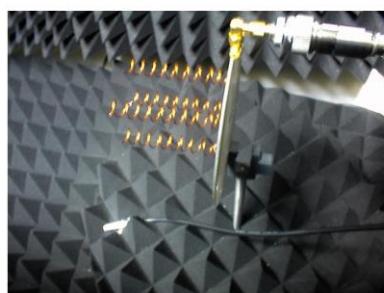
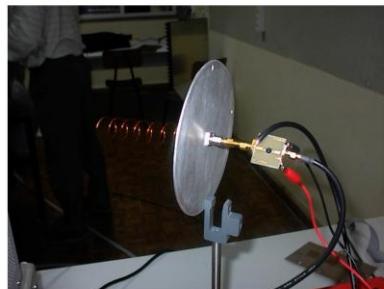
Antena Helicoidal

Exemplo de diagrama polar, retangular e tridimensional de irradiação de uma antena helicoidal operando em 1,5GHz, G=15dBi e ângulo de passo igual a 15° no modo normal.



Antena Helicoidal

- Antena Helicoidal para operar a 3 GHz. Tem associado um sistema de modulação de amplitude, com freqüência de modulante igual a 1 KHz, para compatibilidade com o sistema de medida.
- Agregado de antenas helicoidais, para operar a 11GHz. É composto por 4 elementos de 9 espiras, com um afastamento de $1,5\lambda$.



Antena Corneta



A corneta é basicamente um guia de ondas com a extremidade aberta, onde parte da energia reflete-se por causa da mudança brusca nas condições de propagação. Entretanto, parte da energia é irradiada, mostrando que a extremidade aberta do guia de ondas já pode atuar como se fosse uma antena. Efetuando uma mudança suave nas dimensões transversais do guia constrói-se uma antena mais eficiente, denominada corneta eletromagnética.

As cornetas assumem uma importância considerável dentre as antenas, devido sua versatilidade de uso na faixa de microondas. Em geral as cornetas são usadas como alimentadores para as antenas com múltiplos refletores e são denominadas fontes primárias de irradiação. Entretanto, também é comum utilizar-se cornetas como antenas simples, sem refletores, quando o ganho alto não é necessário.

Assim como nas frequências mais baixas, os dipolos são boas fontes de referência para medidas e nas frequências mais altas as cornetas são largamente usadas pra referência em medidas.

Antena Corneta

Características :

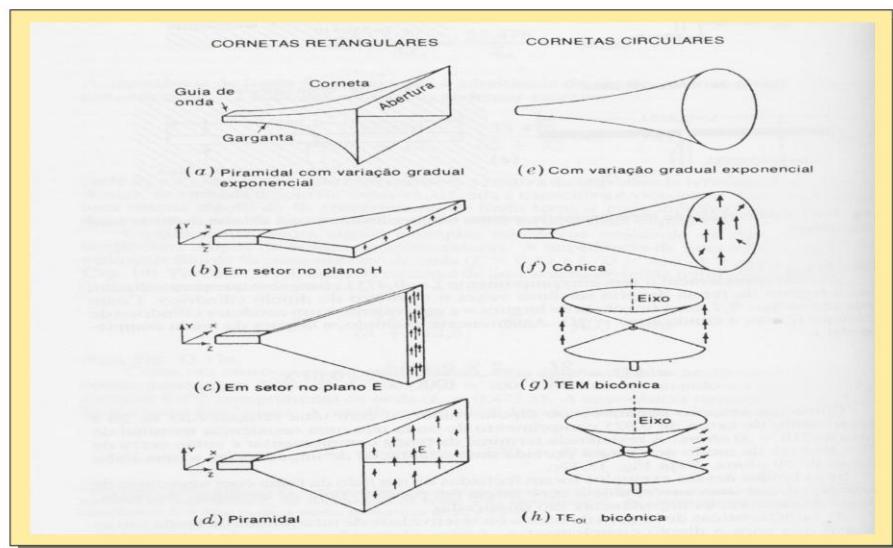
- Ganho bem definido em função da freqüência
- Baixo nível de polarização cruzada
- Boa estabilidade e resistência mecânica
- Diagramas com baixos níveis de lóbulos laterais

O fato das antenas cornetas serem usadas largamente como referência de medidas em frequências altas dá-se devido as cornetas apresentarem em geral as seguintes características:

- Ganho bem definido (função da frequência)
- Baixo nível de polarização cruzada
- Boa estabilidade e resistência mecânica
- Diagramas com baixos níveis de lóbulos laterais, etc .

Antena Corneta

Tipos :



As variações da abertura determinam suas características de irradiação. Nota-se que no mesmo guia de ondas retangular simplesmente serrado já é uma boa fonte de irradiação, com aproximadamente 14 dB de perda por retorno e cerca de 9 dBi de ganho.

No slide, vemos os diversos tipos de cornetas onde pode-se observar que mesmo nos tipos mais simples de cornetas torna-se fácil controlar parâmetros como diagramas nos planos E e H (cornetas setoriais), faixa de frequências através das dimensões do guia de ondas e até mesmo obter diagramas omnidirecionais (corneta bicônica).

O modelo mais utilizado de corneta é a denominada piramidal, sendo de construção fácil e largamente utilizada como referência para medidas de outras antenas e como elemento de captação para medidas de intensidade de campo ou de interferência, bem como na situação de alimentador.

Agenda

- Introdução
- Histórico
- Parâmetros das antenas
- Principais tipos de antenas
 - Dipolos
 - Monopolos
 - Redes de antenas lineares
 - ❖ Log Periódica
 - ❖ Yagi-Uda
 - ❖ Helicoidal
 - ❖ Corneta
 - Antenas com refletores
 - ❖ Planos
 - ❖ Canto
 - ❖ Parabólicos

Antenas com Refletores

- Refletor Plano
- Refletor de Canto
- Refletores Parabólicos
 - Antena Parabólica Simples
 - Antena Cassegrain
 - Antena Off-Set
 - Antena com Blindagem

Sempre que um refletor é aproximado de uma fonte irradiante, a tendência é reirradiar o sinal que chega à sua superfície, reforçando assim, o sinal original em uma dada direção.

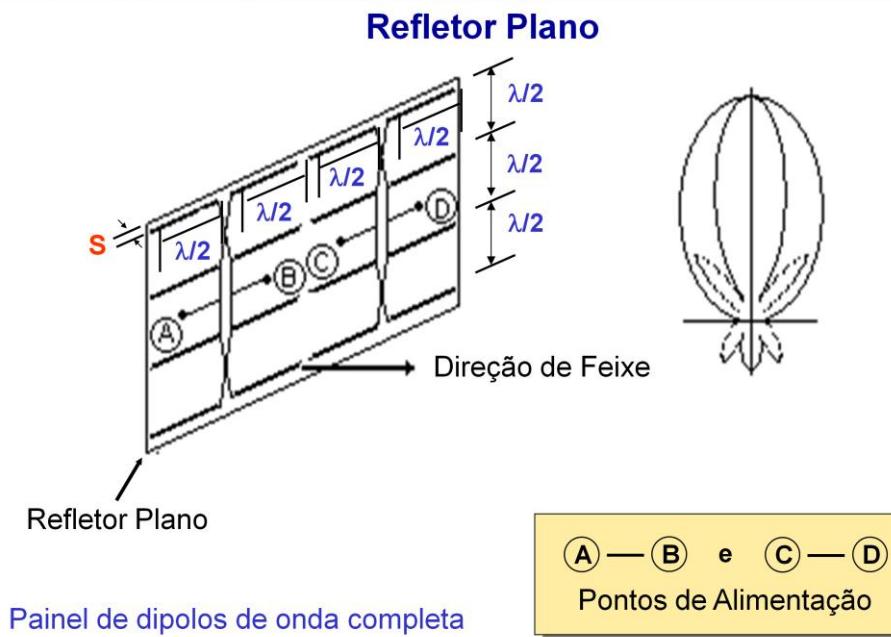
Consta que Hertz utilizou um cilindro parabólico em 1888, nas experiências para comprovar as teorias de Maxwell.

Antes da II Guerra Mundial, não foi muito utilizado pela dificuldade em se obter fontes de alta frequência e só começou a aceleração de seu uso com o advento do Radar em 1935.

