

SUMÁRIO

1. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	3
1.1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1.1. Efeitos da Corrente Elétrica.....	3
1.1.2. Campo Magnético.....	3
1.2. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	3
1.2.1. Leis de Maxwell	4
1.3. A GERAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	5
1.4. CARACTERÍSTICAS DA ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	7
1.4.1. Espectro Eletromagnético.....	8
1.5. CARACTERÍSTICAS DAS PRINCIPAIS RADIAÇÕES.....	9
1.5.1. Ondas de Superfície	9
1.5.2. Ondas Ionosféricas	10
1.5.3. Ondas Diretas ou de Visada Diretas.....	10
1.5.4. Ondas Difractadas.....	11
1.5.5. Ondas Espalhadas.....	11
1.6. CLASSIFICAÇÃO POR USO.....	12
1.6.1. Ondas de rádio Propriamente Ditas.....	12
1.6.2. Ondas de TV.....	12
1.6.3. Microondas.....	12
1.6.4. Luz visível.....	13
1.6.5. Raios X.....	13
1.6.6. Raios Gama.....	14
1.7. CLASSIFICAÇÃO POR FREQUÊNCIA.....	15
1.8. EXERCÍCIOS.....	17
2. ANTENAS.....	20
2.1. INTRODUÇÃO.....	20
2.2. IMPORTÂNCIA DAS ANTENAS.....	21
2.2.1. Comprimento de Onda.....	22
2.2.2. Diagrama de Irradiação.....	22
2.2.3. Antena Isotrópica.....	23
2.3. GANHO DE UMA ANTENA.....	23
2.3.1. Coeficiente de Onda Estacionária.....	24
2.4. ANTENA DIPOLO.....	25
2.4.1. Antena Dipolo Dobrado.....	26
2.4.2. Como Instalar uma Antena Dipolo para HF.....	26
2.5. ANTENAS – OUTROS MODELOS.....	27
2.5.1. Dipolos de Meia-Onda.....	28
2.5.2. Dipolos Bobinados/Multibanda.....	28
2.5.3. Long Wire/Unifilar.....	28
2.5.4. Windon/Zeppelin/G5RV.....	28
2.5.5. Vertical ¼ de Onda.....	29
2.5.6. Vertical Multibanda Bobinada.....	29
2.5.7. Loop Onda Completa.....	29
2.5.8. Antenas com Elementos Parasitas (Yagis, Quagis, quadra cúbica).....	29
2.5.9. Yagis Multibanda.....	30
2.5.10. Log Periódica.....	30
2.5.11. Beverage.....	30
2.5.12. Cornetas, Discos, Guias de Onda.....	30

2.6. RECEPTORES DE COMUNICAÇÃO PARA RADIOAMADORES.....	31
2.6.1. A Conversão de Freqüência.....	31
2.6.2. O Amplificador de RF.....	31
2.6.3. O BAND-SPREAD.....	31
2.6.4. Freqüência-Imagem.....	32
2.6.5. O Processo da Dupla Conversão.....	33
2.6.6. O Amplificador de FI.....	34
2.6.7. Detector de CAG.....	34
2.6.8. Limitador de Ruídos.....	34
2.6.9. O Amplificador de AF.....	34
2.6.10. O Essímetro.....	35
2.6.11. O BFO.....	35
2.6.12. Fonte de Alimentação.....	35
2.6.13. Diagrama em Blocos de um Receptor de Comunicação.....	36
2.7. ANTENAS PARA APLICAÇÕES WIRELESS 2,4 GHz.....	36
2.7.1. Considerações.....	37
3. PROPAGAÇÃO DAS ONDAS.....	39
3.1. PROPAGAÇÃO NO ESPAÇO LIVRE DE ONDAS DIRETAS.....	39
3.2. EXERCÍCIOS PROPOSTOS.....	41
3.3. CÁLCULO PRÁTICO DA ANTENA DIPOLO.....	41
3.4. ANTENAS EM FM - CONSIDERAÇÕES.....	42
3.4.1. Acoplamento de Antenas.....	44
3.5. PROJETOS PRÁTICOS.....	45
3.5.1. Projeto: Antena Plano-Terra.....	45
3.5.2. Projeto: Antena Direcional de 4 Elementos.....	46
4. APLICAÇÕES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	49
4.1. FORNO DE MICROONDAS	49
4.2. RADAR	50
4.3. RADIOASTRONOMIA.....	51
4.4. RADIOAMADORISMO – UM DEPOIMENTO.....	53
4.4.1. O que é?.....	53
4.4.2. A Telegrafia.....	55
4.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A IONOSFERA	55
4.5.1. Interpretando os Dados.....	57

1. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

1.1. Introdução

1.1.1. Efeitos da Corrente Elétrica

Na passagem de uma corrente por um condutor observam-se alguns efeitos, que veremos a seguir.

- ❖ **Efeito térmico ou efeito Joule:** Qualquer condutor sofre um aquecimento ao ser atravessado por uma corrente elétrica. Esse efeito é a base de funcionamento dos aquecedores elétricos, chuveiros elétricos, secadores de cabelo, lâmpadas térmicas etc.
- ❖ **Efeito luminoso:** Em determinadas condições, a passagem da corrente elétrica através de um gás rarefeito faz com que ele emita luz. As lâmpadas fluorescentes e os anúncios luminosos são aplicações desse efeito. Neles há a transformação direta de energia elétrica em energia luminosa.
- ❖ **Efeito químico:** Uma solução eletrolítica sofre decomposição, quando é atravessada por uma corrente elétrica. É a eletrólise. Esse efeito é utilizado, por exemplo, no revestimento de metais: cromagem, niquelação etc.
- ❖ **Efeito magnético:** Um condutor percorrido por uma corrente elétrica cria, na região próxima a ele, um campo magnético. Este é um dos efeitos mais importantes, constituindo a base do funcionamento dos motores, transformadores, relés etc.

Este último é o que nos desperta interesse de estudo. Vemos que a corrente elétrica pode produzir um campo magnético.

1.1.2. Campo Magnético

"Campo magnético é toda região ao redor de um ímã ou de um condutor percorrido por corrente elétrica."

Os pólos magnéticos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem. Se seccionarmos um ímã ao meio, surgirão novos pólos norte e sul em cada um dos pedaços, constituindo cada um deles um novo ímã.

"Segure o condutor com a mão direita de modo que o polegar aponte no sentido da corrente. Os demais dedos dobrados fornecem o sentido do vetor campo magnético, no ponto considerado. (Regra da mão direita)".

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2\pi \cdot r}$$

sendo: B é a intensidade do vetor campo magnético em um ponto (T); μ a permeabilidade magnética do meio ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ no vácuo); r é a distância do ponto ao fio (m).

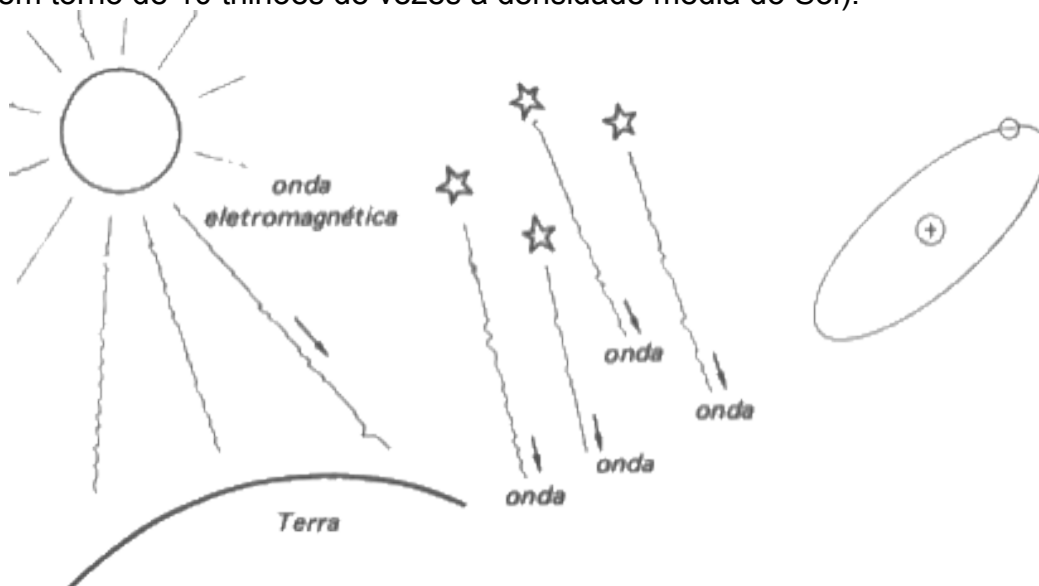
A unidade de \vec{B} no SI é o Tesla (T). Mas o que se deve notar é que uma campo magnético variável produz um campo elétrico. Isto é, a partir do campo magnético podemos produzir o elétrico, e o inverso também.

1.2. Ondas Eletromagnéticas

É importante tomarmos consciência de como estamos imersos em ondas eletromagnéticas. Iniciando pelos Sol, a maior e mais importante fonte para os seres terrestres, cuja vida depende do calor e da luz recebidos através de ondas eletromagnéticas.

Além de outras, recebemos também: a radiação eletromagnética emitida, por átomos de hidrogênio neutro que povoam o espaço interestelar da nossa galáxia; as emissões na faixa de radiofrequências dos "quasares" (objetos ópticos que se encontram a enormes distâncias de nós, muito além de nossa galáxia, e que produzem enorme quantidade de

energia); pulsos intensos de radiação dos "pulsares" (estrelas pequenas cuja densidade média é em torno de 10 trilhões de vezes a densidade média do Sol).



Essas radiações são tão importantes que deram origem a uma nova ciência, a Radioastronomia, que se preocupa em captar e analisar essas informações obtidas do espaço através de ondas. Há ainda as fontes terrestres de radiação eletromagnética: as estações de rádio e de TV, o sistema de telecomunicações à base de microondas, lâmpadas artificiais, corpos aquecidos e muitas outras.

A primeira previsão da existência de ondas eletromagnéticas foi feita, em 1864, pelo físico escocês, James Clerk Maxwell. Ele conseguiu provar teoricamente que uma perturbação eletromagnética devia se propagar no vácuo com uma velocidade igual à da luz.

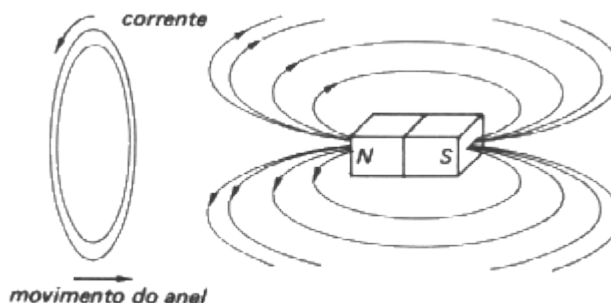
E a primeira verificação experimental foi feita por Henrich Hertz, em 1887. Hertz produziu ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes e, depois, detectou-se por meio de outros circuitos sintonizados na mesma frequência. Seu trabalho foi homenageado posteriormente colocando-se o nome "Hertz" para unidade de frequência.

1.2.1. Leis de Maxwell

Maxwell estabeleceu algumas leis básicas de eletromagnetismo, baseado nas já conhecidas anteriormente, como a Lei de Coulomb, a Lei de Ampère, a Lei de Faraday, etc.

Na realidade, Maxwell reuniu os conhecimentos existentes e descobriu as correlações que havia em alguns fenômenos, dando origem à teoria de que eletricidade, magnetismo e óptica são de fato manifestações diferentes do mesmo fenômeno físico.

O físico inglês Michael Faraday já havia afirmado que era possível produzir um campo a partir de um campo magnético variável.



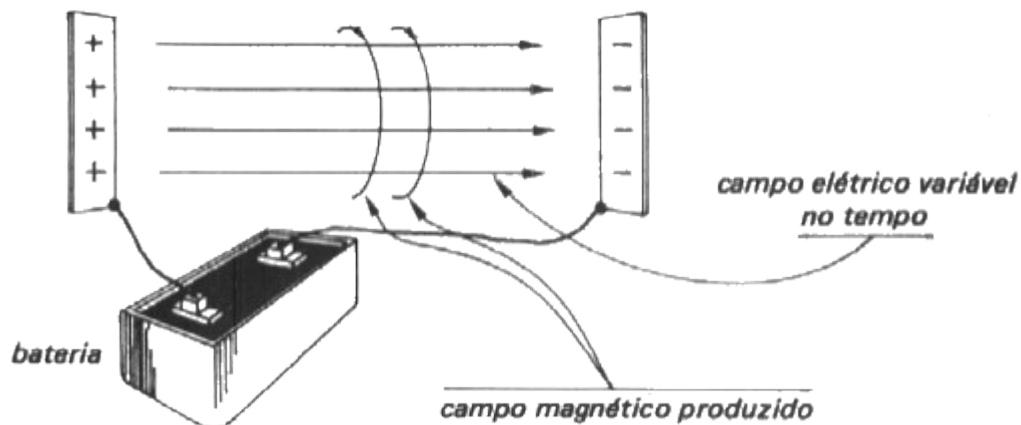
Aproximando o anel do ímã, aparecerá uma corrente elétrica no anel.

Imagine um ímã e um anel

Considere o ímã perpendicular ao plano do anel. Movendo-se ou o ímã ou o anel, aparecerá uma corrente no anel, causado por um campo elétrico criado devido à variação do

fluxo magnético no anel.

Maxwell verificou que o contrário também era possível. Um campo elétrico variável podia gerar um campo magnético. Imagine duas placas paralelas sendo carregadas progressivamente:



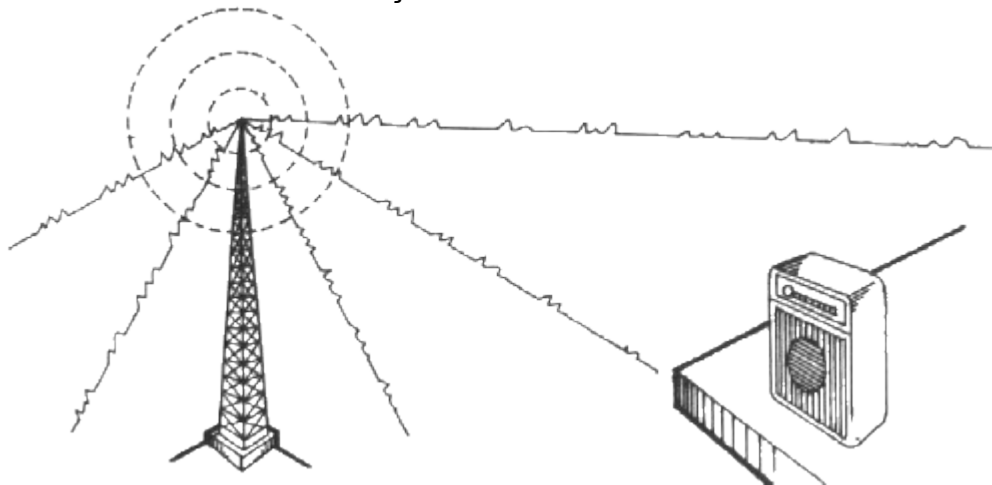
Ao crescerem as cargas das placas, o campo elétrico aumenta, produzindo um campo magnético (devido a variação do campo elétrico).

Embora Maxwell tenha estabelecido quatro equações para descrever os fenômenos eletromagnéticos analisados, podemos ter uma noção de sua teoria baseados em duas conclusões:

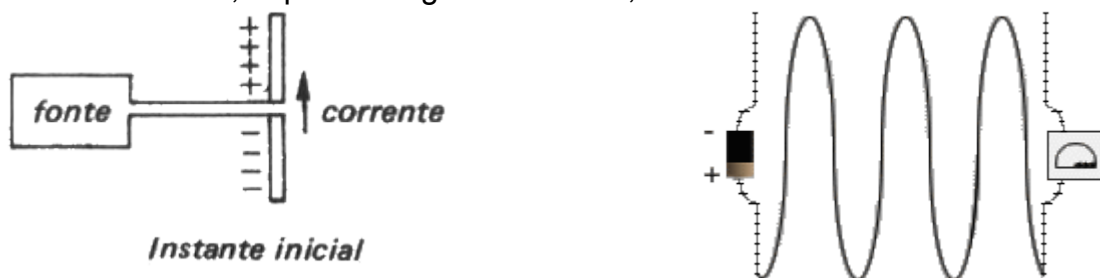
- ❖ Um campo elétrico variável no tempo produz um campo magnético.
- ❖ Um campo magnético variável no tempo produz um campo elétrico.

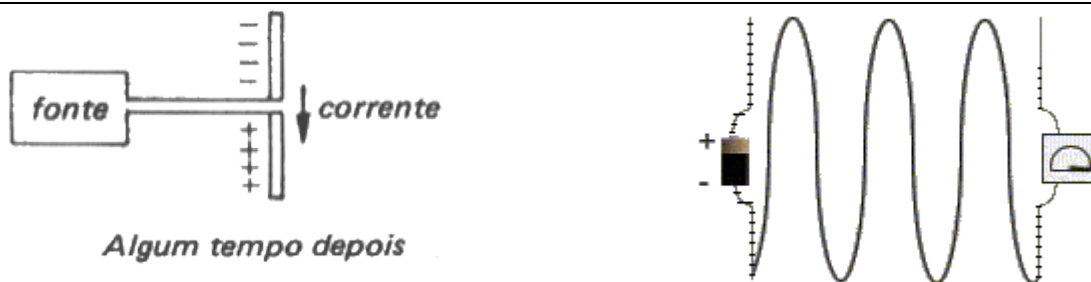
1.3. A Geração de Ondas Eletromagnéticas

Imagine uma antena de uma estação de rádio:



Na extremidade da antena existe um fio ligado pelo seu centro a uma fonte alternada (que inverte o sentido a intervalos de tempo determinados). Num certo instante, teremos a corrente num sentido e, depois de alguns instantes, a corrente no outro sentido.