Também contribuíram com os estudos iniciais das antenas com refletores a descoberta de fontes de ondas de rádio extraterrestres que deu origem a rádio astronomia. Com isso foram necessários cada vez mais refletores de grandes proporções.

Assim todos os tipos de antenas estudadas, sempre é possível a partir de uma idéia básica gerar uma grande quantidade de variações com o objetivo de atender as diversas exigências de projeto de sistemas. Com isso os refletores são usados extensamente para modificar o diagrama de irradiação de um elemento irradiante.

No slide acima, foram mencionados alguns tipos de geometrias com refletores que veremos a seguir.



A antena é colocada próxima a uma chapa plana, onde terá sua imagem formada atrás dela. Isto fará com que o sistema comporte-se como uma rede de antenas. Dependendo da distância da antena desta chapa plana, o diagrama de intensidade de campo sofrerá alteração.

O refletor plano pode ser estudado pelo método das imagens, ou seja, o elemento ativo que compõe a antena é posicionado próximo da chapa plana em princípio infinita e tem sua imagem atrás dela, comportando-se como uma rede.

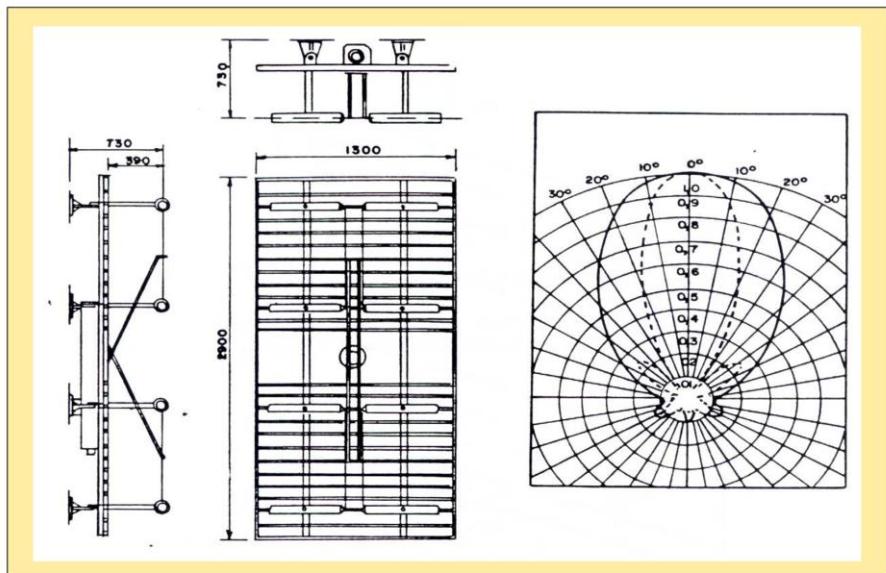
A aplicação mais importante dessa técnica é a área de radiodifusão, onde são largamente utilizados os painéis de dipolos.

Essa configuração trata-se de uma rede transversal (broadside) com um refletor associado.

No slide acima vemos um painel de 8 dipolos de onda completa que são alimentação de forma a se obter a defasagem de 0° utilizando-se distâncias adequadas entre elementos e alimentação.

Refletor Plano - Exemplo

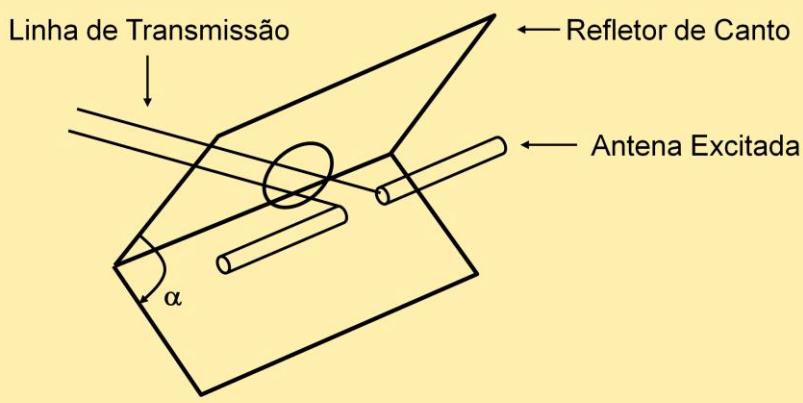
www.inatel.br



Um exemplo real dessa antena pode ser visto acima, que é um painel para a faixa de 174 à 223 MHz utilizado na transmissão de TV, bem como seus diagramas nos dois planos. Percebe-se que essa configuração nos fornece um feixe largo no plano horizontal (maior abrangência) e estreito no vertical contribuindo para o aumento do ganho.

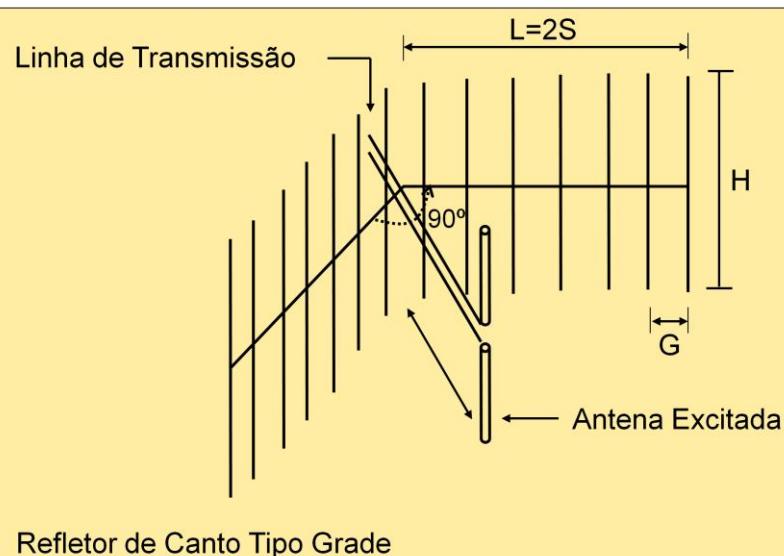
O diagrama de irradiação apresentado foi traçado para $f=190$ MHz, sendo a linha cheia no plano horizontal (θ_{3dB})

Refletor de Canto



Duas placas formam um refletor de canto como mostra a figura a seguir formando uma antena diretiva. As características elétricas dessa antena mudam em função da distância do dipolo ao vértice.

Os ângulos normalmente variam de 60° a 180° que é o caso limite (placa plana).

Refletor de Canto

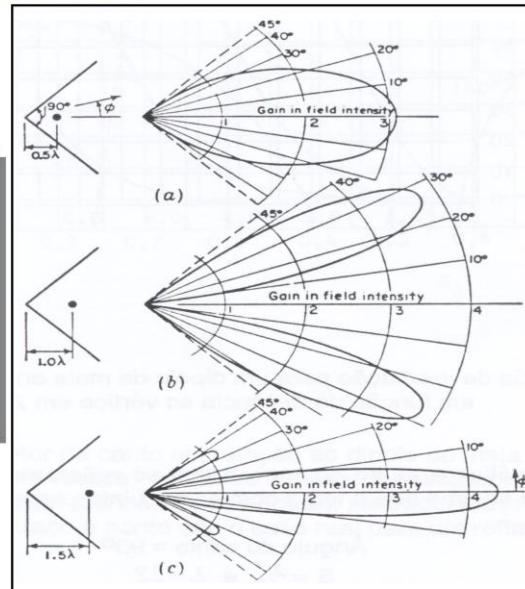
Na prática é muito comum utilizar-se refletores do tipo grade, sendo que para esse caso obtém-se uma boa antena com as seguintes características:

- Ângulo de canto: 90°
- $S = \lambda/2$ e $L = 2S$
- $H \geq 0,6\lambda$ e $G \leq 0,1\lambda$

Refletor de Canto

Diagramas no Plano H variando a distância ao vértice

- (a) $1/2 \lambda$ do dipolo ao vértice
- (b) 1λ do dipolo ao vértice
- (c) $1,5 \lambda$ do dipolo ao vértice



São apresentados os diagramas de irradiação no plano H para o refletor de canto, para distâncias de $1/2\lambda$, 1λ e $1,5\lambda$ do dipolo ao vértice. O ganho é dado em relação ao dipolo de meia onda.

Antena Parabólica



Os sistemas de microondas em visibilidade, por operarem com potências de transmissão na faixa de 100mW e alguns Watts, empregam antenas muito diretivas. Isto se torna necessário para concentrar a potência transmitida num feixe muito estreito, na direção da antena receptora, e também para minimizar a irradiação pelos lóbulos secundários, a qual pode produzir interferências em outros lances operando na mesma frequência.

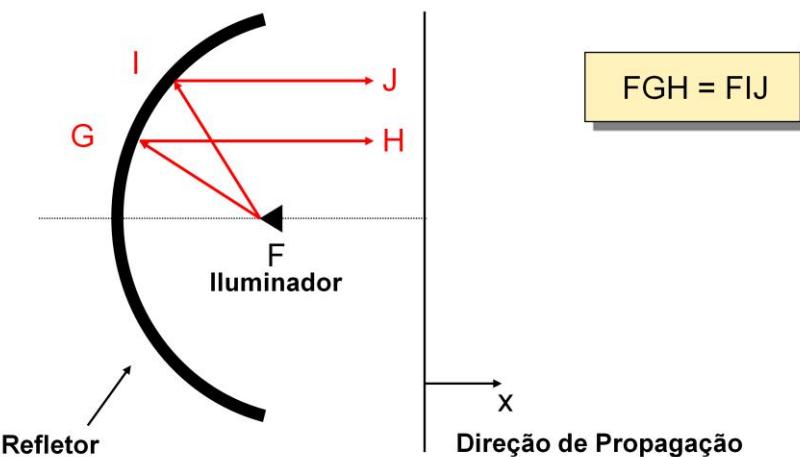
As antenas de microondas dever ter largura de faixa suficiente para a transmissão e recepção de vários canais rádio que operam em paralelo, em frequências distintas, numa mesma faixa (por exemplo em torno de 4 GHz). O casamento com o sistema de alimentação (cabo coaxial ou guia de onda) deve ser o mais perfeito possível, pois na faixa de microondas o aparecimento de ondas estacionárias causa severas distorções no sinal.

Como na faixa de microondas o comprimento de onda é pequeno (λ de 1,5 a 30 cm), torna-se necessária grande precisão nas dimensões dos elementos constitutivos da antena. Devem ainda ser de fácil instalação, apresentando mecanismos de ajuste de posição que permitam o perfeito alinhamento com a outra antena do sistema, e robustas o suficiente para permanecerem em operação contínua durante no mínimo 20 anos.

As antenas de microondas são normalmente constituídas de um elemento irradiador básico, ligado ao sistema de alimentação (coaxial ou guia), chamado de *alimentador* ou *iluminador*, e um *refletor*, podendo existir outro refletor secundário, caso em que o primeiro passa a se denominar refletor principal.

Antena Parabólica - Refletores

- Esta é a configuração mais difundida e é conhecida como “Focal Point” ou “Prime Focus” ou seja, o alimentador é situado no foco do parabolóide de revolução que forma o refletor principal.



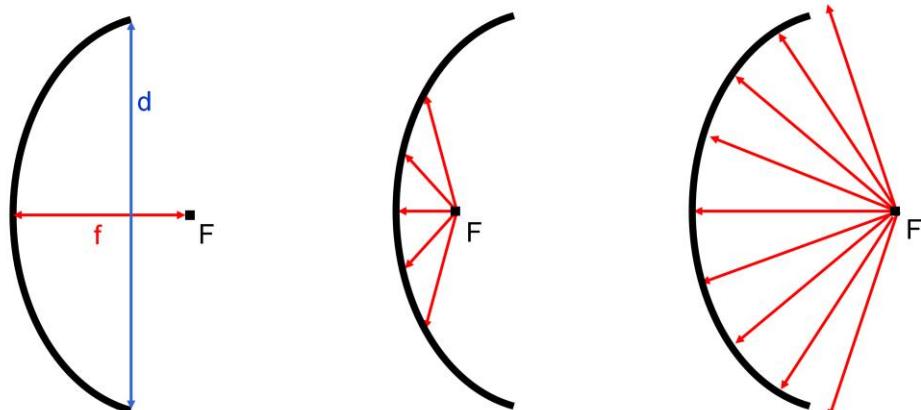
Refletores

O tipo de superfície refletora (principal) quase universalmente empregada consiste num parabolóide de revolução, sendo que o irradiador básico se localiza no foco do parabolóide.

As seguintes propriedades da superfície refletora, com formato parabólico, podem ser observadas:

- Todos os raios provenientes do iluminador, localizado no foco (F), seguem trajetos paralelos ao eixo da parábola, após a reflexão. Isto permite então uma grande concentração da energia irradiada em torno desse eixo, com a consequente elevação da diretividade da antena. (Essa propriedade é muito conhecida em ótica no estudo dos espelhos parabólicos, onde os raios de luz incidentes paralelamente ao eixo convergem para o foco.)
- Para dois raios quaisquer que se refletem na superfície do parabolóide os percursos FGH e FIJ são iguais. Assim, os campos terão a mesma fase nos pontos J e H, os quais estarão portanto situados numa mesma frente de onda. Logo a utilização do refletor permite a irradiação de uma onda plana com a potência concentrada em torno do eixo do parabolóide.

Antena Parabólica – Relação f/d



d = diâmetro da abertura
f = distância focal

a – Parâmetros que definem as dimensões do refletor

b – Iluminamento insuficiente

c – Iluminamento Além do refletor

Deve-se observar que a energia sofre dispersão no espaço com a distância (atenuação proporcional ao quadrado da distância), sendo que os raios podem ser imaginados como normais a frentes de onda provenientes de fontes pontuais distribuídas na superfície do parabolóide.

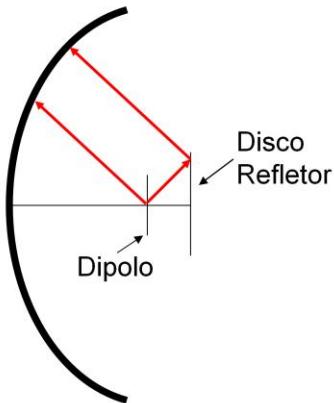
As dimensões do refletor, definidas pelo diâmetro da abertura (d) e pela distância focal (f) determinam as características principais da antena.

Deve existir um compromisso entre d e f , de modo que o iluminamento não seja insuficiente, cobrindo apenas parte do refletor (figura b – acima) e, por outro lado, não haja desvio de uma parcela significativa da energia para fora da superfície refletora (figura c – acima).

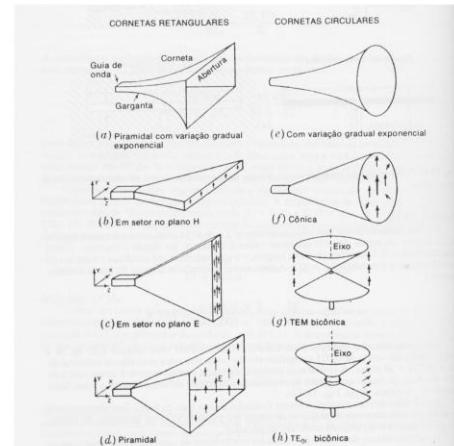
O iluminamento insuficiente, produz uma redução no ganho da antena. Isto pode ser entendido, lembrando que o ganho é diretamente proporcional à área efetiva. Neste caso a área efetiva é proporcional à área física do refletor. O iluminamento insuficiente equivale a uma redução da área útil do refletor, reduzindo assim a área efetiva e o ganho. Nesta situação ocorre entretanto uma grande redução das amplitudes dos lóbulos secundários do diagrama de irradiação.

Na situação apresentada na figura c, embora toda a superfície do refletor seja utilizada, ocorre uma redução do ganho, já que uma parte significativa da potência não é refletida, sendo perdida. Nesse caso verifica-se ainda, adicionalmente, um excessivo aumento da amplitude dos lóbulos secundários,

Antena Parabólica - Alimentadores



Alimentadores tipo dipolo



Alimentadores tipo corneta

Alimentadores

Os alimentadores são os elementos ativos (irradiantes) das antenas de microondas. Quanto a sua constituição podemos classificá-los segundo as formas mais usuais, em:

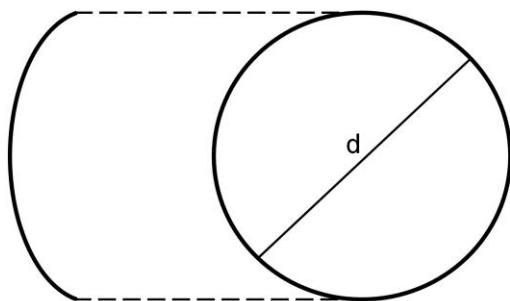
- Alimentadores tipo dipolo.
- Alimentadores tipo corneta (“Horn”).