A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética depende do meio em que ela se propaga. Maxwell mostrou que a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, no vácuo, é dada pela expressão:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$$

onde ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo, e μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo.

Aplicando os valores de $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ e $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ de na expressão acima, encontra-se a velocidade:

$$c \cong 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$$

ou

$$c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$$

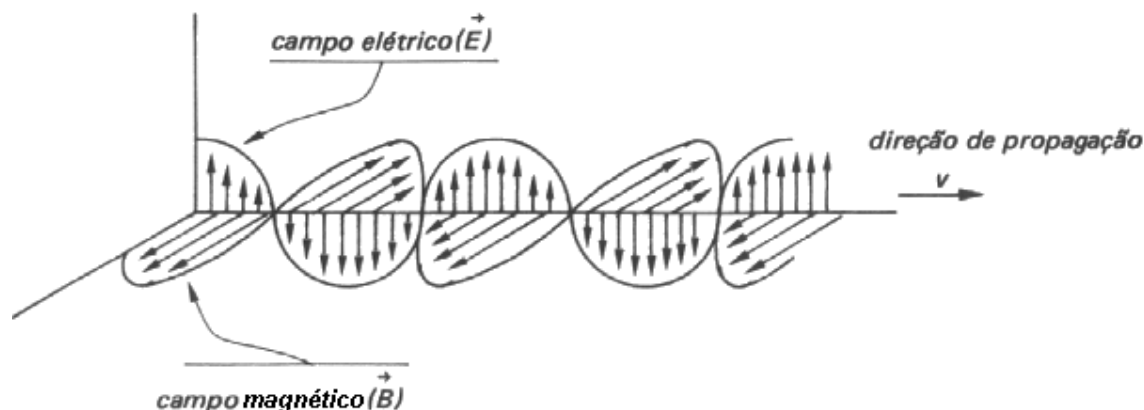
(valor exato)

que é igual a velocidade da luz. Nisso Maxwell se baseou para afirmar que a luz também é uma onda eletromagnética. Podemos resumir as características das ondas eletromagnéticas no seguinte:

- ❖ São formadas por campos elétricos e campos magnéticos variáveis.
- ❖ O campo elétrico é perpendicular ao campo magnético.
- ❖ São ondas transversais (os campos são perpendiculares à direção de propagação).
- ❖ Propagam-se no vácuo com a velocidade "c".
- ❖ Podem propagar-se num meio material com velocidade menor que a obtida no vácuo.

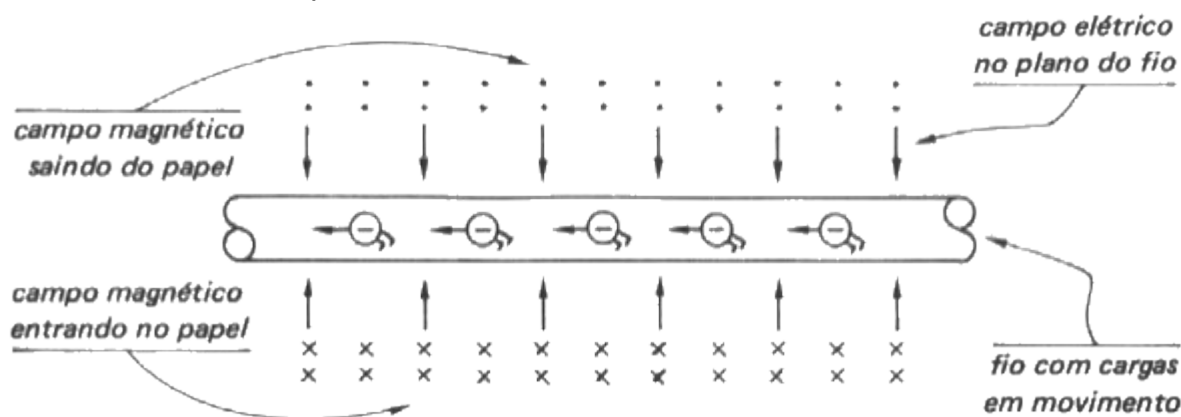
Com isto, o campo elétrico **E** ao redor do fio em um certo instante estará apontando num sentido e, depois, no sentido contrário.

Esse campo elétrico variável **E** irá gerar um campo magnético **B**, que será também variável. Por sua vez, esse campo magnético irá gerar um campo elétrico. E assim por diante. Cada campo varia e gera outro campo que, por ser variável, gera outro campo: e está criada a perturbação eletromagnética que se propaga através do espaço, constituída pelos dois campos em recíprocas induções.



Note que o campo elétrico é perpendicular à direção de propagação e o campo magnético também, o que comprova que a onda eletromagnética é uma onda **transversal**.

Além disso, o campo elétrico é perpendicular ao campo magnético, o que podemos verificar facilmente: quando um fio é percorrido por cargas em movimento, o campo elétrico num ponto próximo ao fio pertence ao plano do fio, enquanto o campo magnético está saindo ou entrando neste plano.



De maneira geral, sua propagação é similar à uma onda produzida na superfície de um lago. A grande diferença é que as ondas em um lago se propagam de maneira longitudinal (oscilações estão na direção de propagação), enquanto as ondas eletromagnéticas são transversais (oscilações perpendiculares à direção de propagação). Também a direção do campo elétrico e magnético são perpendiculares entre si em uma onda eletromagnética.

Quando nenhum obstáculo está presente, a onda eletromagnética se propaga livremente, dizemos assim que a propagação se dá no espaço livre. As ondas se propagando no espaço livre espalham sua energia de maneira uniforme em todas as direções como uma fonte pontual.

1.4. Características da Ondas Eletromagnéticas

A densidade de potência varia de maneira inversa ao quadrado da distância da fonte. Uma fonte isotrópica é aquela que irradia uniformemente em todas as direções. Embora nenhuma fonte prática produz tal radiação este conceito é de muito importância na teoria de antenas. Uma onda se propagando no espaço livre suas frentes de ondas são esféricas com a velocidade igual em todas direções, isto não acontece por exemplo quando a onda se propaga em um meio ionizado (ionosfera), como veremos no futuro.

A polarização de uma onda se refere a orientação física do campo elétrico em uma radiação. As ondas são ditas polarizadas se elas tem o mesmo alinhamento no espaço. É uma característica de uma antena emitir radiações polarizadas. Por exemplo uma antena colocada na vertical irá irradiar um campo elétrico que está também na vertical, neste caso dizemos que a polarização é vertical. De maneira similar um antena colocada na horizontal irá irradiar um campo elétrico horizontal, e neste caso dizemos que a polarização será horizontal. Outros tipos de polarização existem como é o caso da polarização circular e elíptica, como veremos futuramente.

Um fio qualquer colocado no espaço onde se propaga uma onda eletromagnética fica sujeito à indução de correntes elétricas induzidos na sua superfície, estas correntes podem alimentar um receptor qualquer como uma televisão um rádio, etc. A explicação para indução de correntes no fio é dada pela expressão muito conhecida em física, $V = E \cdot d$ (onde V é a tensão, E é o campo elétrico que circula a antena, e d o tamanho do fio).

O objetivo principal da teoria da propagação de ondas eletromagnéticas é calcular a intensidade do campo elétrico e magnético emitido por uma antena transmissora. Calculado o campo elétrico pode-se calcular a potência recebida pelo receptor. O cálculo do campo depende do meio de propagação da onda eletromagnética.

No espaço livre as ondas sofre perdas devido a divergência da energia através do

espaço. Outras formas de atenuação são causadas por chuva, neblina, nuvens, etc. como em uma comunicação via satélite ou um enlace de microondas.

Quando a onda penetra no solo, água, ou qualquer outro material condutor imperfeito a atenuação surge principalmente devido às perdas ôhmicas da corrente de condução no meio. Neste caso os sinais são bastantes atenuados e a atenuação é proporcional à frequência da onda propagando no meio.

As ondas de frequência mais baixas tem um longo alcance quando se propagam no espaço livre, devido sua facilidade de difração através de obstáculos. Elas também possuem uma grande penetração no meios, como água, terra etc.. Isto explica porque as sondagens, comunicação com submarino, se fazem em baixas frequências.

Para efeitos de propagação de ondas eletromagnéticas podemos dividir a atmosfera em duas faixas: troposfera e ionosfera. A troposfera é uma camada que se estende da superfície da terra até aproximadamente 10 Km de altura, enquanto a ionosfera se estende aproximadamente de 80 até 600 Km de altura. A troposfera influencia principalmente nas propagações próximo à superfície da terra como são os enlaces de microondas. A ionosfera influencia os enlaces de ondas abaixo de 30 MHz, como é o caso das propagações de ondas de rádio AM, e rádio amador em HF.

Uma onda eletromagnética propagando no espaço livre viaja com a velocidade da luz, que é dada por $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Para uma onda se propagando no meio que não é o espaço livre esta velocidade de propagação da onda é menor do que c . O comprimento de onda no espaço livre é dado por:

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

As ondas eletromagnéticas são bastantes influenciadas pela atmosfera terrestre e obstáculos tais como: montanhas, prédios, íons e elétrons da ionosfera e gases que circulam a superfície da terra. As ondas de maneira geral se propagam em linha reta, exceto quando existem obstáculos que tendem alterar sua trajetória.

Para frequência acima de HF as ondas se propagam em linha reta. Elas se propagam por meio das ondas troposféricas, elas vão através da troposfera e próximo da superfície da terra.

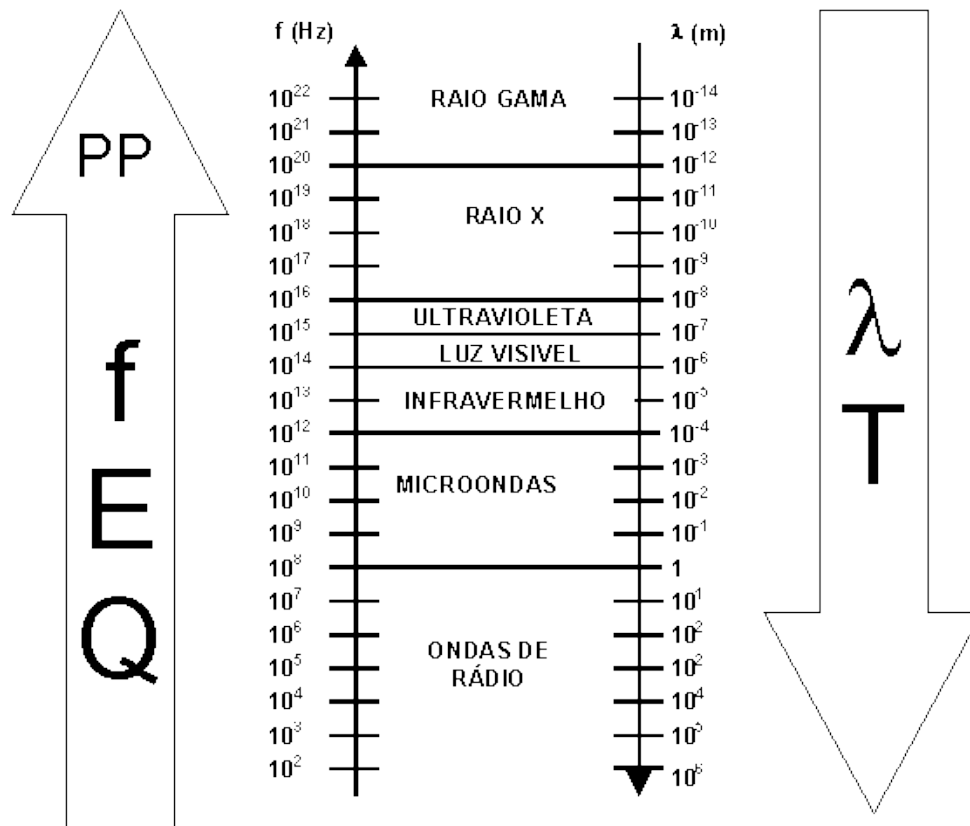
Para frequências abaixo de HF, as ondas se propagam ao longo da superfície da terra. Neste caso temos uma combinação de difração e um tipo de efeito de um guia de onda entre a superfície da terra e a camada mais baixa ionizada da atmosfera. Estas ondas de superfície, assim como são chamadas permitem propagação em volta da superfície da terra; elas são uma das maneiras de propagação além horizonte. Por exemplo, um sinal de rádio difusão AM se propaga desta maneira.

Em HF, e em frequências ligeiramente acima e abaixo, as ondas são refletidas na ionosfera e são chamadas de ondas espaciais (sky waves) ou ondas ionosféricas.

1.4.1. Espectro Eletromagnético

A palavra espectro (do latim "spectrum", que significa fantasma ou aparição) foi usada por Isaac Newton, no século XVII, para descrever a faixa de cores que apareceu quando numa experiência a luz do Sol atravessou um prisma de vidro em sua trajetória.

Atualmente chama-se espectro eletromagnético à faixa de frequências e respectivos comprimentos de ondas que caracterizam os diversos tipos de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas no vácuo têm a mesma velocidade, modificando a frequência de acordo com espécie e, conseqüentemente, o comprimento de onda.



As escalas de frequência e comprimento de onda são logarítmicas.

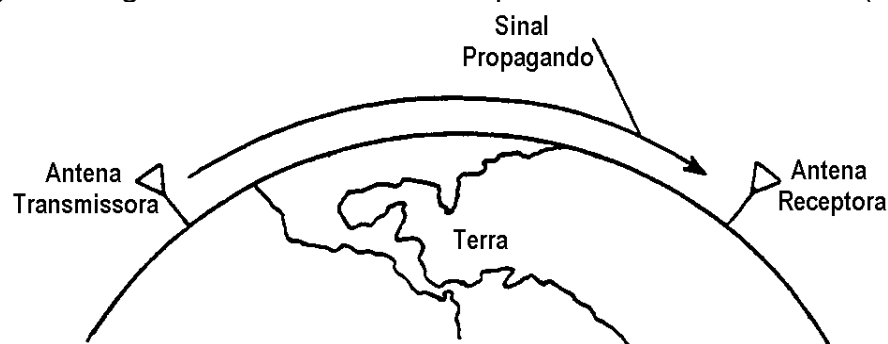
Fisicamente, não há intervalos no espectro. Podemos ter ondas de qualquer frequência que são idênticas na sua natureza, diferenciando no modo como podemos captá-las.

Observe que algumas frequências de TV podem coincidir com a frequência de FM. Isso permite algumas vezes captar uma rádio FM na televisão ou captar um canal de TV num aparelho de rádio FM.

1.5. Características das Principais Radiações

1.5.1. Ondas de Superfície

As ondas de superfície aparecem em frequências mais baixas e se caracterizam por acompanhar a superfície da terra atingindo longas distâncias. Estas ondas induzem correntes na superfície da terra sobre a qual ela passa, isto produz uma perda por absorção. A figura a seguir ilustra as ondas de superfície ou ondas de solo (abaixo 2 MHz).

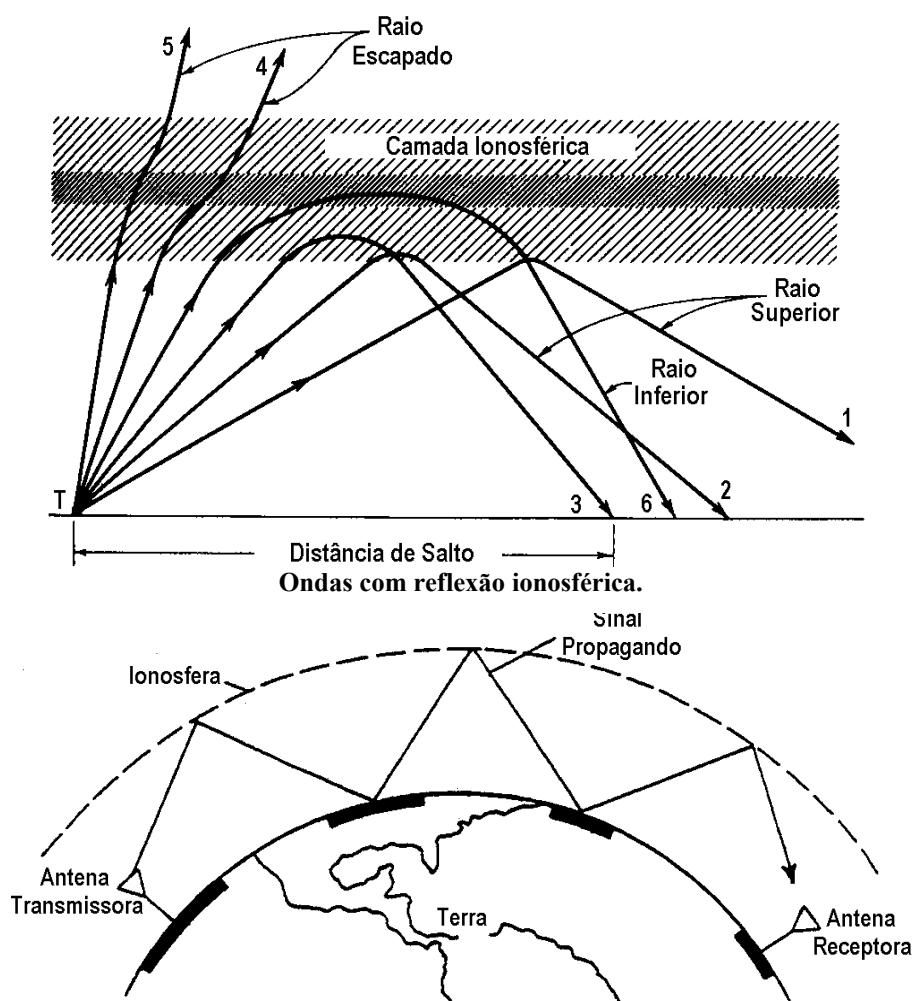


1.5.2. Ondas Ionosféricas

As ondas ionosféricas se caracterizam por refletirem na ionosfera, camada ionizada, que se estende acima de 80Km de altura e até aproximadamente 600 Km, dependendo da atividade solar (noite ou dia). Como exemplo das ondas ionosféricas temos os de rádio AM, rádio amador que podem atingir distância acima de 1000 Km com facilidade.