Os alimentadores tipo dipolo são usados para as frequências mais baixas da faixa de microondas (inferiores a 2 GHz) e empregam como elementos irradiantes um dipolo simples, ou dipolo com elementos parasitas ou ainda um conjunto de dipolos.

Os alimentadores tipo corneta (“Horn”), empregam trechos de guia de onda de dimensões crescentes, sendo utilizados para as frequências mais altas da faixa de microondas (acima de 2 GHz).

Dependendo da forma como a linha de transmissão (coaxial ou guia) é posicionada em relação ao refletor, os alimentadores são classificados em frontais ou não frontais. No alimentador frontal a linha de transmissão contorna o refletor e a energia (através do alimentador) ilumina o refletor sem alterar seu sentido de deslocamento. No alimentador não frontal a linha de transmissão penetra pela parte posterior do refletor e a energia inverte seu sentido de deslocamento para proceder à iluminação.

Antena Parabólica - Ganho



$$G = 10 \log \eta \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2$$

Características básicas das antenas parabólicas:

Diretividade e Ganho

O ganho (G) de uma antena parabólica é função do diâmetro (d) e do comprimento de onda (λ), e é determinado pela seguinte expressão:

$$G = 10 \log \eta \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2$$

A eficiência (η) é no máximo igual a 1 (caso ideal), sendo que na prática assume valores de 0,55 a 0,65, significando um ganho de 55% a 65% do valor ideal. Em sistemas que utilizam alimentadores mais complexos pode-se chegar a uma eficiência de 75%, em geral empregando refletores auxiliares.

Faixa de Passagem

A faixa de passagem de uma antena parabólica é limitada pela VSWR

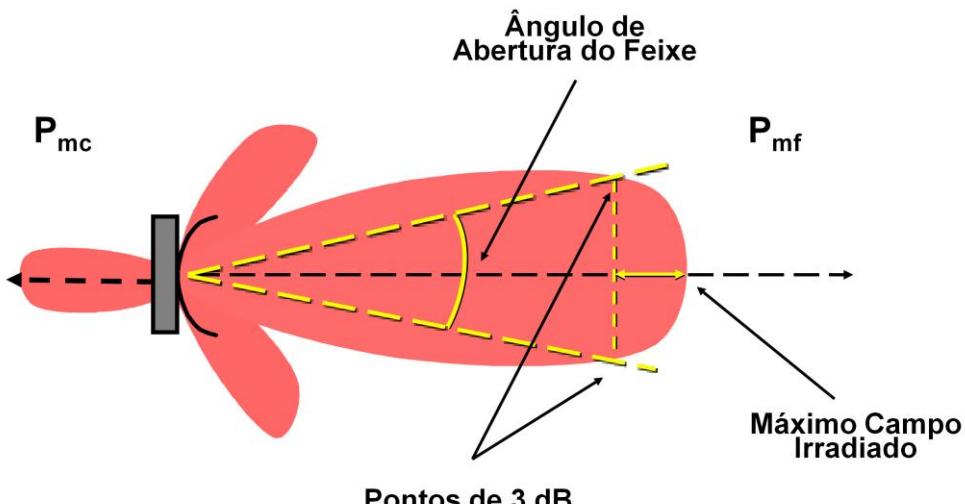
Antena Parabólica - Ganho**Tabela de Ganhos Típicos - dBi**

	2 GHz	4 GHz	6 GHz	11 GHz			
1.5 m	26.9	33.0	36.5	41.6			
3.0 m	33.5	39.3	43.0	47.7			
4.0 m		41.5	45.0				
5.0 m		43.3	46.9				

Antena Parabólica - Ganho**Tabela de Ganhos Típicos - dBi**

	7/8 GHz	13 GHz	15 GHz	18 GHz	23 GHz	26 GHz	38 GHz
0.3 m				32.1	34.4	36.2	37.3
0.6 m	31.0	36.0	36.6	39.2	40.0	41.5	44.3
1.2 m	37.0	41.8	42.7	44.6	46.0	47.1	
1.8 m	40.3	45.0	46.0	48.0	49.4		
2.4 m	42.9						
3.0 m	44.8						

Antena Parabólica – Largura de Feixe e RFC



tolerada. A largura de faixa pode atingir valores de 10% ou mais para valores de VSWR variando de 1,04 a 1,15.

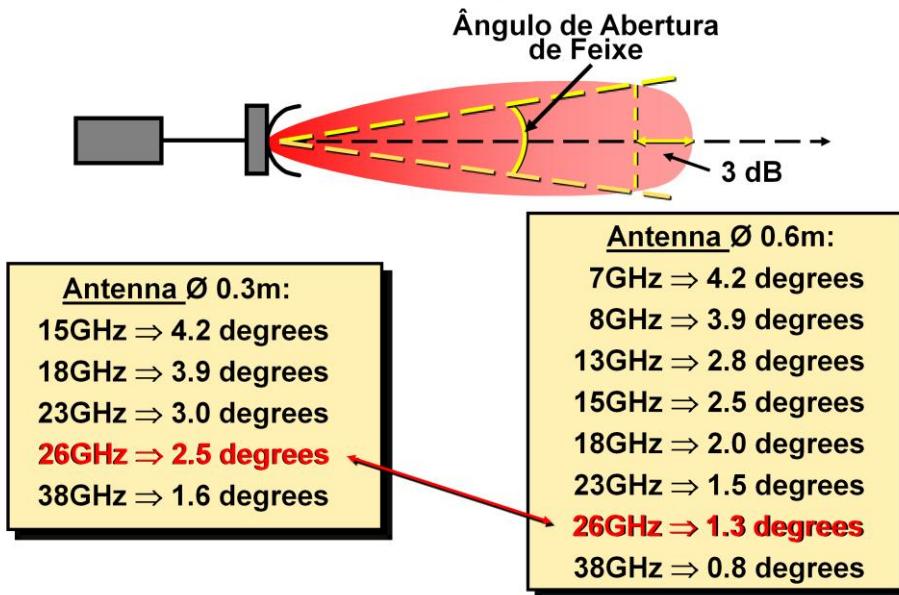
Largura de Feixe

A largura de feixe de uma antena, conforme já foi visto, é definida como o ângulo entre os pontos que apresentam atenuação de 3 dB em relação ao valor máximo do diagrama de irradiação da antena. Este parâmetro só tem significado no caso de antenas que apresentam um diagrama de irradiação com lóbulo principal bem distinto, como é o caso das antenas parabólicas, não sendo representativo para os sistemas que possuem vários lóbulos de mesma grandeza.

A largura de feixe, em graus, para uma antena parabólica convencional pode ser expressa de forma aproximada por:

$$\alpha = 70 \frac{\lambda}{d}$$

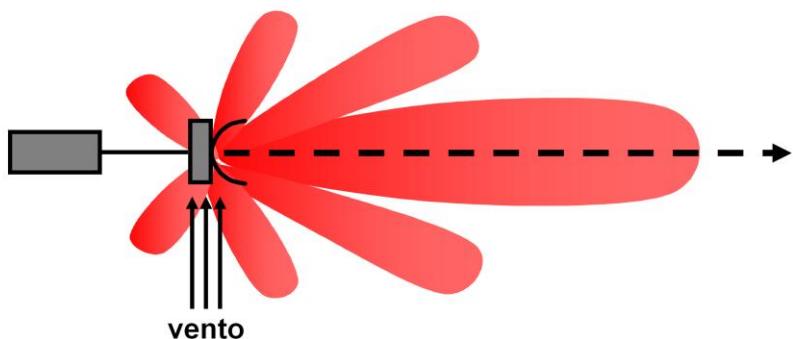
Antena Parabólica – Largura de Feixe e RFC



Observa-se no comparativo acima que para uma mesma frequência (foi tomado como exemplo a frequência de 26 GHz) uma antena com diâmetro maior terá um ângulo de abertura de feixe menor.

Outra análise importante, conforme vemos acima, é que quanto maior o diâmetro da antena, para uma mesma frequência analisada, o ângulo de abertura será cada vez menor.

É importante manter uma relação ótima entre diâmetro da antena e a frequência de trabalho, pois se, por exemplo, utilizar uma antena muito grande com altas frequências, o sinal ficará tão concentrado que tornará difícil manter o enlace estável. Assim como, antenas muito pequenas para frequências muito baixas podem provocar um espalhamento exagerado, poluindo o espectro de frequências.

Antena Parabólica – Fatores Ambientais

Na definição do tamanho da antena, na etapa do planejamento do enlace, é muito importante observar que o diâmetro definido não somente estará relacionado com o ganho mas também com fatores ambientais, principalmente o vento.

Quanto maior o diâmetro da antena, mais aprimorado terá de ser o projeto de seu suporte, ficando assim mais crítico mantê-la alinhada em situações onde o vento pode atingir velocidades razoáveis.

Antena Parabólica – Fatores Ambientais

Velocidade do Vento

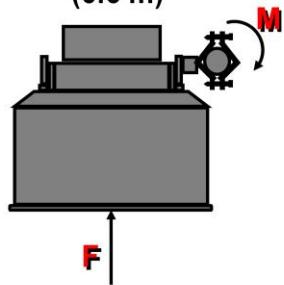
Antenas com Diâmetro < 2.4m:

180 Km/h : Máximo Operacional
241 Km/h : Máximo Suportável

Antenas com Diâmetro > 2.4m:

180 Km/h : Máximo Operacional
198 Km/h : Máximo Suportável

Montagem Integrada
(0.6 m)



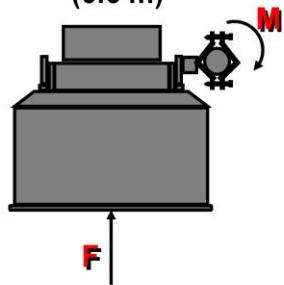
Os dados acima são apenas uma referência, conseguidas através de informações de alguns fabricantes. Em nosso país não é comum condições climáticas tão adversas porém é interessante analisar que são levadas em consideração nos projetos de rádio enlace.

Antena Parabólica – Fatores Ambientais

Velocidade do Vento 180 Km/h

Antena	F(N)	M(Nm)
Ø 0.3m	190	50
Ø 0.6m	575	240
Ø 1.2m	2285	724
Ø 1.8m	5142	1789
Ø 2.4m	9140	3970
Ø 3.0m	14282	6996

Montagem Integrada
(0.6 m)



Antena Parabólica – Diagrama de Irradiação

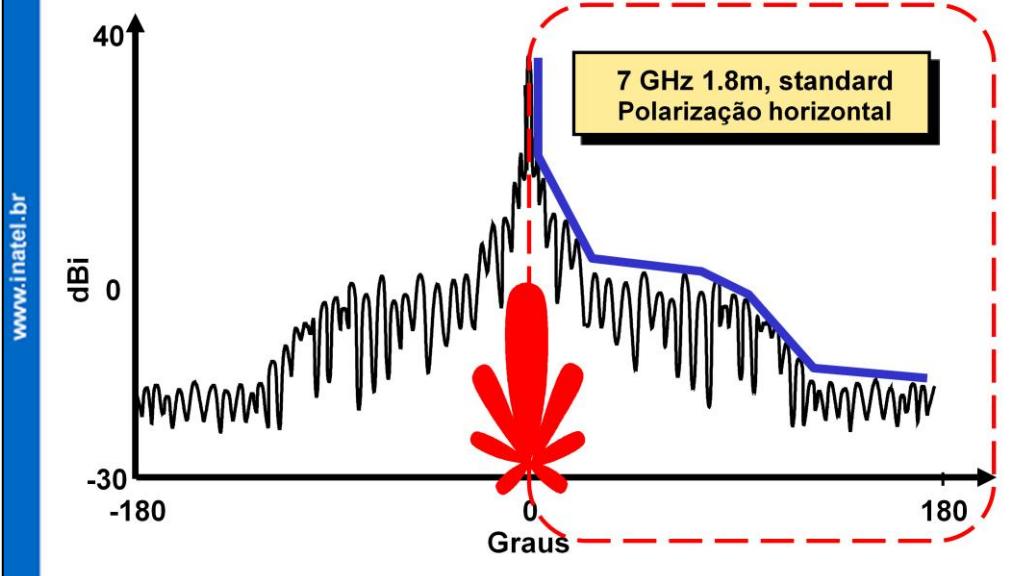


Diagrama de Irradiação

Apresenta-se aqui o diagrama de irradiação de uma antena de microondas, com polarização horizontal, 1,8 metros de diâmetro, com alimentador tipo corneta retangular e operando na frequência de 7 GHz.

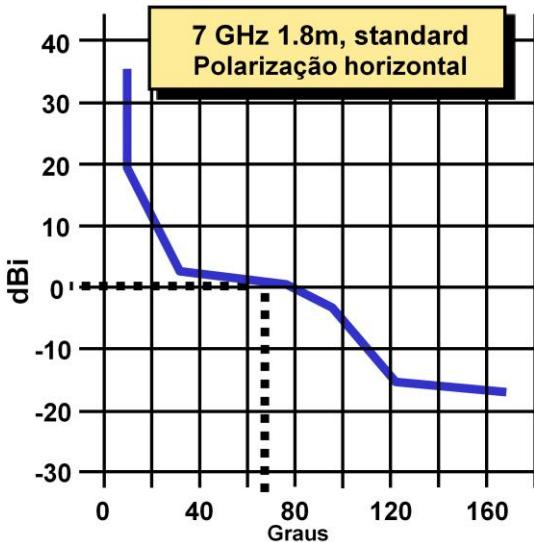
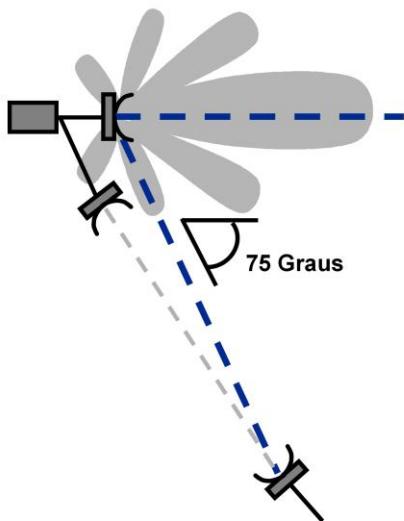
Para maior facilidade de estudo o diagrama foi traçado em coordenadas retangulares (e não polares), apresentando no eixo horizontal a posição angular em relação à direção do máximo de irradiação e, no eixo vertical, o ganho (em dBi) nas diferentes direções em relação ao máximo, referenciado em 0 dB.

Estes diagramas são indispensáveis nos casos de estudos de interferência, onde a atenuação sofrida pela energia irradiada em determinadas direções estabelecidas deve ser calculada.

Observa-se um grande pronunciamento do máximo em relação à irradiação em qualquer outra direção, como é característico nas antenas de microondas.

Antena Parabólica - Polarização

www.inatel.br



Polarização

A polarização da antena de microondas é função do tipo e orientação do alimentador, conforme já discutido. Dessa forma existem antenas de polarização simples (horizontal ou vertical), de dupla polarização (horizontal e vertical) e polarização circular.

As antenas de polarização simples utilizam apenas um alimentador, com a orientação de modo a produzir a direção desejada para o campo elétrico segundo o máximo do diagrama de irradiação.