Um dos pioneiros a estudar a ionosfera foi Sir Edward Appleton, ele trabalhou na análise da ionização da ionosfera, visando estudar os efeitos da propagação de ondas. A ionosfera é dividida em camadas: D, E, F1, F2. A ionização é causada pelo efeito das radiações do sol sobre a atmosfera terrestre. A incidência de radiações solares ioniza os gases constituintes da atmosfera, acima de aproximadamente 80 Km, produzindo elétrons livres e íons.

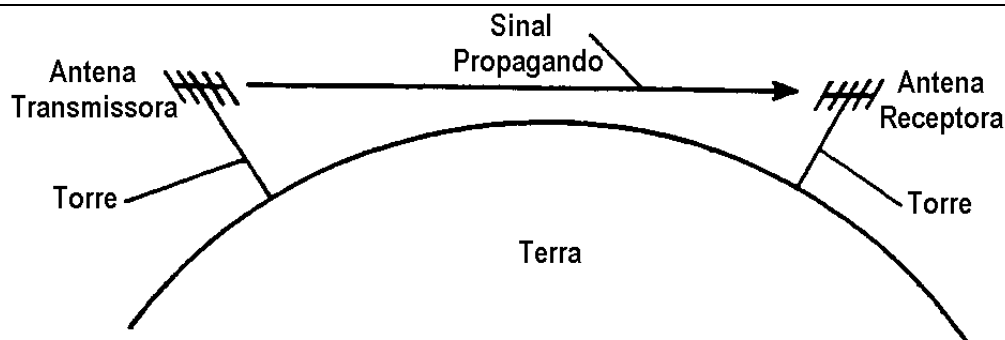
As ondas refletidas na ionosfera podem atingir longas distâncias (acima de 1000 km). As figuras a seguir ilustram como pode ser as ondas ionosféricas. Na primeira, os raios 4 e 5 não são refletidos e escapam, isto acontece quando a frequência é superior a 30 MHz. Para os outros raios a onda retorna à superfície da terra. A outra figura, ilustra o caso de haver várias reflexões na ionosfera e na terra, neste caso o sinal poderá dar volta em torno da terra.



Onda ionosférica com múltiplas reflexões (2 até 30 MHz).

1.5.3. Ondas Diretas ou de Visada Diretas

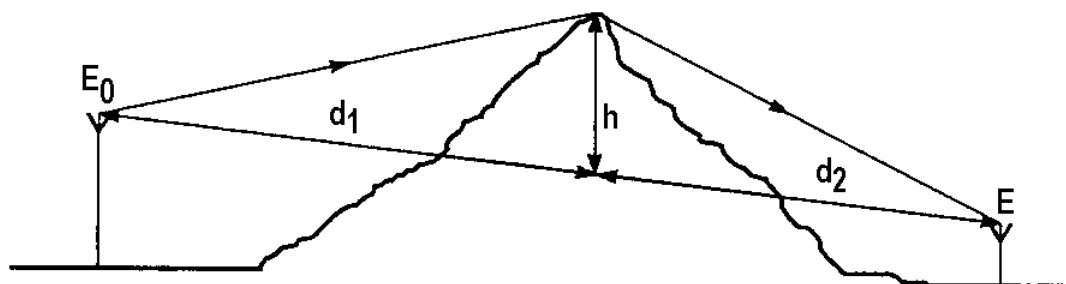
As ondas diretas se propagam em visada direta ou em linha reta, como é o caso dos enlaces de microondas.



Onda em visada direta(acima de 30 MHz).

1.5.4. Ondas Difrataadas.

As ondas difratadas são aquelas que atingem antenas que não estão na visada direta e são explicadas pela teoria da difração de Fresnel. Elas aparecem em recepções que ficam obstruídas por montanhas ou obstáculos de maneira geral.

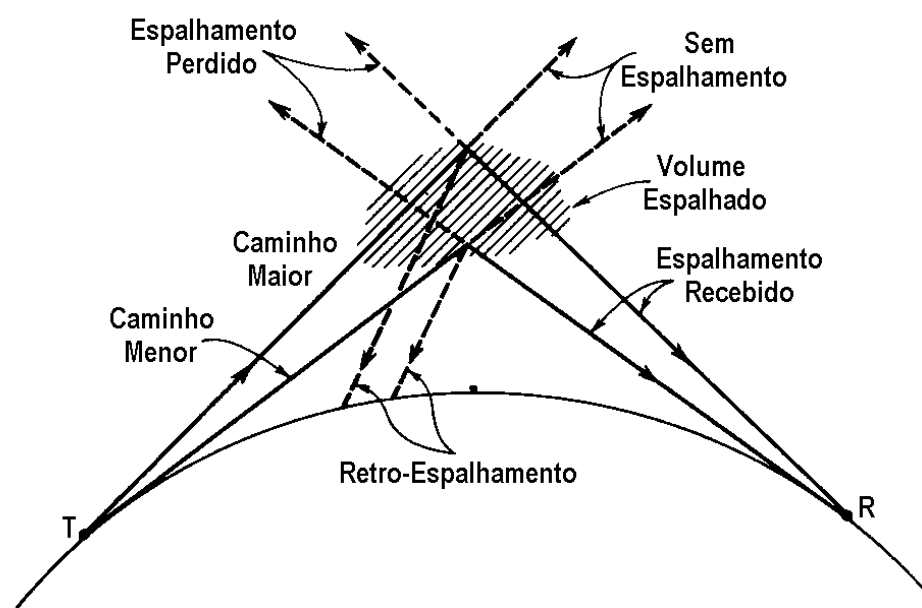


Propagação por difração (obstáculo gume de faca).

1.5.5. Ondas Espalhadas

Na propagação por espalhamento as ondas eletromagnéticas atingem longas distâncias, efeito este que é explicado pelo espalhamento do sinal na ionosfera ou troposfera. O fenômeno da difração é muito conhecido com a luz.

Antigamente este tipo de comunicação era muito usado para atingir distâncias onde não existia enlaces de microondas. As antenas usadas são enormes, pois a densidade de radiação é muito pequena no receptor.



Propagação por espalhamento.

1.6. Classificação por Uso

"Ondas de rádio" é a denominação dada às ondas desde frequências muito pequenas, até 10^{12} Hz, acima da qual estão os raios infravermelhos.

As ondas de rádio são geradas por osciladores eletrônicos instalados geralmente em um lugar alto, para atingir uma maior região. Logo o nome "ondas de rádio" inclui as microondas, as ondas de TV, as ondas curtas, as ondas longas e as próprias bandas de AM e FM.

1.6.1. Ondas de rádio Propriamente Ditas

As ondas de rádio propriamente ditas, que vão de 10^4 Hz a 10^7 Hz, têm comprimento de onda grande, o que permite que elas sejam refletidas pelas camadas ionizadas da atmosfera superior (ionosfera).

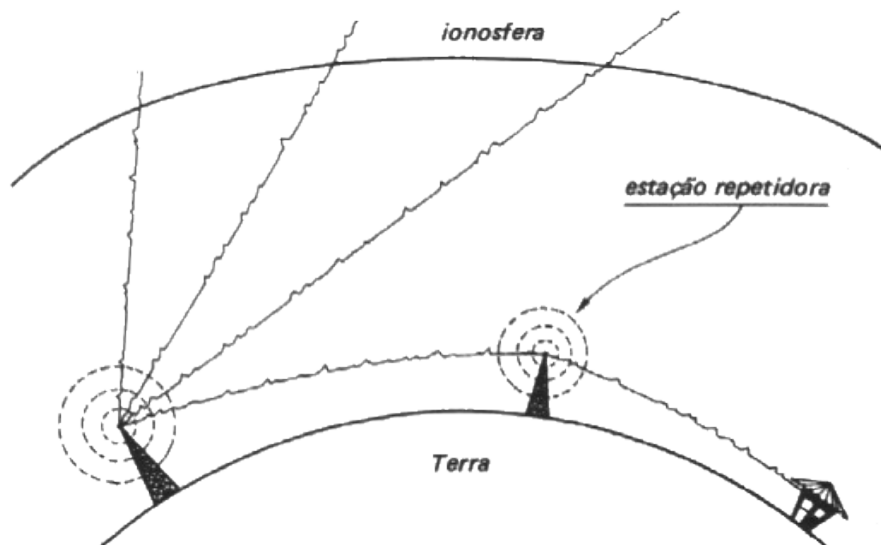
Estas ondas, além disso, têm a capacidade de contornar obstáculos como árvores, edifícios, de modo que é relativamente fácil captá-las num aparelho rádio-receptor.

1.6.2. Ondas de TV

As emissões de TV são feitas a partir de 5×10^7 Hz (50 MHz). É costume classificar as ondas de TV em bandas de frequência (faixa de frequência), que são:

- ❖ VHF: very high frequency (54 MHz à 216 MHz → canal 2 à 13)
- ❖ UHF: ultra-high frequency (470 MHz à 890 MHz → canal 14 à 83)
- ❖ SHF: super-high frequency
- ❖ EHF: extremely high frequency
- ❖ VHF: very high frequency indeed

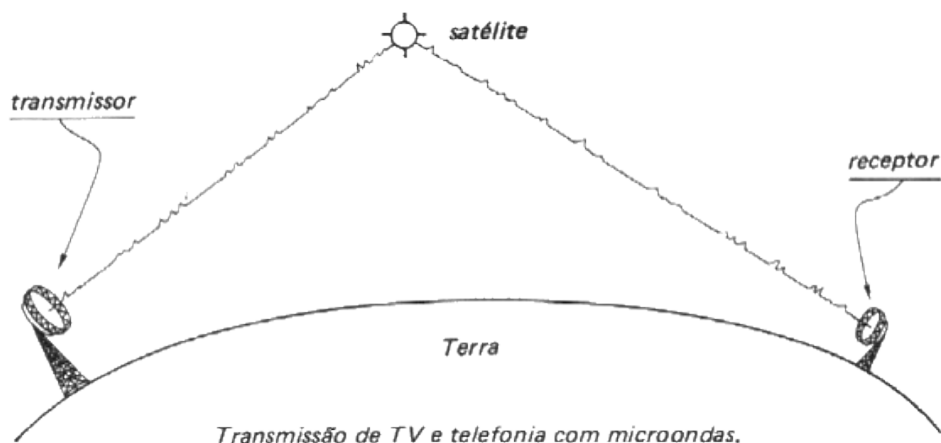
As ondas de TV não são refletidas pela ionosfera, de modo que para estas ondas serem captadas a distâncias superiores a 75 Km é necessário o uso de estações repetidoras.



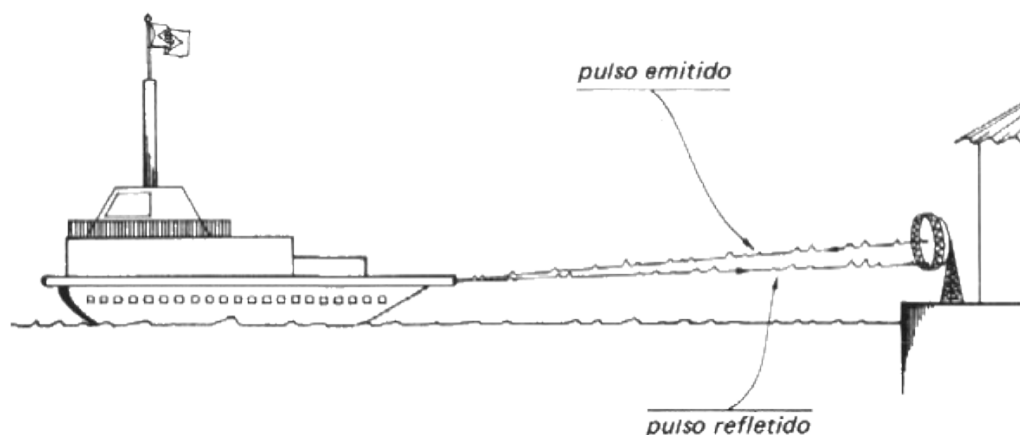
1.6.3. Microondas

Microondas correspondem à faixa de mais alta frequência produzida por osciladores eletrônicos. Frequências mais altas que as microondas só as produzidas por oscilações moleculares e atômicas.

As microondas são muito utilizadas em telecomunicações. As ligações de telefone e programas de TV recebidos "via satélite" de outros países são feitas com o emprego de microondas.



As microondas também podem ser utilizadas para funcionamento de um radar. Uma fonte emite uma radiação que atinge um objeto e volta para o ponto onde a onda foi emitida. De acordo com a direção em que a radiação volta pode ser descoberta a localização do objeto que refletiu a onda.

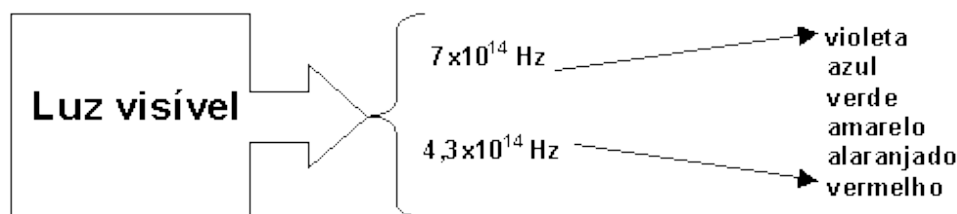


1.6.4. Luz visível

Note que nosso olho só tem condições de perceber frequências que vão de $4,3 \times 10^{14}$ Hz a 7×10^{14} Hz, faixa indicada pelo espectro como luz visível.

Nosso olho percebe a frequência de $4,3 \times 10^{14}$ como a cor vermelha. Frequências abaixo desta não são visíveis e são chamados de **raios infravermelhos**, que têm algumas aplicações práticas.

A frequência de 7×10^{14} Hz é vista pelo olho como cor violeta. Frequências acima desta também não são visíveis e recebem o nome de **raios ultravioleta**. Têm também algumas aplicações. A faixa correspondente à luz visível pode ser subdividida de acordo com o espectro a seguir.



Em inglês: ROYGBV (Red, Orange, Yellow, Green, Blue e Violet)

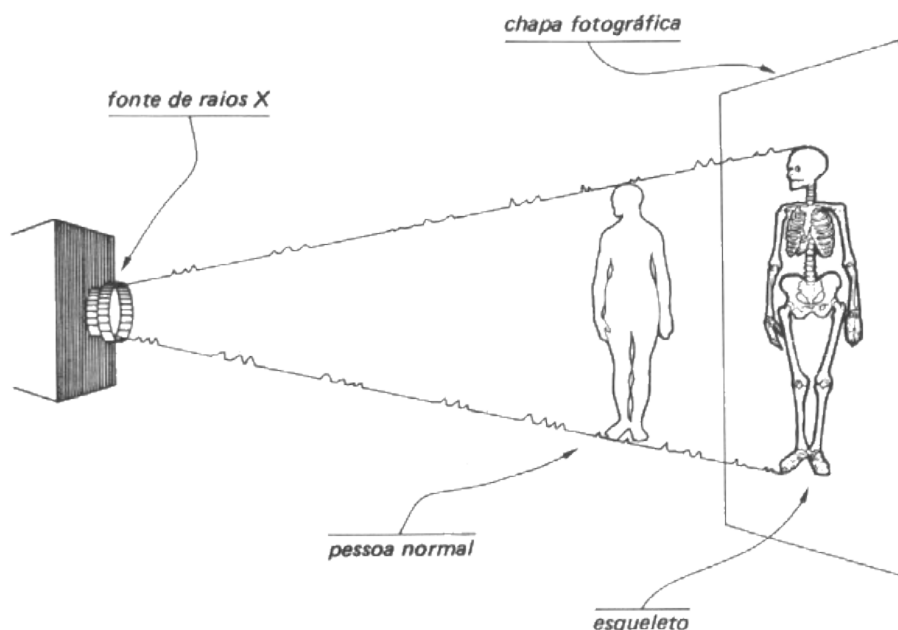
1.6.5. Raios X

Os raios X foram descobertos, em 1895, pelo físico alemão Wilhelm Röntgen. Os raios

X têm frequência alta e possuem muita energia. São capazes de atravessar muitas substâncias embora sejam detidos por outras, principalmente pelo chumbo.

Esses raios são produzidos sempre que um feixe de elétrons dotados de energia incidem sobre um obstáculo material. A energia cinética do feixe incidente é parcialmente transformada em energia eletromagnética, dando origem aos raios X.