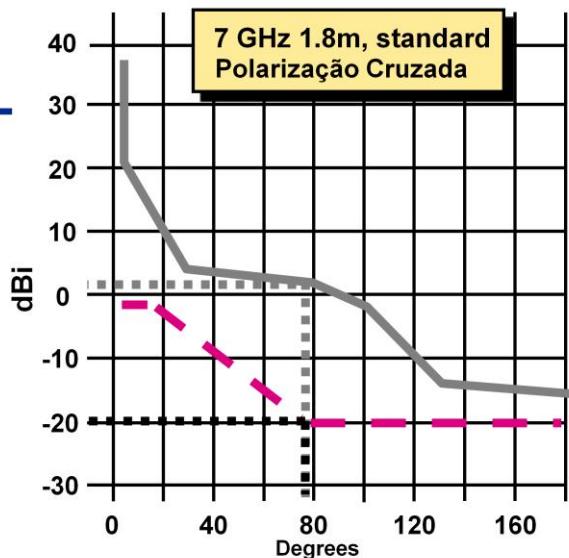
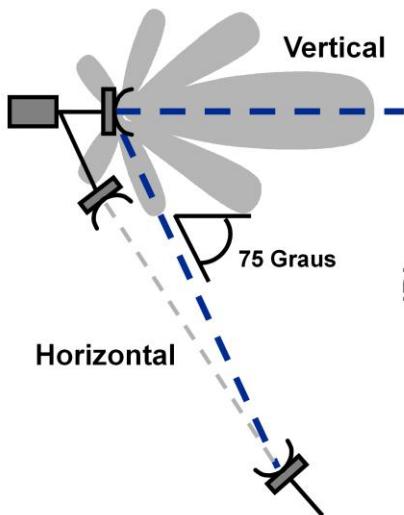
As antenas de dupla polarização utilizam dois alimentadores justapostos, um em polarização vertical e outro em horizontal.

A polarização circular normalmente é obtida com a corneta circular.

Convém ressaltar que uma antena de uma certa polarização (horizontal por exemplo) sempre receberá segundo o máximo do diagrama uma certa parcela de energia de uma onda incidente com polarização cruzada à da antena (vertical no caso). O mesmo raciocínio vale para uma antena funcionando, como transmissora, onde uma pequena parcela da energia total é irradiada na polarização cruzada à antena. Isto ocorre porque as antenas apresentam dimensões finitas no sentido da polarização cruzada, além de existirem imperfeições na construção das mesmas.

Antena Parabólica - Polarização

www.inatel.br



Assim ocorre a indução de correntes correspondentes a direções de campo elétrico perpendicular à polarização definida para a antena.

Um parâmetro muito importante numa antena é o isolamento entre as polarizações. Este isolamento é definido como a relação entre as potências recebidas por uma antena de uma certa polarização (horizontal por exemplo) quando nela incide segundo o máximo do diagrama de irradiação uma onda de igual polarização (horizontal no caso) e de polarização cruzada. O mesmo conceito vale para a antena transmissora quanto à irradiação da mesma.

Na prática consegue-se obter um isolamento de 20 dB entre polarizações cruzadas, ou seja, uma antena com uma certa polarização irradiará ou receberá segundo o máximo do diagrama com uma atenuação adicional de 20 dB a componente do campo com polarização cruzada.

É importante observar que o meio de transmissão causa uma alteração na direção do campo elétrico, principalmente devido a refrações e reflexões. Assim, apesar da antena transmissora ter uma certa polarização, na antena receptora a onda poderá chegar com uma componente de polarização cruzada à transmitida, de valor apreciável.

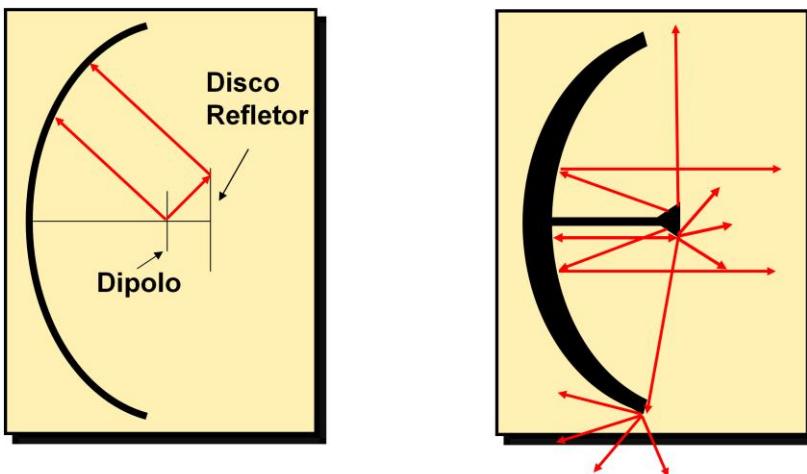
Antena Parabólica

Entre os diversos tipos de antenas parabólicas pode-se destacar:

- Parabólica Simétrica (a mais comum)
- Parabólica Assimétrica (off-set, horn-reflector)
- Cassegrain
- Parabólicas com Blindagem

Antena Parabólica Simétrica

www.inatel.br



Antena Parabólica Simétrica

São antenas onde o alimentador (de um tipo qualquer) é posicionado ao longo do eixo de revolução do parabolóide, e se usa como refletor uma parte da superfície do parabolóide simétrica em relação a esse eixo.

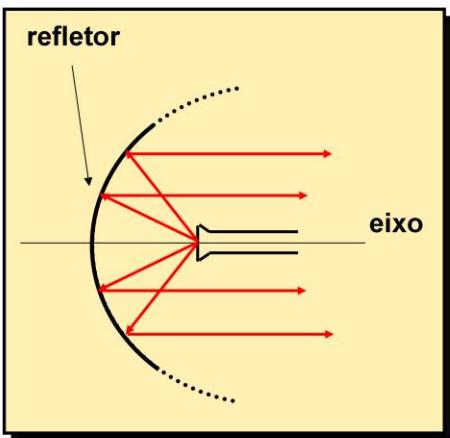
Essas antenas são as mais simples e econômicas, tendo larga aplicação, sendo utilizadas em sistemas onde o projeto não requer condições especiais como relação frente-costa muito elevada ou grande atenuação de lóbulos secundários. Trabalham com polarização simples ou dupla, sendo que no segundo caso apresentam ganho um pouco menor, em consequência de um sistema de alimentação mais complexo, que envolve dois alimentadores, um para polarização vertical e outro para horizontal.

Existe um problema na antena parabólica simétrica com alimentação frontal que tende a elevar o valor da relação de onda estacionária na mesma. Desde que o alimentador tem um determinado tamanho físico, parte da irradiação incidente no refletor retorna ao alimentador, causando a elevação do valor da R.O.E.. Só esse efeito eleva a R.O.E. de 1,02 a 1,06, dependendo das dimensões do alimentador e da frequência.

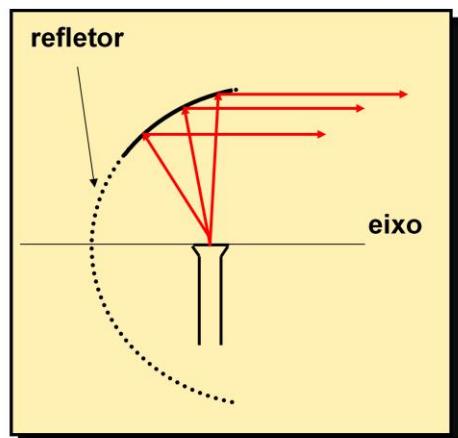
A colocação de uma placa no centro do refletor, conhecida como *placa de vértice* dispersa os raios incidentes naquela região reduzindo o efeito nocivo da

Antena Parabólica Assimétrica

www.inatel.br



Alimentação segundo o eixo
do parabolóide



Alimentação normal ao eixo
do parabolóide

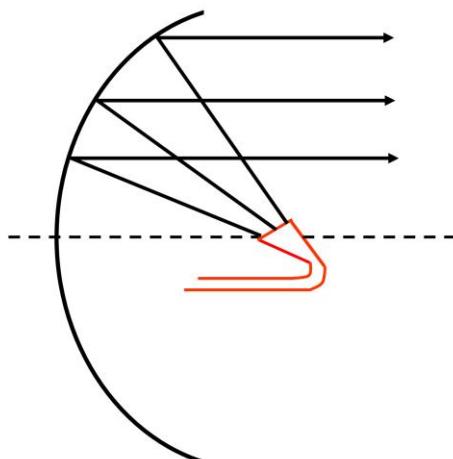
Antena Parabólica Assimétrica

São antenas na qual o alimentador é posicionado perpendicularmente (no caso geral obliquamente) em relação ao eixo do parabolóide, sendo usada como refletor uma parte da superfície do parabolóide que não é simétrica em relação ao referido eixo.