Os raios X são capazes de impressionar uma chapa fotográfica e são muito utilizados em radiografias, já que conseguem atravessar a pele e os músculos da pessoa, mas são retidos pelos ossos.



Os raios X são também bastante utilizados no tratamento de doenças como o câncer. Têm ainda outras aplicações: na pesquisa da estrutura da matéria, em Química, em Mineralogia e outros ramos.

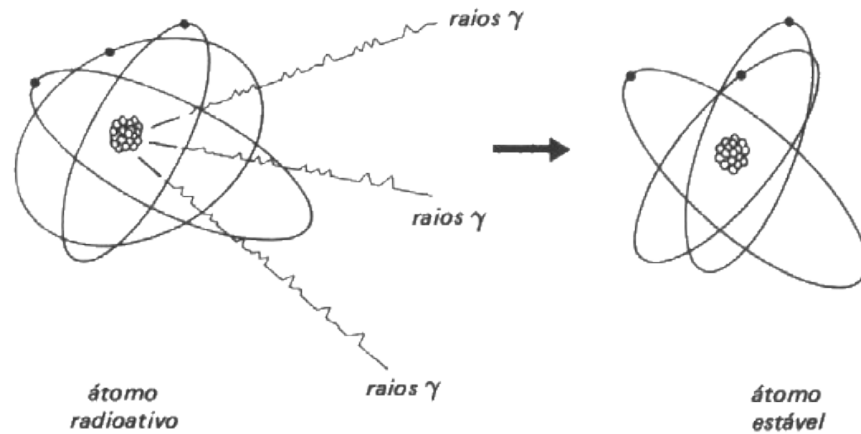
1.6.6. Raios Gama

As ondas eletromagnéticas com frequência acima da dos raios X recebe o nome de raios gama (γ).

Os raios gama são produzidos por desintegração natural ou artificial de elementos radioativos. Um material radioativo pode emitir raios gama durante muito tempo, até atingir uma forma mais estável.

Raios γ de alta energia podem ser observados também nos raios cósmicos que atingem a alta atmosfera terrestre em grande quantidade por segundo.

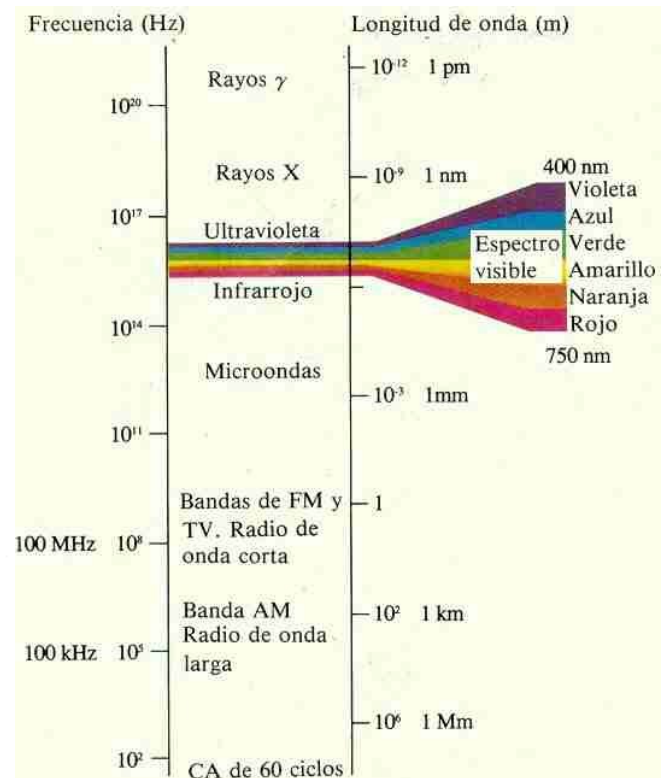
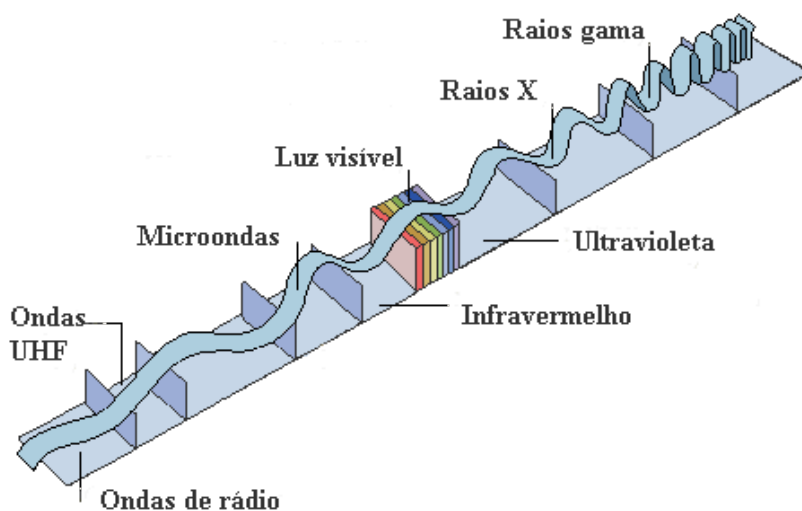
Os raios γ podem causar graves danos às células, de modo que os cientistas que trabalham em laboratório de radiação devem desenvolver métodos especiais de detecção e proteção contra doses excessivas desses raios.



Processo de decaimento de uma amostra radioativa.

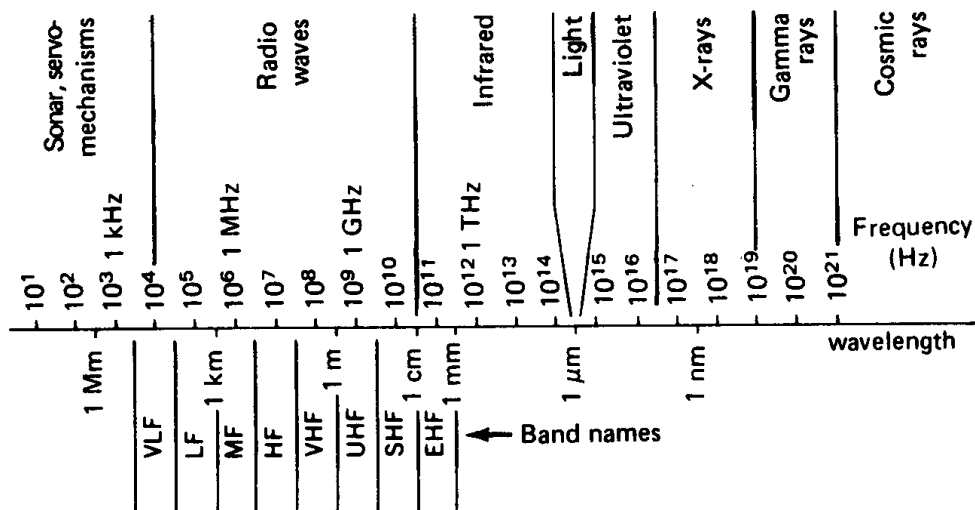
OBS.: Alguns átomos também emitem partículas α e partículas β .

A figura abaixo ilustra toda esta divisão realizada até aqui.



1.7. Classificação por Frequência

A frequência é uma característica fundamental em uma onda eletromagnética, a ela está associado os vários tipos de comunicações com suas várias aplicações. O espectro de frequência é dividido em faixas que são múltiplas de 3.



O espectro de frequência é o conjunto de todas as frequências que pode assumir uma onda eletromagnética. Ele varia desde frequências muito baixas até altíssimas frequências, como veremos a seguir.

Extremely low frequency (ELF): Faixa que vai de 3 mHz até 3 kHz. Esta faixa não tem aplicações em telecomunicações por ser constituída de frequências muito baixas, não tendo capacidade de alocar banda suficiente para comunicações.

Vary low frequency (VLF): Faixa que vai de 3 kHz até 30 kHz. Aplicações: prospecção e comunicação com submarino pois se trata de onda com comprimento de onda muito grande, e como veremos futuramente, a profundidade de penetração de uma onda aumenta com o comprimento de onda. Característica de propagação: ondas de superfície com baixa atenuação.

Low Frequency (LF): Faixa que vai de 30 kHz até 300 kHz. Aplicações: navegação de longo alcance e comunicações marítimas. Características de propagação: ondas de superfície com longo alcance e dutos de propagação com a troposfera.

Medium frequency (MF): Faixa de 300 kHz até 3000 kHz. Aplicações: rádio difusão AM, comunicações marítimas. Característica de propagação: ondas de superfície atingindo longas distâncias e a noite ondas ionosféricas com baixa atenuação. Estes sinais apresentam bastantes ruidosos pois grande parte das descargas atmosféricas caem nesta faixa, apresentam também grande desvanecimento (fading), que observado quando se sintoniza uma rádio AM durante a noite. É a faixa do espectro mais usado pelas emissoras de rádio difusão AM.

High Frequency (HF): Faixa que vai de 3 MHz até 30 MHz. Aplicações: rádio amador, rádio difusão em ondas curtas, comunicações militares, comunicações com navios, telefone, comunicações comerciais de voz e dados. Características de propagação: A propagação destas ondas se dão principalmente através de ondas de superfície e ondas ionosféricas. Quando se dá na forma de ondas ionosféricas estas comunicações atingem longas distâncias podendo dar volta em torno da terra.

Possui baixo custo, mas por outro lado não possui uma boa relação sinal-ruído, tendo grande desvanecimento e as vezes alta intensidade de ruído. Até a década de 70 era uma das mais usadas, principalmente para se comunicar com navios situados a longa distância da costa. Por ter longo alcance, são também muito usadas para atingir pontos longínquos onde não existe telefone ou qualquer outro meio de comunicação.

Várias empresas usavam tais enlaces de HF, pois além de serem de custo reduzido de implantação não há custo nenhum em uma ligação desta natureza. Hoje grande parte dos enlaces de HF já não são mais usados, pois o satélite pode atingir locais ora alcançados por aqueles enlaces.

Very High Frequency (VHF): Faixa que vai de 30 MHz até 300 MHz. Aplicações:

televisão em VHF, rádio FM, comunicações militares, comunicações com espaçonaves, telemetria de satélite, comunicações com aeronaves, auxílios à rádio-navegação, enlaces de telefonia. Características: As ondas em VHF se propagam por ondas diretas, difratadas e ondas espalhadas. Esta é uma das faixas mais utilizadas do espectro por se tratar da faixa em que se encontra todos os canais de televisão em VHF.

Ultra High Frequency (UHF): Faixa que vai de 300 MHz até 3000 MHz. Aplicações: televisão UHF, telefonia celular, auxílios à rádio navegação, radar, enlaces de microondas e satélite. Características de propagação: Ondas de visada direta e difratadas.

Super High Frequency (SHF): Faixa que vai de 3 GHz até 30 GHz. Aplicações : Comunicações via satélite e enlaces de microondas. Características de propagação: ondas de visada direta com grande atenuação devido à chuva e gases atmosféricos (oxigênio e vapor d'água).

Extremely High Frequency (EHF): Faixa que vai de 30 GHz até 300 GHz. Aplicações: Radar, comunicações via satélite em fase experimental. Característica de propagação: ondas direta com grande atenuação devido a chuva e gases atmosféricos (oxigênio e vapor d'água). A faixa de frequência acima de 1GHz é comum ter outra designação como:

Designação	Faixa (GHz)
L	1.0 - 2.0
S	2.0 - 4.0
C	4.0 - 8.0
X	8.0 - 12.0
Ku	12.0 - 18.0
K	18.0 - 27.0
Ka	27.0 - 40.0
R	26.5 - 40.0
Q	33.0 - 50.0
V	40.0 - 75.0
W	75.0 - 110.0
Milimétricas	110.0 - 300.0
Infravermelho, visível em ultra violeta	$10^3 - 10^7$

1.8. Exercícios

1. Comparadas com a luz visível, as microondas tem:

- (A) velocidade de propagação menor no vácuo.
- (B) fótons de energia maior.
- (C) frequência menor.
- (D) comprimento de onda igual.
- (E) comprimento de onda menor.

2. A tabela mostra os comprimentos de onda de três ondas eletromagnéticas.

Ondas	λ
X	10
Y	5.000
Z	10.000

Para essas três ondas, qual a alternativa correta ?

- (A) No vácuo, a velocidade de propagação da onda X é menor do que a da onda Y.
- (B) A energia de um fóton da onda Z é maior do que a de um fóton da onda X.
- (C) A energia de um fóton da onda Y é igual à de um fóton da onda X.
- (D) No vácuo, as três ondas têm a mesma frequência.
- (E) A frequência da onda X é maior do que a da onda Y.

3. A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no ar é de aproximadamente

3×10^8 m/s. Uma emissora de rádio que transmite sinais (ondas eletromagnéticas de $9,7 \times 10^6$ Hz pode ser sintonizada em ondas curtas na faixa (comprimento de onda) de aproximadamente.

- (A) 19 m
- (B) 25 m
- (C) 31 m
- (D) 49 m
- (E) 60m

4. A tabela mostra as frequências (f) de três ondas, eletromagnéticas que se propagam no vácuo. Comparando-se essas três ondas, verifica-se que

Ondas	f(Hz)
X	3×10^{17}
Y	6×10^{14}
Z	3×10^{14}

- (A) a energia de um fóton associado à onda X é maior do que a energia de um fóton associado a onda Y.
- (B) o comprimento de onda da onda Y é igual ao dobro do da onda Z.
- (C) à onda Z estão, associados os fóton de maior energia e de menor quantidade de movimento linear.
- (D) a energia do fóton associado à onda X é igual à associada à onda Y.
- (E) as três ondas possuem o mesmo comprimento de onda.

5. Selecione a alternativa que completa corretamente as lacunas nas afirmações abaixo:

I - O módulo da velocidade de propagação da luz no ar é que o da luz no vidro.

II - No vácuo, o comprimento de onda da luz é que o das ondas de rádio.

- (A) maior - menor.
- (B) maior - maior.
- (C) menor - o mesmo.
- (D) o mesmo - menor.
- (E) o mesmo - maior.

6. Entre as ondas eletromagnéticas mencionadas na tabela. Identifique a que tem o maior comprimento de onda e a que apresenta a maior energia de um fóton associado à onda, respectivamente

Ondas eletromagnéticas
infravermelho
microondas
raio X
ultravioleta

- (A) microondas - raios X
- (B) ultravioletas - raios X
- (C) microondas - infravermelho
- (D) ultravioleta - infravermelho
- (E) raios x - infravermelho

7. Ondas eletromagnéticas

- (A) de mesmo comprimento de onda não podem apresentar o fenômeno da interferência.
- (B) podem propagar-se no vácuo.
- (C) apresentam um campo elétrico variável paralelo a sua direção de propagação.
- (D) de diversos tipos apresentam a mesma frequência no vácuo.
- (E) não são polarizáveis.

8. Ondas de rádio FM são de mesma natureza que ondas:

- (A) na água
- (B) sonoras
- (C) luminosas
- (D) numa mola
- (E) numa corda

9. Analise cada uma das seguintes comparações relacionadas com ondas eletromagnéticas e indique se são verdadeiras (V) ou falsas (F).

- () Os tempos que a luz leva para percorrer as distâncias do Sol até a Terra e da Luz até a Terra são iguais.
 () No vácuo, os módulos das velocidades de propagação da luz e das microondas são iguais.
 () No vácuo, as frequências de todas as ondas eletromagnéticas são iguais.

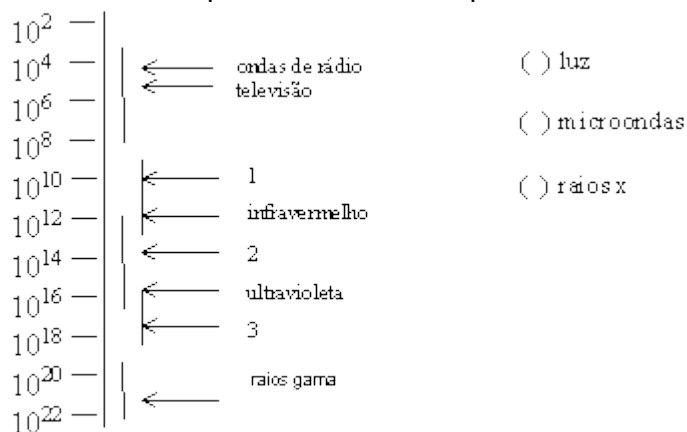
Quais são, pela ordem, as indicações corretas?

- (A) V - V - F
 (B) V - F - V
 (C) F - V - F
 (D) F - V - V
 (E) F - F - V

10. Em qual das alternativas as radiações eletromagnéticas estão citadas na ordem crescente da energia do fóton associado as ondas?

- (A) raios gama, luz visível, microondas
 (B) raios gama, microondas, luz visível
 (C) luz visível, microondas, raios gama
 (D) microondas, luz visível, raios gama
 (E) microondas, raios gama, luz visível

11. Associe cada radiação eletromagnética (coluna da direita) com o seu intervalo de frequência f , representado no espectro eletromagnético (coluna da esquerda). A relação numérica, de cima para baixo, da coluna da direita, que estabelece a sequência de associações corretas é



- (A) 1 - 2 - 3
 (B) 1 - 3 - 2
 (C) 2 - 1 - 3
 (D) 2 - 3 - 1
 (E) 3 - 2 - 1

12. Selecione a alternativa que, pela ordem preenche corretamente as lacunas:

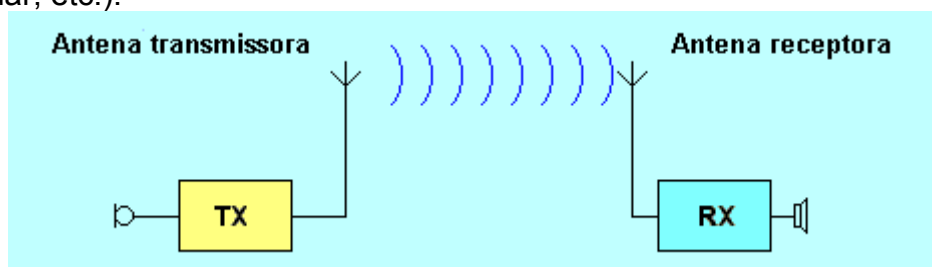
Uma onda transporta de um ponto a outro do espaço. No vácuo, todas as ondas eletromagnéticas possuem mesma As ondas sonoras propagam-se em uma direção a direção das vibrações do meio

- (A) energia - frequência - paralela
 (B) matéria - velocidade - perpendicular
 (C) energia - amplitude - perpendicular
 (D) matéria - intensidade - paralela
 (E) energia - velocidade - paralela.

2. ANTENAS

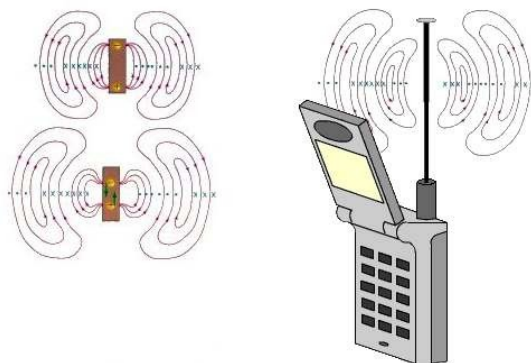
2.1. Introdução

As antenas são dispositivos destinados a transmitir ou receber ondas de rádio. Quando ligadas a um transmissor (de rádio, TV, radar, etc.) convertem os sinais elétricos em ondas eletromagnéticas. Quando ligadas a um receptor, captam essas ondas e as convertem em sinais elétricos que são amplificados e decodificados pelo aparelho receptor (de rádio, televisão, radar, etc.).



O transmissor produz o sinal na forma de corrente alternada, ou seja, com rápida oscilação, indo e vindo ao longo de seu condutor. A frequência da oscilação pode ir desde milhares de vezes por segundo até milhões de vezes por segundo, e é medida em kilohertz ou megahertz. Ao oscilar na antena de transmissão, a corrente produz uma onda eletromagnética em sua volta, que se irradia pelo ar. Quando atinge uma antena receptora, a onda eletromagnética induz nela uma pequena corrente elétrica que se alterna para a frente e para trás ao longo da antena, acompanhando as oscilações da onda. Essa corrente é muito mais fraca do que a presente na antena transmissora, mas pode ser amplificada pelo aparelho receptor.

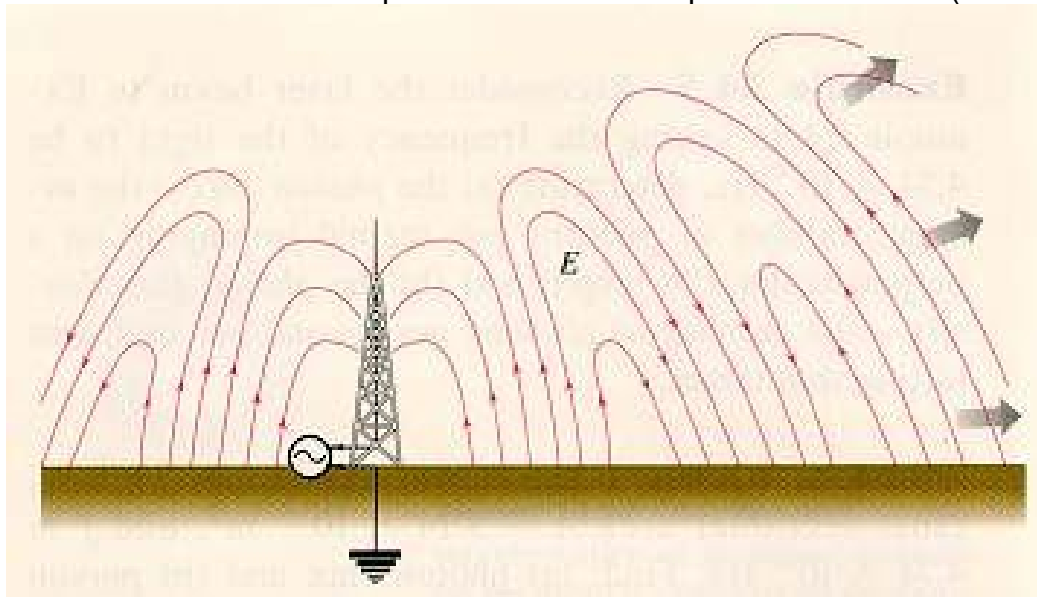
A atmosfera encontra-se repleta de ondas eletromagnéticas de várias frequências, e todas elas atingem as antenas receptoras. Contudo, cada aparelho receptor possui meios próprios para selecionar uma faixa estreita de frequência, podendo sintonizar um sinal em particular. Ao ser sintonizado numa certa faixa de frequência, o receptor só responde aos sinais dessa faixa determinada, excluindo as demais.



Cada frequência está associada a um comprimento de onda. Quanto mais alta a frequência, menor é o comprimento de onda (o produto das duas é sempre igual a velocidade da luz). A eficiência de uma antena depende da relação correta entre seu comprimento físico e o comprimento de onda do sinal que transmite ou recebe. O ideal é que as antenas tenham exatamente a metade, ou um quarto, do comprimento de onda que recebem ou transmitem. Os princípios que regem o funcionamento das antenas receptoras ou transmissoras são idênticos.

As antenas de transmissão podem estar em posição horizontal ou vertical, mas requerem que as antenas receptoras de suas emissões observem o mesmo posicionamento.

As montadas verticalmente causam pouco efeito nas receptoras horizontais (e vice-versa).



Os sinais radiofônicos de ondas médias e longas seguem a curvatura da Terra, chegando a se propagar por centenas e até milhares de quilômetros com relativamente pouca perda de potência. Por outro lado, os comprimentos de onda menores, como as de frequência VHF ou UHF, usados para transmissão de alta fidelidade, estereofonia ou televisão, propagam-se de maneira similar a um feixe luminoso, limitando seu alcance até a linha do horizonte.

2.2. Importância das Antenas

A eficiência de qualquer meio de comunicação por meio do rádio, principalmente tratando-se de equipamento QRP, depende em grande parte da antena ou conjunto de antenas que são utilizadas. É por esta razão que se deve ter o máximo cuidado na escolha da antena; caso contrário, ela se transformará num fator limitante.

A antena determina se a potência disponível será irradiada em todas as direções ou não, qual ângulo sobre o horizonte e qual o fator de ganho. Além disso, freqüentemente será ela que eliminará interferências provenientes de alguma direção conhecida, além de evitar uma série de outros inconvenientes. Por todos esses motivos é que se impõe um cuidadoso estudo para a escolha correta da antena, para obter, em cada caso particular, a melhor recepção possível.

Primeiramente devemos observar que não existe um sistema de irradiação ideal, mas sim diversos tipos; o melhor sistema dependerá da análise de cada caso particular. Somente depois dessa análise poderemos determinar qual o melhor tipo para a situação que se tem pela frente.

Acontece freqüentemente que quando melhoramos uma característica acabamos piorando outra. Por exemplo, aumentando o ganho de uma antena numa determinada direção, teremos nessa direção privilegiado um ganho bem maior, mas com o inconveniente de que nas outras direções o ganho será inferior. Quando o objetivo é a comunicação com uma única estação, não há nenhum problema em reduzir o ganho nas demais direções, pois assim as estações indesejáveis serão atenuadas, melhorando sensivelmente o sinal recebido.

Se, porém, queremos contatar várias estações ao mesmo tempo, esse procedimento já não será aconselhável. Por isso, o fundamental é adequar cada sistema de irradiação a seus objetivos e necessidades específicas.

Aproveite para tirar o máximo de seu sistema irradiante. Será demonstrado a seguir uma maneira prática de construção de uma antena dipolo, fácil de instalar e ajustar.

2.2.1. Comprimento de Onda

Em radiofrequência utiliza-se uma unidade de medida diferente das quais estamos acostumados, como por exemplo o metro, o centímetro e a polegada. Quando nos referimos a comprimento ou distância, ou seja, todos ou quase todas as relações existentes em radiofrequência são medidas em comprimento de onda, cujo símbolo é: λ .

Assim, quando dizemos que uma linha de transmissão é de $\frac{1}{4} \lambda$, estamos nos referindo a um trecho de linha com um tamanho igual a $\frac{1}{4} \lambda$ do comprimento de onda naquela linha, que pode ser um cabo coaxial ou outro tipo qualquer. Existe uma velocidade de propagação diferente da onda eletromagnética para cada tipo de meio de propagação, por isso existem também diferentes comprimentos de onda para frequências iguais.

Para sabermos qual o comprimento de onda em uma determinada frequência, basta dividirmos a velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo (300.000.000 m/s) pela frequência (em Hertz). Por exemplo, para sabermos qual o comprimento de onda eletromagnética na frequência de 7 MHz devemos fazer:

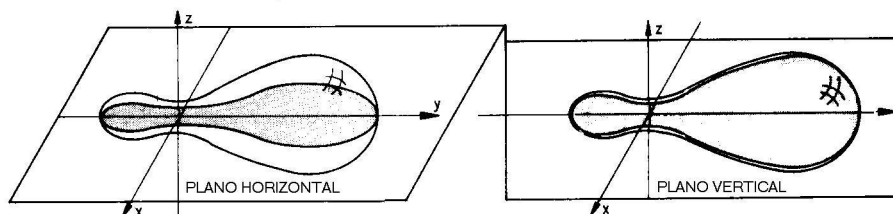
$$\lambda = \frac{300.000.000}{7.000.000} = 42,86 \text{ metros}$$

É por isso que a frequência de 7 MHz é conhecida como faixa dos 40 metros. Assim acontece com todas as outras faixas. Quando calculamos antenas devemos subtrair 5% da velocidade de propagação eletromagnética, pois agora ela não está mais no vácuo e sim no meio físico que é o cobre do cabo coaxial. Alterando-se o material do cabo, teremos portanto outro valor de comprimento de onda, mas todos muito próximos do comprimento no vácuo. Após ajustes finos da antena, tais diferenças são compensadas. Veremos que quando calculamos o comprimento da antena deixamos um pouco mais de elemento irradiante para compensarmos as diferenças. Observe que em eletrônica nada é exato, tudo tem uma tolerância.

2.2.2. Diagrama de Irradiação

O diagrama de irradiação é a representação gráfica do ganho de uma antena num determinado plano. Pode-se escolher qualquer plano, mas na prática dois deles são mais usuais: o diagrama de irradiação horizontal e o vertical.

Vamos considerar o diagrama de irradiação como sendo uma figura sólida no espaço. Então, o diagrama de irradiação horizontal é apenas a figura resultante do corte horizontal desse sólido.



Podemos observar que uma antena tem um determinado diagrama de irradiação "espacial", ou seja, em três dimensões. No entanto, é muito pouco prático fazer o levantamento desse diagrama sempre que se for testar uma antena. É por isso que foram escolhidos os dois planos mais importantes, que dão uma boa idéia de como a antena irradia.

Para se compreender bem esta figura e demais diagramas, devemos raciocinar da seguinte maneira: imaginemos a antena localizada no centro do diagrama, isto é, no ponto de cruzamento dos eixos X, Y e Z e com uma dimensão tão pequena que seja imperceptível a olho nu. A forma do sólido que surge dos diagramas de irradiação de uma antena é definida pela quantidade de energia de radiofrequência que ela irradia em cada direção. A direção em que ela irradia mais apresenta uma figura mais alongada, e na direção em que a

irradiação é menor a figura tem um formato mais afinado. Assim, na figura acima, o plano definido pelos eixos X e Z representa o mínimo de irradiação da antena, e na direção da reta Y a irradiação é máxima.

Tudo o que foi dito é válido também para recepção. Assim, na direção em que houver maior irradiação, haverá também maior ganho na recepção ocorrendo o contrário no caso inverso.

2.2.3. Antena Isotrópica

Antena isotrópica é aquela que irradia igualmente em todas as direções. Os diagramas de irradiação vertical e horizontal são em forma de circunferência, pois o diagrama no espaço seria equivalente a uma esfera. Essa antena pode ser comparada a uma lâmpada que ilumina igualmente em todas as direções.

A antena isotrópica existe somente na teoria (não existe antena ideal), e sua finalidade é servir como padrão de referência na medição de outras antenas, embora alguns fabricantes considerem a antena dipolo um elemento bem melhor como padrão de referência, porque ela é uma antena real e não imaginária.

De qualquer forma, a escolha de uma ou outra referência não altera em nada as características da antena medida. É a mesma coisa que medir uma mesa em metros ou polegadas, apesar dos números se apresentarem diferentes o tamanho da mesa será igual. É lógico que sempre é necessário indicar qual a unidade que foi usada (metros ou polegadas). A mesma coisa acontece no caso da antena: devemos indicar qual o padrão de referência que usamos para expressar o seu ganho.

Ainda mais: no caso de uma comparação, deve-se ter o cuidado de expressar ambos os ganhos comparados em relação à mesma referência. Voltando ao nosso exemplo, só podemos comparar uma medida em cm com outra também em cm; não podemos comparar centímetros com polegadas. Por isso é que não tem validade alguma afirmar que uma antena tem um ganho de 10 dB, para que a afirmativa seja válida é necessário indicar se esses 10 dB são em relação à antena isotrópica ou a outra referência escolhida, daí vermos em manuais valores expressos em dBi (de isotrópica) ou dBd (de dipolo).

2.3. Ganho de uma Antena

Para definir com precisão o que é o ganho de uma antena se faz necessário algumas considerações. O que realmente significa quando alguém diz que uma antena tem 5 dB (decibels) de ganho?

A antena isotrópica é aquela que irradia igualmente em todas as direções. Mas para que isso aconteça, ela deve ser um ponto sem dimensões afastado de qualquer objeto. Qualquer antena próxima a um objeto, por menor que seja, não irradiará como a isotrópica.

Além do mais, existem outros fatores que também tornam impossível sua existência, tal como a distância do solo. A antena isotrópica é um modelo ideal, que não pode existir a não ser matematicamente e cuja função é a de servir de padrão de referência para outras medidas. A unidade empregada para expressar o ganho é o decibel (dB), que é dado pela expressão:

$$N(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_2}{P_1} - \text{decibel}$$

Por essa equação podemos calcular quantos decibels (o plural de decibel é mesmo decibels e não decibéis, conforme SI) uma dada potência P_2 é maior que P_1 . Devemos notar que essa é uma medida relativa e que nos dá o quanto uma grandeza (potência) é maior que outra.

Agora, se um sinal for 6 dB mais potente que outro, por uma propriedade característica dos logaritmos, o primeiro será $2 \times 2 = 4$ vezes maior que o segundo ($6 \text{ dB} = 3 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$). No caso de termos 9 dB, fazemos o desdobramento:

9 dB = 3 dB + 3 dB + 3 dB, o que nos dá **2 x 2 x 2 = 8 vezes**

Quando tivermos 10 dB, a potência P_2 será 10 vezes maior que P_1 . E assim, quando quisermos saber quantas vezes uma certa potência é maior que outra, basta separá-la (os dB) em somas de 3 dB e multiplicar por 2 cada vez que tivermos um 3. Se tivermos um múltiplo de 10 é ainda mais fácil, pois basta multiplicar por 10. Veja os exemplos:

6 dB = 3 dB + 3 dB = 2 x 2 = 4 vezes

13 dB = 10 dB + 3 dB = 10 x 2 = 20 vezes

16 dB = 10 dB + 3 dB + 3 dB = 10 x 2 x 2 = 40 vezes

26 dB = 10 dB + 10 dB + 3 dB + 3 dB = 10 x 10 x 2 x 2 = 400 vezes

e assim por diante.

Como podemos perceber, é até mais fácil do que usar a calculadora e com um pouco de prática pode ser feito até de cabeça. Não devemos, porém, confundir os dB de potência e de tensão. Este último é dado por outra relação semelhante, expressa pela seguinte equação:

$$N(\text{dB}) = 20 \log \frac{V_2}{V_1}$$

Voltando às antenas, podemos aplicar esse conceito ao que já vimos. Como referência podemos usar qualquer valor, mas na prática consagrou-se o uso do isotrópico ou do dipolo meia onda.

Se compararmos a antena com uma fonte de luz, a antena isotrópica equivaleria a uma lâmpada que ilumina igualmente a superfície interna de uma esfera que a envolve. Já uma antena direcional, que irradia preferencialmente em uma dada direção, seria comparada com uma lanterna que ilumina somente uma parte da área da esfera considerada.

Podemos então perceber que um modo de medir o ganho seria dividir a área total da esfera pela área "iluminada" pela antena. Quanto menor for essa área, maior o quociente e tanto maior o ganho. Como a luz da lanterna não ilumina só aquela área, mas sim uma área difusa, sem contornos definidos, foi escolhida a área iluminada a meia potência como aquela que seria usada como referência.