Um dos problemas existentes na antena parabólica comum era a elevação da R.O.E. pela reflexão sobre o alimentador. A utilização da placa de vértice, embora minimize este efeito, produz uma redução no ganho, pela diminuição da área útil do refletor

As antenas assimétricas apresentam como principais características :

- Eficiência (η_a) : na faixa de 0,60 a 0,65.
- Relação de Onda Estacionária (R.O.E.) : próxima a 1,02
- Atenuação de lóbulo lateral : 60 dB.
- Relação frente-costa (RFC) : ≥ 70 dB

Antena Off-set

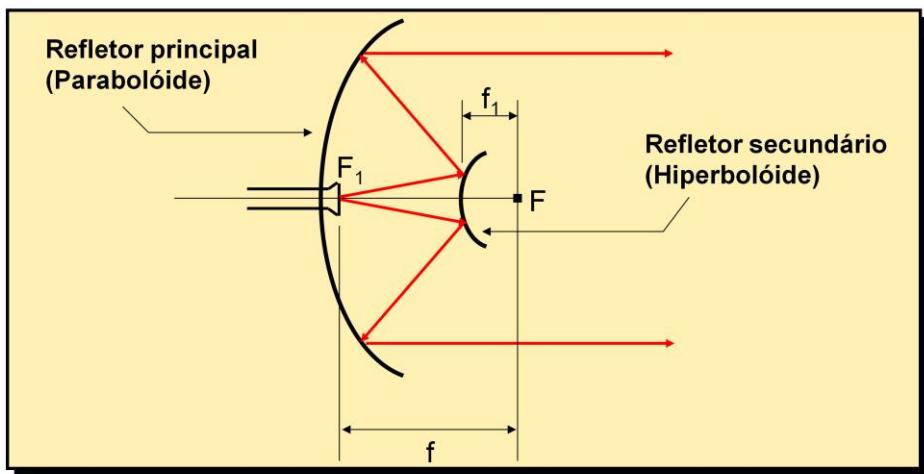
Como o próprio nome já nos diz, a antena Off-set utiliza sua iluminação primária fora da região de abertura da antena. O alimentador fica aparentemente deslocado, se comparado com outras antenas refletoras, ou seja, não apresenta simetria geométrica no plano vertical da construção da antena.

A antena Off-set é largamente utilizada principalmente como VSAT (Very Small Aperture Terminal), ou seja, estações de transmissão e recepção via satélite de baixa velocidade para dados de computador.

Como a Off-set é fundamentalmente gerada a partir de uma parábola, o seu foco permanece no ponto focal da parábola que a gerou, porém o alimentador deve ser adequado para iluminar o refletor, sendo que nesse caso existe uma inclinação entre o eixo do alimentador e o eixo que passa pelo vértice/foco da parábola.

É importante salientar que esse modelo de antena viabilizou muito projetos que tem como restrição principal o uso de alimentadores grandes em relação à abertura, ou devido a necessidade de formatar o diagrama de irradiação obriga-se ao uso de múltiplo alimentadores em forma de rede (Array).

Antena “Cassegrain”



F – foco do parabolóide coincidente com um dos focos do hiperbolóide

F_1 – segundo foco do parabolóide coincidente com a extremidade da corneta

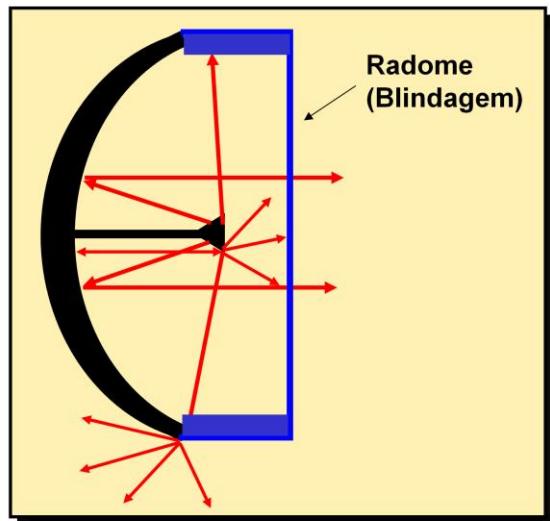
Antena “Cassegrain”

Para os parabolóides de grande diâmetro de abertura torna-se difícil atingir uma boa eficiência de iluminamento a partir da irradiação direta da corneta alimentadora. Além disso, com o crescimento do diâmetro de abertura (d) deve ser aumentada a distância focal (f) de modo a se manter a relação aproximada $f/d = 0,4$. Isto acarreta na necessidade de utilização de alimentadores mais longos, que introduzem maiores perdas e são de mais difícil fixação mecânica. Uma antena que contorna esses problemas é chamada de “Cassegrain”.

Além dos sistemas de microondas em visibilidade estas antenas encontram muita aplicação nos sistemas via satélite e sistemas de radares, que empregam refletores de grandes dimensões e/ou devem usar sistemas de alimentação curtos (por problemas de mobilidade na orientação da antena e para reduzir as perdas).

Os parâmetros elétricos das antenas Cassegrain têm valores próximos aos das antenas parabólicas simétricas, considerando-se as mesmas dimensões.

Antena com Blindagem

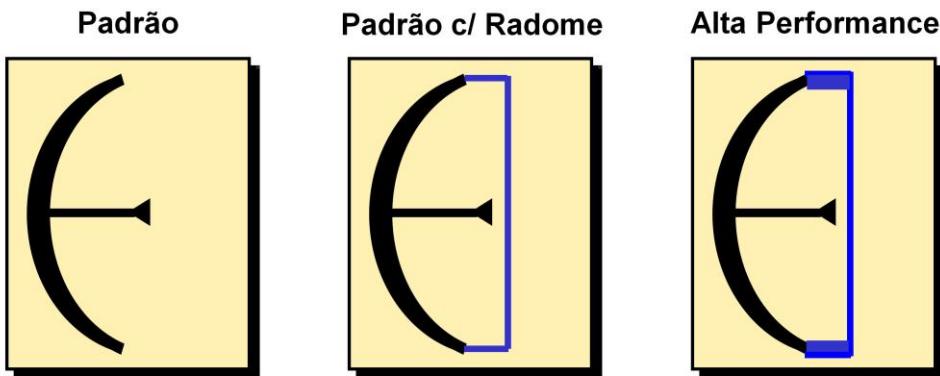


Antenas Parabólicas com Blindagem

São assim denominadas as antenas parabólica que incluem estruturas especiais de blindagem, constituídas de um superfície cônicâ acoplada ao refletor, que tem como finalidade reduzir bastante as irradiações secundárias (lóbulos laterais).

Comparativo entre antenas parabólicas

www.inatel.br



Os sistemas de microondas em visibilidade, por operarem com potências de transmissão na faixa de 100 mW a alguns Watts, empregam antenas muito diretivas. Isto se torna necessário para concentrar a potência transmitida num feixe muito estreito, na direção de antena receptora, e também pra minimizar tanto as interferências causadas em enlaces próximos ou receber interferências desses enlaces operando na mesma faixa de frequências.

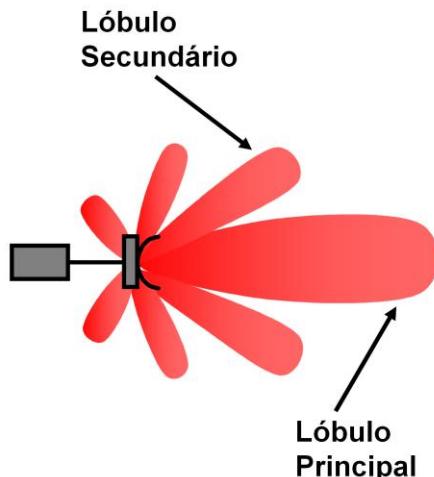
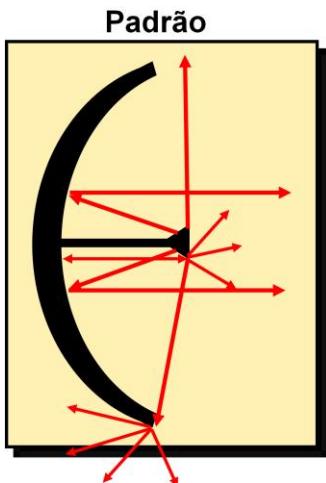
Esta alta diretividade é alcançada com a utilização de antenas parabólicas.