Quando comparamos a área total com a área referenciada estamos fazendo a comparação entre uma antena real e o isotrópico, e isso deve ser observado. No caso de usar o dipolo meia onda como referência, teríamos diferentes áreas, o que daria números diferentes para o mesmo valor do ganho. Por isso é importante indicar em qual referência o ganho é dado.

2.3.1. Coeficiente de Onda Estacionária

Toda antena tem uma determinada impedância, que é igual à resistência de irradiação mais uma componente reativa, acontecendo o mesmo com os cabos coaxiais (ou outra linha de transmissão qualquer), só que esses não apresentam a parte reativa. Acontece que se não houver casamento entre a impedância da antena e a do cabo, ao alimentarmos tal conjunto com um sinal de radiofrequência, teremos um efeito que se chama onda estacionária, efeito esse que será tanto maior quanto maior for o descasamento entre o cabo e a antena.

Um dipolo ou outro tipo qualquer de antena apresenta uma certa impedância entre seus terminais na frequência de ressonância. Vamos considerar que nesse ponto sua impedância esteja perfeitamente casada com a do cabo. Se mudarmos um pouco a frequência do sinal para cima ou para baixo em relação à frequência de ressonância, a impedância da antena também será alterada ocasionando assim um descasamento entre ela e o cabo de alimentação, o que nos leva a um aumento do coeficiente de ondas

estacionárias.

A sigla ROE (relação de onda estacionária) ou COE (coeficiente de ondas estacionárias) podem também aparecer como SWR, que vem do inglês standing wave ratio.

Quando não for possível a medição do coeficiente de ondas estacionárias, existe um método de cálculo muito simples que nos dará esse valor. No entanto, ele só é válido quando a impedância da antena for puramente resistiva. A ROE será dada por:

$$ROE = \frac{Z_R}{Z_A} \text{ ou } ROE = \frac{Z_A}{Z_R}$$

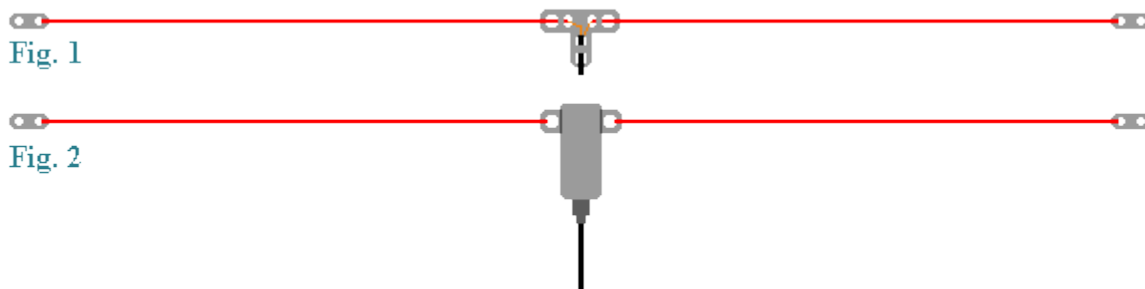
O uso de uma ou outra dessas fórmulas depende apenas de Z_R (impedância resistiva da linha) e da Z_A (impedância resistiva da antena). Como a ROE tem sempre que ser maior que um, basta colocar o valor maior sempre no numerador. Vamos ver um exemplo:

Exemplo: Qual a ROE para uma antena de 80 W de impedância ligada a um cabo coaxial de 50 W?

80 W / 50 W = 1,6 = ROE (então a ROE é 1,6:1)

2.4. Antena Dipolo

A dipolo de $\frac{1}{2} L$ é provavelmente a mais simples antena utilizada pelos radioamadores, ela consiste de dois $\frac{1}{4} L$ de comprimento de fio. Como mostrado, o dipolo tem uma performance melhor através da frente e costa de sua tela, mas terá um nulo (área reduzida/baixo rendimento) em qualquer lateral de seu monitor. Isto pode ser extremamente útil se você deseja operar Leste de estações ou Oeste de você, mas pode evitar interferência de estações para o Norte ou Sul (ou vice-versa).



Para uso omni-direcional, o dipolo deverá ser montado verticalmente, com o centro do cabo coaxial alimentando o fio que fica para o alto.

A figura 1 mostra a antena usada com uma conexão simples a um cabo coaxial de 75 Ohms. Como a impedância característica de uma antena dipolo de $\frac{1}{2} L$ é aproximadamente de 75 Ohms, pode-se ligar a mesma diretamente ao rádio. Claro que, se trata de uma alternativa, mas pode alimentar o dipolo diretamente com o cabo de 50 Ohms.

A figura 2 mostra o dipolo com um balun de 1:1 (transformador equilibrado/desequilibrado) inserido no centro da antena. Este é o método preferido de construção, e normalmente tem uma melhor performance que o método de isolador central previamente mostrado.

A impedância a um determinado ponto na antena é determinada pela relação da voltagem pela corrente àquele ponto. Por exemplo, se tiver 100 V e 1.4 A de RF a um ponto especificado em uma antena e se elas estiverem em fase, a impedância seria aproximadamente 71 Ohms.

O tamanho de uma antena dipolo de $\frac{1}{2} L$ depende do diâmetro do condutor utilizado, bem como da distância da antena com relação ao solo e outros, onde o ideal seria acima de $\frac{1}{2} L$ em metros.

Exemplo: Calcule aproximadamente o tamanho de sua antena dipolo de $\frac{1}{2} L$, para frequências abaixo de 30 MHz.

2.4.1. Antena Dipolo Dobrado

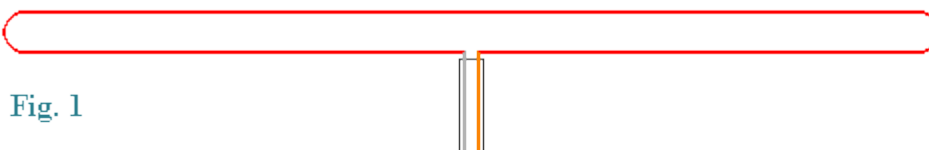


Fig. 1

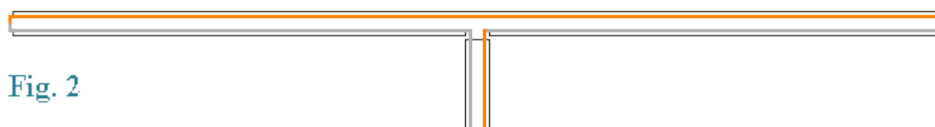


Fig. 2

O Dipolo Dobrado é outra variação do Dipolo de $\frac{1}{2}$ onda, mas tem uma banda passante um pouco maior quando comparada a um Dipolo de $\frac{1}{2}$ onda. Há dois modos principais para construir a antena conforme mostrado acima.

A figura 1 mostra o Dipolo Dobrado construído de arame. O raio dos fins realmente não importa muito, mas o que é importante é que a antena é alimentada com tira de 300 Ohms. Isto é porque o Dipolo Dobrado, como todos os outros dipolos, é uma antena equilibrada e tem uma impedância de cerca de 250 ohms. Novamente, como todos os dipolos, um balun alimentado com cabo coaxial pode ser usado, mas ao contrário do dipolo de $\frac{1}{2}$ onda ou o V "Invertido", devem ser usados um balun de 4:1 e cabo coaxial de 75 Ohms.

A figura mostra o método preferido de construção, com alimentador de 300 Ohms que é usado para a própria antena. Isto é porque é mais fácil de utilizar no cumprimento a mesma fita geminada. Não há nenhuma dificuldade com manter os dois comprimentos da antena separadamente, e eles sempre manterão na posição relativo para um ao outro.

Como a maioria dos radioamadores tem um acoplador de antena é muito mais barato, (muito mais simples) utilizar a fita geminada de 300 Ohms na antena e na descida e fica mais leve a montagem final da antena.

2.4.2. Como Instalar uma Antena Dipolo para HF

A instalação desse tipo de antena é muito fácil, mas deve-se ter alguns cuidados para evitar campos parasitas e valores de ROE indesejáveis. Como ela é uma das mais usadas, vale a pena nos aprimorarmos um pouco mais no assunto.

A primeira coisa a fazer é o cálculo do comprimento da antena pelas equações vistas anteriormente. Por exemplo, para calcularmos um dipolo que funcione em 7060 MHz, temos:

$$L = \frac{1}{2} = \frac{142,5}{7,060 \text{ (MHz)}} = 20,18 \text{ metros}$$

Feito isso, o próximo passo é a escolha do fio a ser empregado. Na maioria das vezes o que se costuma fazer é utilizar uma bitola de fio que sirva para os casos mais frequentes, ou seja, casos em que temos potências envolvidas relativamente pequenas. Essa bitola pode ser 12 ou 14 AWG para potências de até 1 kW (1000 watts). Estações de radioamadores, faixa do cidadão e alguns serviços comerciais se enquadram perfeitamente nessa categoria. Os QRPistas não enfrentam tal problema, mas a bitola do fio maior será interessante, pois assegura boa resistência mecânica. Utilize preferencialmente o fio 12 AWG, pode ser encapado mesmo.

A maneira tecnicamente correta de se instalar um dipolo de $\frac{1}{2}$ onda é pendurá-lo por suas extremidades, deixando o cabo coaxial sair em ângulo reto para baixo de seu centro ou então prendê-lo em sua parte central pelo isolador, fazendo com que as duas metades formem um V invertido, num ângulo de 90 graus. Essa configuração chama-se justamente V invertido.

Qualquer que seja a configuração escolhida, vemos que o fio ficará tracionado, o que

acabará por alongá-lo, principalmente porque a liga geralmente empregada nos condutores não é pura. Devemos então compensar um pouco esse efeito, alongando um pouco o fio antes de fazer a antena. Isso evitará que com o passar do tempo o próprio peso do cabo coaxial acabe por deformar o dipolo. Para alongá-lo, amarra-se uma das pontas do fio a ser usado em uma árvore ou poste, e por meio de um apoio amarrado na outra ponta puxa-se o fio até que tenhamos um alongamento de uns 5% do tamanho original.

Um outro detalhe, posso mesmo utilizar fio encapado? Sim, não há motivo para preocupação, pois tanto o fio encapado como esmaltado se prestam igualmente a isso. O único detalhe é que no caso do fio esmaltado devemos raspá-lo antes de soldá-lo.

Quando efetuar a soldagem, procure raspar bem todas superfícies antes de juntá-las para a solda. Uma boa idéia seria a de dar uma estanhada nos dois lugares antes de uni-los, para garantir que a solda faça contato quando as superfícies são bem limpas.

Depois de esticar o fio, com auxílio de uma trena medimos o comprimento l e, deixando uma certa folga (mais ou menos 1 metro) para ambos os lados, cortamos o fio no seu ponto central.

O cabo coaxial deverá ter a sua extremidade desencapada (capa preta de vinil) uns cinco centímetros; a malha deve ser desfiada e agrupada como um único condutor. O condutor central deverá ter o isolante do coaxial removido um centímetro a partir da ponta, soldando-se a malha e o fio interno do coaxial num dos extremos de cada fio utilizado um isolador central que pode ser comprado em casas especializadas ou feito de madeira ou plástico.

Como último detalhe temos as pontas extremas da antena. poderemos usar castanhas de cerâmica ou isoladores de material plástico, vendido em casas do ramo.

A antena está pronta para ser instalada entre dois pontos previstos para essa finalidade. Não devemos esquecer que essa é uma antena direcional e que o máximo desempenho, tanto na transmissão como recepção, se dá nas direções perpendiculares ao eixo do fio condutor.

2.5. Antenas – Outros Modelos

Desde os primeiros dias do rádio, as antenas envolveram os operadores. Houveram muitos desejos e restrições. Cada tipo de antena foi desenvolvido para ajudar alguém em sua necessidade. Muitos modelos foram modificados, otimizados, curvados, dobrados até alguém dar um novo nome para uma nova antena que nascia. Algumas antenas foram desenvolvidas para serem usadas em locais com pouco espaço disponível, outras, para prover um lóbulo de radiação em especial, e outras somente porque foram feitas.

Radioamadores adoram desenvolver e experimentar antenas. É uma das poucas áreas atualmente em que ainda o radioamador pode construir algo ou modificar visando uma boa ou melhor performance. Para iniciar, tenha em mãos um bom livro sobre o assunto e faça a leitura do mesmo com atenção. Existem muitas publicações que podem fornecer importantes informações sobre muitos tipos de antenas para radioamadorismo.

A performance das antenas é um fator ainda não compreendido pela maioria dos radioamadores. Muitos iniciantes acreditam que uma antena com baixa estacionária é uma boa antena. A estacionária lida através de instrumentos nos mostram tão somente o tanto de potência perdida e não irradiada pelo sistema. Uma alta estacionária pode ser causada por conectores defeituosos ou cabo, assim como uma antena defeituosa ou mal ajustada. A estacionária medida, alta ou baixa, não traduz o quão bem a antena está irradiando!.

Medições ou ganho preterido em antenas são objeto das maiores controvérsias entre fabricantes e usuários. Uma diferença de 2 dB entre uma antena de um fabricante e de outro na hora de comparar um determinado tipo de irradiante pode ser determinada durante os testes onde a altura e o ângulo de irradiação podem ter sido diferentes para um mesmo tipo de antena, daí resultarem diferenças entre elas. Assim, uma antena Yagi mal construída ou

projetada, ou em altura errada, pode não funcionar tão bem quanto outra de menores dimensões ou mesmo um dipolo.

A altura correta de uma antena depende de uma série de fatores. Em geral uma antena baixa é mais eficiente para cobertura local e outra a maior altura é ideal para DX. Porém na prática, existem ocasiões em que uma antena a baixa altura suplanta a mais alta nas bandas de HF. Em VHF e UHF, grandes antenas a grande altura são usadas para transpor obstáculos. Existem outras aplicações nestas faixas em que a altura não é fator preponderante, como ex.: Reflexão lunar, reflexão em chuva de meteoros, aurora, e satélites.

A escolha do tipo de antena a ser usado depende do que se pretende fazer com ela. Você quer competir em um conteste em 160 m. Ou somente escutar o repetidor local de 2m? Você reside em um apartamento em um grande centro urbano ou em uma dúzia de acres no interior? Você vai instalar sua antena em uma torre de 30 m ou vai instalar um fio na janela de seu apartamento? A lista a seguir contempla alguns tipos mais populares de antenas usadas. Não se trata de uma lista completa, apenas ilustrativa, pois nossa intenção não é aprofundar-nos em teorias da física, mas sim um simples guia prático de consulta.

2.5.1. Dipolos de Meia-Onda

Descrição – A mais básica das antenas, somente dois pedaços de fio ou tubos de alumínio com $\frac{1}{4}$ de onda para cada lado, alimentada pelo centro.

Bandas - Todas.

Uso mais comum – HF.

Padrão de irradiação – Se está na horizontal, o padrão será bidirecional, com pontos nulos nas extremidades. Se o centro estiver mais alto que as extremidades, ela será chamada de “V invertida” os pontos nulos das extremidades serão mais pronunciados. Se o fio estiver na vertical obteremos um padrão de irradiação circular.

Vantagens – Fácil de construir, fácil de instalar, materiais leves e de também fácil aquisição.

Desvantagens – Muito longa nas faixas inferiores de HF.

2.5.2. Dipolos Bobinados/Multibanda

Descrição – Dipolo ou dipolo invertido com traps e/ou bobinas de carga que ajudam a operar em outras bandas.

Bandas – HF.

Uso mais comum – HF, onde o espaço não permite ter-se múltiplas antenas de $\frac{1}{2}$ onda completas.

Padrão de irradiação - Igual ao dipolo de $\frac{1}{2}$ onda.

Vantagens – Fácil de instalar e economiza espaço.

Desvantagens – Os traps ou bobinas podem limitar a potência irradiada, mais difícil de ser projetada e sintonizada que um dipolo comum.

2.5.3. Long Wire/Unifilar

Descrição – Usualmente um pedaço de fio tão longo quanto possível.

Bandas – HF.

Uso mais comum - HF portátil ou mesmo base, onde a rapidez e facilidade de instalação são requeridas.

Padrão de irradiação – Multi-lóbulos através do comprimento da mesma, variando o padrão conforme a longitude e a frequência.

Vantagens – Fácil de instalar, leve e pode ser colocada quase que em qualquer lugar.

Desvantagens – Normalmente requer acoplador, requer bom sistema de aterramento para manter a RF fora do Schak. Performance menor que a prevista.

2.5.4. Windon/Zeppelin/G5RV

Descrição – São variações de dipolos e long wires envolvidos em certas situações.



Dentre estas a G5RV é a mais popular versão deste tipo de antena pois foi projetada para cobrir muitas das bandas de HF.

Bandas – HF algumas ou combinações de bandas.

Uso mais comum – HF.

Padrão de irradiação - Variável conforme a frequência.

Vantagens – Cobertura multi-banda.

Desvantagens – Alguns modelos podem ser grandes. Precisam de certos tipos diferenciados de alimentação, acopladores ou balloons para trabalharem bem.

2.5.5. Vertical $\frac{1}{4}$ de Onda

Descrição – É essencialmente um dipolo de $\frac{1}{2}$ onda onde sua parte inferior é constituída por um plano de irradiação. Ex.: o teto de um automóvel ou um plano de terra que consiste em alguns pedaços de fio ou tubos. Uma variante comum deste tipo de antena é a L invertida.

Bandas - HF, VHF e UHF.

Uso mais comum – HF VHF e UHF. Móvel ou base.

Padrão de irradiação - Omnidirecional.

Vantagens - Omnidirecional, cobre múltiplas bandas. Fácil de construir, fácil de sintonizar. Com um sistema diferenciado de alimentação, pode ser combinada aos pares para aumentar o ganho e diretividade.

Desvantagens – Muito grande para as bandas inferiores de HF.

2.5.6. Vertical Multibanda Bobinada

Descrição – Podem ser verticais de $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ onda com traps ou bobinas para fazê-la trabalhar em múltiplas bandas.

Bandas – HF VHF e UHF.

Uso mais comum – HF VHF e UHF móvel.

Padrão de irradiação – Omnidirecional.

Vantagens - Padrão omnidirecional, cobre múltiplas bandas com um simples irradiador vertical, relativamente pequena, comparada a uma vertical full size, algumas não requerem plano terra nem mesmo radiais.

Desvantagens – Mais cara que uma vertical banda-única, não é muito eficiente pois existem perdas nos traps e bobinas. Difícil de projetar e construir.

2.5.7. Loop Onda Completa

Descrição - É uma antena onda completa feita com fio montada em loop , e alimentada onde as pontas se encontram.

Bandas – HF.

Uso mais comum – HF.

Padrão de irradiação - Bi-direcional variando a omnidirecional, dependendo da orientação e do ponto de alimentação.

Vantagens – Ganho maior que a dipolo comum. Material usualmente fácil de encontrar e fácil de construir.

Desvantagens - Imensamente maior que o dipolo, instalação difícil, sintonia delicada em 50 ohms.

2.5.8. Antenas com Elementos Parasitas (Yagis, Quagis, quadra cúbica)

Descrição - Antenas construídas com tubos de alumínio, geralmente $\frac{1}{2}$ onda (Yagis), ou com onda completa em fios rígidos (Quadras) ou combinação destas duas (Quagis). Normalmente só um dos elementos é alimentado com o cabo coaxial, os demais elementos tem a função de apanhar a energia do elemento excitado e reirradia-la.

Bandas – HF VHF e UHF.

Uso mais comum – A qualquer tempo em que se deseje um padrão diretivo.

Padrão de irradiação – Facho diretivo simples.

Vantagens – Ser projetada para dar um ganho maior que a maioria das antenas existentes de HF e VHF. Pode ser apontada para a estação desejada concentrando a potência irradiada naquela direção. Pode reduzir interferências na recepção por também receber em uma só direção. Pode ser construída com fios a preço reduzidíssimo, porém estar apontada somente para um determinado ponto.

Desvantagens - Difícil construção, especialmente nas baixas frequências onde são muito grandes e caras.

2.5.9. Yagis Multibanda

Descrição - Similares as yagis descritas anteriormente, porém com traps e/ou bobinas de carga com o propósito de cobrirem múltiplas bandas.

Bandas – HF (40 a 10 metros usualmente).

Uso mais comum – São usualmente usadas em situações onde não se dispõe de espaço ou dinheiro para ter várias mono bandas.

Padrão de irradiação – Facho diretivo simples.

Vantagens – Cobertura de geralmente três faixas de HF.

Desvantagens – Não tão eficientes quanto as mono bandas, difíceis de construir em casa.

2.5.10. Log Periódica

Descrição – Esta é uma antena dipolo com aproximadamente $\frac{1}{2}$ onda, que vai encurtando seu comprimento físico progressivamente ao longo do boom. Todos os dipolos são alimentados simultaneamente numa disposição conhecida como fase alternada. A idéia é ter dois ou mais dipolos trabalhando juntos em uma frequência em particular, criando um facho onde a antena estiver apontada.

Bandas – HF VHF e UHF.

Uso mais comum – Cobertura de múltiplas bandas.

Padrão de irradiação – Lóbulo simples.

Vantagens - Cobertura contínua de frequências. Mais eficiente que as yagis bobinadas.

Desvantagens - Difícil de ser projetada e construída em casa. Usualmente grande como uma tribanda bobinada.

2.5.11. Beverage

Descrição – O nome deriva do Dr. Harold Beverage que foi o primeiro a construí-la. Esta antena tornou-se popular devido ao baixo ruído na recepção de sinais em frequências baixas, principalmente é usada em 160 metros, mas pode ser usada com eficiência em 40 e 80 metros (só recepção). Esta antena é como uma long-wire; usualmente com um comprimento de onda ou mais, é instalada a cerca de 2 ou 3 metros acima do solo.

Bandas – 40 a 160 metros.

Uso mais comum - HF recepção somente.

Padrão de irradiação – Depende do comprimento e da forma de terminação, mas normalmente uma série de lóbulos são encontrado em sua longitude.

Vantagens – Muito direcional, muito baixo ruído é captado, fácil de instalar, muitas variações são possíveis. Material barato e fácil de conseguir.

Desvantagens – Comprimento, superior na maioria das vezes a 160 metros. Relativamente ineficiente, alguns usuários adicionam pré-amplificador a elas com finalidade de aumentar o rendimento.

2.5.12. Cornetas, Discos, Guias de Onda

Descrição – Estes tipos de antenas são usadas especialmente em UHF e microondas.

Bandas - UHF e acima.

Uso mais comum – Qualquer aplicação em UHF.

Padrão de irradiação – Desde um simples facho até múltiplos fachos diretivos.

Vantagens – Mais alto ganho possível, pequeno tamanho, baixo peso.

Desvantagens - Muito difíceis de serem executadas em casa, exatidão é extremamente importante quanto o comprimento de onda diminui.

2.6. Receptores de Comunicação para Radioamadores

Se você já tentou sintonizar uma estação de radioamador em um rádio comum para AM, certamente encontrou alguma dificuldade. Por exemplo, a intensidade do sinal captado é relativamente fraca, uma vez que a potência de um transmissor de radioamador é bem menor que a potência do transmissor de uma estação de radiodifusão comercial, que gira em torno de 5 kW até mais de 50 kW. Por outro lado, a sintonia de uma estação de radioamador é algo crítico nesse aparelho, pois as faixas destinadas aos amadores são bem mais estreitas, por exemplo a faixa de 40 metros, que vai de 7,0 MHz até 7,3 MHz.

Os fatos mencionados estabelecem as primeiras características técnicas de um receptor de comunicações:

- ❖ boa sensibilidade - capacidade de receber sinais fracos;
- ❖ boa seletividade - capacidade de sintonizar estações que transmitem em frequências bem próximas, além de outras que serão analisadas mais adiante.

Na atualidade, praticamente todos os receptores usados nas estações dos radioamadores são do tipo super-heterodino.

Apesar do princípio básico de funcionamento ser o mesmo entre um receptor comum para radiodifusão (como aquele usado em casa) e um receptor de comunicações existem algumas diferenças. Um receptor de comunicações é um receptor de rádio comum com certos refinamentos para que possa desempenhar as suas funções adequadamente.

Entre esses refinamentos podemos citar, por exemplo, o amplificador de RF, a dupla conversão, o limitador de ruídos, o silenciador, o indicador de intensidade de sinal (ou S METER), o oscilador de batimento (ou BFO), o band-spread (ampliação de faixa), entre outros.

2.6.1. A Conversão de Frequência

O princípio de funcionamento de um receptor super-heterodino é o da conversão de frequência: o sinal captado pela antena do receptor é misturado com um outro sinal gerado por um circuito especial (o oscilador local) do próprio receptor, e cuja frequência é um pouco superior à frequência do sinal sintonizado. Como resultado dessa mistura (batimento) obtém-se um terceiro sinal de frequência fixa igual à diferença entre as duas anteriores, e que denomina-se frequência intermediária ou apenas FI.

2.6.2. O Amplificador de RF

Encontramos o circuito amplificador de RF somente em equipamentos de construção mais elaborada, como em alguns tipos de auto-rádios.

Nos receptores de comunicação, a amplificação de radiofrequência antes do processo de conversão é praticamente obrigatória. O objetivo deste procedimento é conseguir uma elevada sensibilidade e uma alta seletividade, entre outros requisitos; porém, de todos eles o mais importante é a seletividade, conforme veremos mais adiante.

2.6.3. O BAND-SPREAD

Este é o dispositivo específico e exclusivo dos receptores de comunicações. Num receptor comum de radiodifusão (AM), a faixa de ondas médias vai de 550 kHz a 1600 kHz. Vamos supor que o comprimento dessa escala gravada no mostrador (ou dial) do aparelho seja de 9 cm. Assim, teremos $1600 \text{ kHz} - 550 \text{ kHz} = 1050 \text{ kHz}$ distribuídos ao longo do mostrador, o que nos permitirá uma sintonia razoavelmente cômoda das estações que operam nesta faixa.

Ainda nesse receptor, vamos imaginar que a faixa de ondas curtas vá de 6 MHz a 18 MHz. Neste caso, teremos $18 \text{ MHz} - 6 \text{ MHz} = 12 \text{ MHz}$ (ou 12.000 kHz) distribuídos ao

longo dos mesmos 9 cm. Como é fácil notar, aqui a sintonia das estações se torna um pouco crítica, pois a largura da faixa sintonizada é muito maior (12 MHz) para um mesmo comprimento da escala (9 cm). E se quisermos sintonizar a banda de 40 m, a dificuldade aumenta, pois seremos obrigados a explorar os 300 kHz (de 7000 kHz a 7300 kHz) em 3 ou 4 mm da escala.

Como vemos, torna-se necessário empregar algum método que permita abrir ou ampliar mais a faixa, de modo que possamos sintonizar, por exemplo, o espectro de 300 kHz da faixa de 40 m ao longo de todo o dial.

Um dos processos utilizados para esse fim consiste em usar um capacitor variável (de pequeno valor) ligado em paralelo com o capacitor variável de sintonia principal (tanto no circuito de antena como no circuito de oscilador local). Este sistema requer o emprego de dois mostradores. Um deles, correspondente ao variável de sintonia principal, possui as escalas gravadas com as frequências das diversas faixas cobertas pelo receptor. O outro, correspondente ao variável de ampliação de faixa (ou band-spread) normalmente possui a escala dividida em 100 partes.

O band-spread é usado em conjunto com o variável de sintonia principal, e permite separar as estações que estejam muito próximas no mostrador principal.

Muitos receptores de comunicação para uso exclusivo dos radioamadores já são projetados com as faixas ampliadas, mesmo assim possuem o band-spread.

2.6.4. Frequência-Imagem

Nos receptores de comunicação o problema da frequência-imagem é muito importante. Portanto analisaremos mais detalhadamente tal fenômeno.

Como dissemos, a frequência do sinal resultante da conversão (sinal de FI) é igual à diferença entre a frequência do sinal do oscilador local e a frequência do sinal captado pela antena. Em geral, a frequência do sinal gerado pelo oscilador local é maior do que a do sinal sintonizado. Mas se for menor, o receptor super-heterodino também funcionará, desde que a diferença mencionada seja a mesma à da FI do aparelho.

Vamos imaginar que dispomos de um receptor cuja FI é de 100 kHz. Com ele desejamos ouvir as estações de radioamadores que operam na banda de 40 metros.

Se sintonizarmos uma estação que esteja transmitindo em 7040 kHz, por exemplo, o oscilador local do receptor irá trabalhar em 7140 kHz. Como resultado teremos um sinal de 7140 kHz - 7040 kHz = 100 kHz, que é a FI do aparelho, portanto ele será amplificado no estágio de FI, detectado, novamente amplificado no estágio de AF e finalmente reproduzido pelo alto-falante.

Caso nesse instante haja uma outra estação transmitindo em 7240 kHz, e admitindo que a seletividade do circuito de antena não seja tão aguda, de modo que ele consiga chegar até o misturador, o sinal de 7240 kHz irá misturar-se com o de 7140 kHz do oscilador, resultando um sinal de FI, pois: 7240 kHz - 7140 kHz = 100 kHz.

Em resumo, quando o receptor está sintonizado em 7040 kHz, além da emissora que transmite nesta frequência, também escutaremos o sinal da estação que opera em 7240 kHz (a segunda emissora irá interferir na primeira). Neste exemplo, o sinal de 7240 kHz recebe o nome de sinal-imagem e a sua frequência denomina-se frequência-imagem.

Observe também que no exemplo dado, o sinal-imagem será ouvido em duas situações: a primeira quando o receptor estiver sintonizado em 7040 kHz e a segunda quando o aparelho for sintonizado nos próprios 7240 kHz, pois neste caso, o oscilador local irá trabalhar em 7340 kHz, resultando: 7340 kHz - 7240 kHz = 100 kHz (FI).

É importante frisar que a frequência-imagem sempre é igual à frequência do sinal sintonizado mais duas vezes o valor da FI. No exemplo dado, 7240 kHz = 7040 kHz + 2 x 100 kHz + 200 kHz.

Num receptor comum de AM, que disponha de faixas de ondas curtas (entre 6 MHz e 18 MHz por exemplo), é bem fácil observarmos o problema ora analisado. Em primeiro lugar,

devemos conectar uma boa antena ao aparelho. Um simples fio estendido, com um comprimento de 12 m a 15 m, já é o suficiente.

A seguir sintonizamos o aparelho por volta de 6200 kHz (ou 6,2 MHz), um pouco acima da rádio Bandeirantes (49 metros). Nessa região do dial, fatalmente iremos escutar alguma estação de radioamador. Se "subirmos" a sintonia do receptor até aproximadamente 7110 kHz (ou 7,11 MHz), voltaremos a escutar a mesma estação de radioamador, agora com maior intensidade.

Observe que o lugar correto da emissora de radioamador, no dial do aparelho, é de 7110 kHz e não em 6200 kHz. Mas como a seletividade do circuito de antena do receptor não é muito aguda, quando o aparelho está sintonizado em 6200 kHz ocorre que o sinal de 7110 kHz também consegue entrar no conversor, apesar de relativamente atenuado. Por outro lado, lembrando que a FI do receptor é de 455 kHz, portanto, $6200 \text{ kHz} + 2 \times 455 \text{ kHz} = 6200 \text{ kHz} + 910 \text{ kHz} = 7110 \text{ kHz}$.

Em outras palavras, o sinal de 7110 kHz aparece como sinal-imagem e pode causar interferências quando o receptor está sintonizado em 6200 kHz.

Para os receptores comuns de radiodifusão (AM) na faixa de ondas médias, o problema da frequência-imagem praticamente não existe. Como nesses aparelhos a FI é de 455 kHz, o sinal-imagem cai fora dessa faixa. Já nas faixas de ondas curtas, esse problema é sentido mais de perto, pois as frequências sintonizadas são mais altas.

Uma solução para evitar tal problema seria aumentar o valor da FI. Com isso o sinal-imagem ficaria mais distanciado do sinal sintonizado, e a própria seletividade do circuito de antena encarregar-se-ia de atenuá-lo o suficiente, de modo a evitar que esse sinal-imagem chegasse até o misturador. Entretanto, se aumentarmos o valor da FI perdemos em sensibilidade, pois o ganho do estágio de FI é maior em frequências baixas.

Em vez de aumentar muito o valor da FI nos receptores de comunicação o problema é resolvido elevando-se a seletividade dos circuitos prévios ao conversor. Aqui vemos a necessidade do estágio amplificador de RF antes do conversor nesse tipo de receptor.

2.6.5. O Processo da Dupla Conversão

Uma outra maneira de se eliminar o sinal-imagem consiste em utilizar duas vezes o processo da conversão de frequência. Este procedimento denomina-se dupla conversão. Com ele conseguimos melhorar bastante a seletividade do aparelho, daí o seu largo emprego nos receptores de comunicação.

O processo consiste em obter, pelo batimento do sinal sintonizado no circuito de antena com o sinal gerado no 1.º oscilador local, uma FI de valor alto. Em seguida, há um novo batimento entre essa FI elevada e o sinal gerado pelo 2.º oscilador local, resultando numa outra FI, mas agora de valor baixo.

Na primeira etapa desse processo conseguimos uma boa rejeição do sinal-imagem porque empregamos uma FI elevada (4,6 MHz por exemplo). E na segunda etapa, como usamos uma FI baixa (455 kHz por exemplo), ganhamos bastante em sensibilidade.

Nos receptores que empregam a dupla conversão, geralmente a sintonia é feita com um capacitor variável de três seções, unicamente na primeira conversão. A seção "Ca" desse capacitor é usada na sintonia do circuito de antena, a seção "Co" na sintonia do circuito do oscilador local e, por fim, a seção "Cc" é utilizada na sintonia do circuito que acopla a saída do amplificador de RF com a entrada do 1.º misturador. Daí em diante (até a saída do amplificador de FI) todas as demais sintonias são fixas, isto é, uma vez ajustados os circuitos sintonizados, não tocamos mais neles.

Uma outra característica da dupla conversão é que, em geral, o 2.º oscilador local trabalha numa frequência fixa, o que proporciona uma grande estabilidade de frequência. Para isso, o 2.º oscilador local emprega um cristal de quartzo, pois este componente é utilizado nos osciladores de frequência fixa proporcionando grande estabilidade de frequência.

Para entendermos melhor o processo de dupla conversão, vejamos um exemplo prático: Vamos supor que o sinal sintonizado e captado pela antena seja de 7200 kHz; depois de passar pelo amplificador de RF, ele estará presente na entrada do 1.º misturador. Ao mesmo tempo, na entrada do 1.º misturador também estará presente o sinal gerado pelo 1.º oscilador local, cuja frequência vale, nesta situação, 11800 kHz. Do batimento entre esses dois sinais resultará o 1.º sinal de FI em: $11800 \text{ kHz} - 7200 \text{ kHz} = 4600 \text{ kHz}$ (frequência fixa).