As antenas parabólicas são normalmente constituídas de um elemento irradiador básico, ligado ao sistema de alimentação, chamado de alimentador ou iluminador, e um refletor.

As características eletromagnéticas das antenas parabólicas são determinadas pela regularidade da superfície do refletor e pela qualidade do projeto do alimentador.

Antena Padrão (Standard)

www.inatel.br



O refletor parabólico possui a seguinte propriedade : a energia incide paralelamente ao eixo do parabolóide e é refletida em sua superfície, concentrando-se no foco do parabolóide.

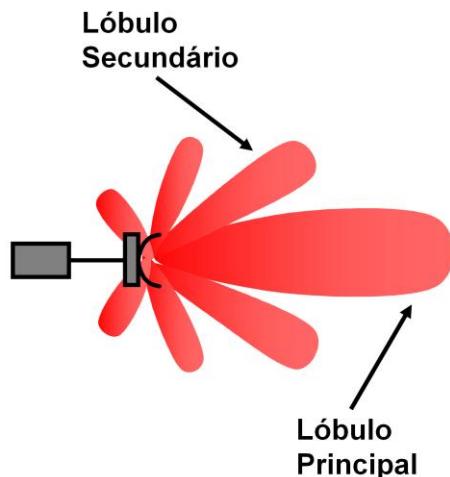
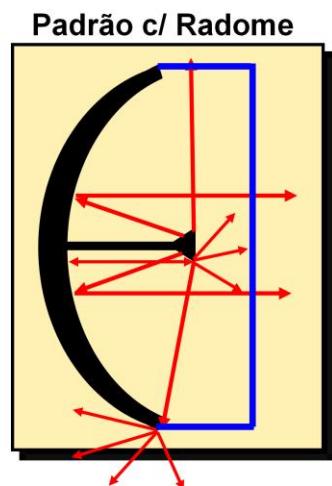
Os alimentadores ou ‘feeders’ podem ser de diversos tipos, como por exemplo : dipolos com refletor, corneta, etc.

Apesar da alta eficiência deste tipo de antena, tem-se alguns problemas inerentes ao seu projeto, como por exemplo, o mostrado na figura acima. Percebe-se que parte do sinal refletido no parabolóide se espalhará devido a reflexão no próprio feeder. Segundo, todo o sinal deveria refletir na superfície do parabolóide e sair paralelo ao eixo, porém devido ao diâmetro limitado, parte deste sinal espalhará, por incidir nas bordas do parabolóide. Terceiro, parte do sinal nem mesmo incidirá no parabolóide, devido novamente ao diâmetro limitado.

Percebe-se que estes problemas sempre estarão associados com estas antenas e visualizando seu diagrama de irradiação nota-se o aparecimento de lóbulos secundários que são indesejáveis.

Antena Padrão com Radome (Standard with Radome)

www.inatel.br



Radomes

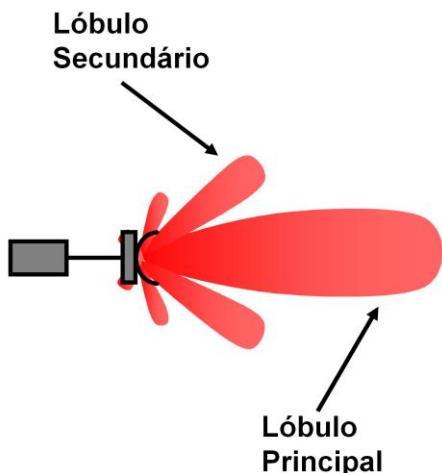
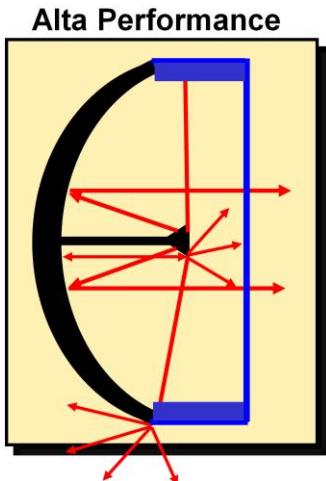
Radomes, ou blindagens, são estruturas adicionais utilizadas nas antenas de alto desempenho e de ultra alto desempenho.

Existem dois tipos de radome:

- *Flexíveis*: melhoram a diretividade da antena, além de proteção extra contra a carga do vento transmitida para a torre. Estrutura composta por:
 - ✓ uma blindagem (saia) com a parte interna preenchida por absorsores especiais que absorvem as interferências tanto recebidas como emitidas;
 - ✓ e uma capa de proteção pré-tensionada que evita ninhos de pássaros, acúmulos de água e deterioração do alimentador.
- *Molded*: serve para impedir o acúmulo de neve na antena. Fabricado em fibra de vidro, proporciona grande proteção para ambientes severos (regiões onde ocorrem ventos de alta intensidade).

Antena de Alta Performance (High Performance)

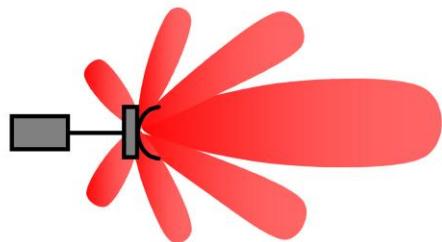
www.inatel.br



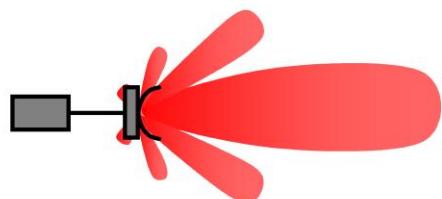
Na maioria das antenas com radome, encontra-se um material colocado em sua volta internamente. Este material é altamente atenuante para altas frequências portanto pode-se observar que os lóbulos secundários serão atenuados. Vale lembrar que o radome, simplesmente, não faz isso. Como tem-se antenas com radome porém sem esse material atenuante, conhecidas como antena padrão com radome (standard with radome), a antena mencionada nesta transparência é chamada antena de alta performance (high performance).

Comparação entre Diagramas de Irradiação

“Padrão”

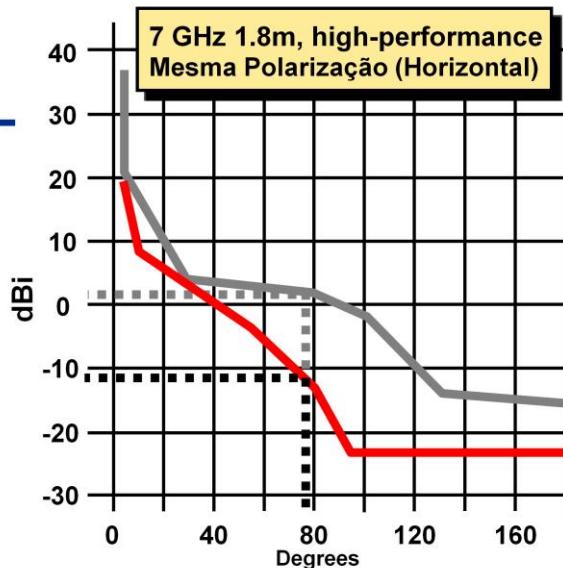
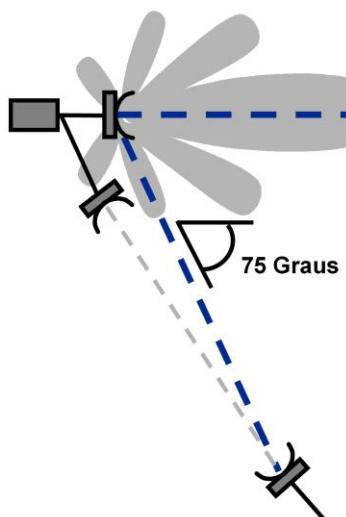


“Alta Performance”



Vantagem da Antena High Performance

www.inatel.br



A melhoria no diagrama de irradiação permite muito bom desempenho, podendo estas antenas serem usadas em locais onde as parabólicas convencionais sofreriam problemas de interferência. São muito empregadas em estações terminais de grandes cidades, onde existem muitos sistemas com antenas próximas.