2.6.6. O Amplificador de FI

Num receptor de comunicação o estágio amplificador de frequência intermediária reveste-se de grande importância, já que dele dependem, em grande parte, a seletividade e a sensibilidade totais do aparelho.

Em geral, o estágio amplificador de FI é constituído por dois ou três circuitos ligados em cascata, dependendo da categoria do receptor de comunicação.

A diferença básica entre os amplificadores de FI dos receptores comuns de radiodifusão e aqueles utilizados nos receptores de comunicação relaciona-se com a faixa passante.

Nas estações de radiodifusão, a frequência máxima do sinal modulador é limitada em 5 kHz, a fim de se obter uma reprodução razoável dos programas musicais. Por outro lado, nas estações de comunicação geral (como as de radioamadores), a frequência máxima do sinal modulador é fixada, por norma, em 3 kHz.

Nos receptores, o canal de FI deve permitir a passagem das duas faixas laterais produzidas pelo sinal modulador. Assim, num receptor de radiodifusão a faixa passante (ou largura de faixa) do amplificador de FI vale 10 kHz (5 kHz de cada lado da frequência central). Por outro lado, num receptor de comunicação a faixa passante vale 6 kHz (3 kHz de cada lado da frequência central).

2.6.7. Detector de CAG

O circuito detector de AM usado nos receptores de comunicação é do tipo convencional a diodo.

A tensão CC negativa (ou positiva, conforme o caso) resultante da "retificação e filtragem" do sinal obtido na saída do amplificador de FI é a tensão do CAG. Nos receptores de comunicação com dupla conversão, essa tensão CC do CAG comanda automaticamente o ganho do amplificador de FI e do 2.º misturador, na maioria das vezes.

Nos receptores de comunicações, o ganho do amplificador de RF é geralmente controlado manualmente, e não pela tensão do CAG. Esse controle é comumente denominado ganho de RF (RF gain), ou controle de sensibilidade.

Nos circuitos valvulados, o controle de sensibilidade é um simples potenciômetro ligado entre a massa e o cátodo da válvula amplificadora de RF.

Nos receptores comuns de radiodifusão, o usuário não tem acesso ao CAG. Já nos receptores de comunicação existe um interruptor que permite, ao operador, desligar o CAG. Essa operação normalmente é feita durante a recepção de estações telegráficas.

2.6.8. Limitador de Ruídos

Muitas vezes o sinal captado pela antena do receptor vem acompanhado de uma certa quantidade de ruído provocado por descargas elétricas, motores elétricos, sistemas de ignição de automóveis, etc. O ruído superpõe ao sinal útil, dificultando o entendimento da mensagem recebida. Deste modo, o uso de um limitador de ruído, num receptor de comunicações, é quase obrigatório.

No receptor de comunicação, o limitador de ruído vem conjugado com um interruptor, de forma a permitir que o circuito seja colocado em ação quando houver necessidade.

2.6.9. O Amplificador de AF

Num receptor comum de radiodifusão (AM), a faixa de passagem do amplificador de AF

estende-se desde 50 Hz até 5kHz, aproximadamente. Nos receptores de FM, essa faixa vai até os 15 kHz ou um pouco mais. Com tal procedimento, consegue-se uma boa fidelidade na reprodução tanto da voz como da música. Além disso, a etapa de saída do amplificador de áudio é projetada para fornecer a máxima potência sem distorção no alto-falante.

Num receptor de comunicação, a mensagem recebida é constituída da voz (fonia) ou de sinais em código morse (telegrafia), de modo que não é necessária uma fidelidade muito alta. Nos receptores desse tipo, a faixa de passagem do amplificador de AF vai de 300 Hz a 3 kHz, o que garante uma boa inteligibilidade. Por outro lado, a etapa de saída é projetada para uma potência bem menor (em geral de 3W a 6W), apenas o suficiente para excitar o alto-falante ou o fone de ouvido.

A maioria dos receptores para radioamadores inclui um jaque de fone de ouvido. Encaixando-se o plugue nesse jaque o alto-falante fica fora do circuito, funcionando apenas o fone de ouvido. Este procedimento é muito útil quando se escutam estações distantes ou quando não se quer molestar os vizinhos com o som produzido pelo alto-falante.

Todo receptor de comunicação está projetado para um certo tipo de fone, normalmente de alta ou baixa impedância. Os de alta impedância são, em geral, de 10 kW ou mais; os de baixa impedância normalmente são de 80 kW ou 40 kW. Em qualquer caso, para se obter os melhores resultados é aconselhável usar o tipo correto de fone, recomendado pelo fabricante do receptor.

Em muitos receptores de comunicação, o alto-falante é instalado numa pequena caixa à parte. Quanto maior seu tamanho, melhor a qualidade sonora. Os fabricantes de receptores comumente especificam o tamanho (diâmetro, em polegadas) e a potência do alto-falante requerido.

Quanto aos controles do amplificador de AF, volume (ou ganho de áudio) e tonalidade - este pode ser de variação sem escalões (ou graus) ou de variação contínua - constituem um refinamento não essencial ao perfeito desempenho do aparelho.

2.6.10. O Essímetro

A denominação ESSÍMETRO vem do inglês signal strength meter e significa medidor de intensidade de sinais. É também conhecido como s-meter e medidor de s.

Trata-se de um dispositivo que proporciona uma indicação visual, mas relativa, da intensidade dos sinais captados pelo receptor. Essa indicação quase sempre se obtém por meio de um medidor de bobina móvel, cuja escala está graduada de acordo com um código preestabelecido (unidade "S").

O essímetro é usado como "indicador visual de sintonia", indicando o ponto correto de sintonia de uma determinada estação: nesse ponto, a deflexão do ponteiro do medidor é máxima.

Em geral, para se estabelecer comparações exatas dos sinais recebidos, é necessário que o controle de ganho de RF do receptor esteja todo aberto (virado para a direita) quando este controle existir. Somente assim as indicações do medidor serão corretas.

2.6.11. O BFO

Um receptor comum de AM não é capaz de reproduzir os sinais telegráficos do tipo A1 (onda portadora interrompida), uma vez que esses sinais não possuem nenhuma modulação.

Para que seja possível a recepção de sinais em código morse, do tipo A1, ao receptor de AM deve ser incorporado um oscilador de frequência de batimento (ou BFO). Trata-se de um simples circuito oscilador que gera um sinal de frequência próxima à frequência do sinal da 2.ª FI do receptor. Da mistura desses dois sinais, no detector, resulta um sinal de áudio que é reproduzido no alto-falante. A frequência de tal oscilador pode ser variada dentro de certos limites, até que se obtenha um tom agradável (por volta de 1 kHz).

2.6.12. Fonte de Alimentação

Nos receptores de comunicação a fonte de alimentação normalmente possui um transformador de energia, o qual fornece os diversos valores de tensão e corrente adequados aos circuitos do aparelho.

A retificação da tensão CA da rede elétrica, em geral, é obtida do tipo de onda completa, onde são utilizados diodos retificadores ou pontes retificadoras de silício.

O sistema de filtragem de uso mais comum é o do tipo RC. O seu emprego é altamente vantajoso devido ao custo relativamente baixo e ao nível de ondulação (ripple), perfeitamente tolerável neste tipo de aparelho.

A maioria dos receptores para radioamadores possui uma chave comutadora de duas posições (transmissão/recepção) que funciona como stand-by. Quando ela está na posição transmissão, o receptor não funciona, pois a chave desliga a alimentação do +B do aparelho; nos receptores valvulados, os filamentos permanecem ligados. Quando na posição recepção, o receptor funciona normalmente, pois a chave liga o seu +B.

A utilização dessa chave comutadora é necessária para evitar que o receptor capte os sinais emitidos pelo transmissor da própria estação de radioamador.

2.6.13. Diagrama em Blocos de um Receptor de Comunicação

Em linhas gerais, o funcionamento do aparelho resume-se no seguinte: o sinal sintonizado sofre uma primeira conversão, de onde se obtém um sinal de FI de alto valor. Em seguida, ocorre uma segunda conversão, resultando um sinal de FI de baixo valor. Este sinal então é amplificado adequadamente, para logo após ser detectado. Na saída do detector teremos apenas o sinal de AF (correspondente à informação transmitida). Depois de passar pelo limitador de ruído, quando necessário, o sinal de AF também é simplificado para finalmente ser reproduzido pelo alto-falante do aparelho.

O circuito CAG fornece a tensão CC necessária para comandar o ganho do amplificador de FI e do segundo misturador. Além disso, a tensão do CAG também é utilizado no funcionamento do essímetro, uma vez que ela é diretamente proporcional à intensidade do sinal captado pelo receptor.

Na recepção de sinais telegráficos (A1), o BFO gera um sinal de RF com valor próximo ao da segunda FI, com o que é possível demodular aqueles sinais.

Por fim, temos a fonte de alimentação, que fornece as tensões necessárias ao funcionamento dos diversos circuitos do receptor.

2.7. Antenas para Aplicações Wireless 2,4 GHz

Fundamentalmente, existem dois tipos de antenas para aplicações wireless: Omnidirecional e direcional. As antenas omnidirecionais cobrem 360° no plano horizontal. Elas trabalham excepcionalmente bem em áreas amplas ou em aplicações multiponto. Usualmente, este tipo de antena é utilizado em estações base, com estações remotas colocadas ao seu redor.

As antenas direcionais concentram o sinal em uma única direção. Seus sinais podem ter alcance curto e amplo, ou longo e estreito. Via de regra, quanto mais estreito o sinal, maiores distâncias ele alcançará. Normalmente, este tipo de antena é utilizado em estações remotas para fazer a comunicação entre estas estações com uma ou mais estações base.

A seguir mostramos os tipos mais comuns de antenas direcionais e as aplicações em que melhor se ajustam:

	<p>Omnidirecional: Como já vimos, é uma antena que irradia em todas as direções, por isso sua forma é uma haste somente. Vamos nos lembrar que a sua irradiação tenta se aproximar da irradiação omnidirecional teórica, porém (todas as direções em igual potência) não atinge em este estado em sua plenitude.</p>
	<p>Parabólica: As antenas parabólicas canalizam o sinal em forma de cone, sendo indicadas para aplicações de longa distância. A antena semi parabólica, uma variação da parabólica, emite o sinal de forma elíptica. Os modelos Grid (grelha) são menos susceptíveis a ação dos ventos em razão dos mesmos passarem através de estrutura em forma de gaiola, seu sinal pode chegar de 40 a 50 Km em condições eletricamente visuais.</p>
	<p>Antena Setorial: As antenas setoriais tem formato amplo e plano, e são, normalmente montadas em paredes podendo ser interna ou externa. São mais recomendadas para links entre prédios com distâncias de até 8 km. algumas podem operar até 3 Km. dependendo do ganho específico no projeto.</p>
	<p>Yagi: São antenas rígidas usadas externamente em ambientes de condições hostis, foram projetadas para resistir a formação de gelo, chuva pesada, neve e ventos fortes. Os sinais podem chegar a 30 Km, quando em condições eletricamente visual.</p>

2.7.1. Considerações

Na escolha do modelo de antena mais adequado para a sua aplicação wireless, alguns cuidados devem ser considerados fortemente, pois o sucesso do projeto depende fundamentalmente do sistema irradiante.

Distância: A antena a ser escolhida deve cobrir uma distância maior que a aplicação necessária. Caso seja utilizada uma antena operando em sua capacidade máxima,

provavelmente os sinais chegarão mais fracos que o exigido pela aplicação.

Largura da onda: Expressa em graus, a largura de onda denota o alcance de um sinal. Geralmente, quanto mais larga for a onda, mais curta será a área de cobertura. Por outro lado, as ondas mais largas compensam os fatores ambientais, como o vento, que afetam adversamente a performance da antena.

Ganho: Expresso em dB, é o aumento da potência do sinal após processado por um dispositivo eletrônico. Usualmente, ganhos maiores revertem em distâncias maiores, contudo maiores distâncias exigem largura de onda menor e margem de erro muito maior. Para evitar esses problemas alguns fatores, como: vento e prédios existentes no trajeto do sinal devem ser considerados no projeto da rede wireless.

3. PROPAGAÇÃO DAS ONDAS

3.1. Propagação no Espaço Livre de Ondas Diretas

Supondo que um transmissor irradia uma potência P_t através de uma antena isotrópica (a qual irradia igualmente em todas as direções). Supondo também que um receptor está situado em uma distância r metros do transmissor. Como o transmissor irradia igualmente através da esfera em volta da antena, a densidade do fluxo de potência ou vetor de Poynting à uma distância r é dada por:

$$S = \frac{P_t}{4\pi r^2} \text{ (W/m}^2\text{)} - \text{vetor de Poynting 1}$$

O vetor de Poynting também poderá ser dado pela equação:

$$S = E_{\text{rms}} \cdot H_{\text{rms}} \text{ (W/m}^2\text{)} - \text{vetor de Poynting 2}$$

A relação entre campo elétrico e magnético é dada por:

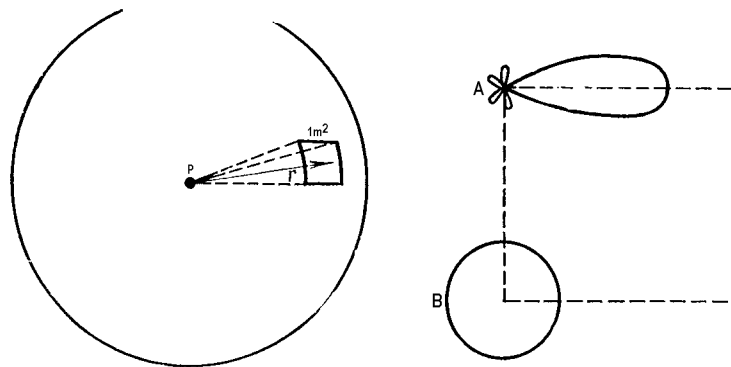
$$H_{\text{rms}} = \frac{E_{\text{rms}}}{120\pi} \text{ (A/m)}$$

Substituindo a equação anterior na expressão do vetor de Poynting:

$$S = \frac{E_{\text{rms}}^2}{120\pi} - \text{vetor de Poynting 3}$$

Substituindo voltando na primeira expressão, podemos calcular o campo elétrico:

$$E_{\text{rms}} = \frac{\sqrt{30 P_t}}{r} \text{ (V/m)}$$



(a) Campo devido ao radiador isotrópico, (b) campo devido ao radiador isotrópico.

Se for usado uma antena com ganho G_t na última equação será:

$$E_{\text{rms}} = \frac{\sqrt{30 P_t G_t}}{r} \text{ (V/m)}$$

O valor de pico do campo é dado por:

$$E_{\text{pico}} = \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{r} \text{ (V/m)}$$

e o valor instantâneo é dado por:

$$E = \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{r} \cos(\omega(t - r/c)) = \frac{\sqrt{60 P_t G_t}}{r} \cos(\omega t - k/c)$$

onde $k = \omega / c = 2\pi / \lambda$.

Uma fórmula mais conveniente para expressar a equação dos campos seriam:

$$E_{\text{rms}} = \frac{173 \sqrt{P_{\text{tkw}} G_t}}{r_{\text{km}}} \text{ (mV/m)}$$

$$E_{\text{pico}} = \frac{245 \sqrt{P_{\text{tkw}} G_t}}{r_{\text{km}}} \text{ (mV/m)}$$

As equações acima nos dão a intensidade do campo elétrico a uma distância r do transmissor.

Em um enlace de rádio é conveniente calcular a potência recebida. Os dados do problema são normalmente: frequência de transmissão f , distância do enlace r , o ganho da antena transmissora G_t , o ganho da antena receptora G_r e a potência de transmissão P_t .

Na teoria das antenas existe uma relação entre área efetiva da antena e ganho da mesma que é dado por:

$$A_{\text{eff}} = \frac{G \lambda^2}{4\pi} \text{ (m}^2\text{)} - \text{área efetiva da antena}$$

A área efetiva A_{eff} é aquela sob a qual a antena recebe a energia vindo da onda eletromagnética. Para o caso de antenas em abertura como é o caso da antena parabólica a área efetiva é aproximadamente igual a área física (A) da parábola, e depende da eficiência da antena, a área efetiva é dada por, $A_{\text{eff}} = \rho A$, onde ρ é a eficiência.

Considerando agora uma antena receptora localizada em um ponto qualquer, a densidade de potência neste ponto é dada por:

$$S_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \text{ (W/m}^2\text{)} - \text{densidade de potência}$$

A potência na recepção é dado por:

$$P_r = S_r A_{\text{effr}} - \text{potência na recepção}$$

sendo:

$$A_{\text{effr}} = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi}$$

é a área efetiva da antena receptora. Substituindo as duas últimas, em S_r :

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2} \text{ (W)} - \text{potência na recepção}$$

ou ainda

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi r)^2} \text{ (W)} - \text{relação de potência}$$

Podemos definir a perda de transmissão L_{fs} como:

$$L_{\text{fs}} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \frac{1}{G_t G_r} - \text{perda da transmissão}$$

e perda básica ou perda básica no espaço livre como:

$$L_{\text{b(fs)}} = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 - \text{perda no espaço livre}$$

A equação de relação de potência pode se ser expressa em decibels:

$$\frac{P_t}{P_r} \text{ (db)} = 10 \log G_t + 10 \log G_r + 20 \log \lambda - 20 \log r - 21.98$$

A equação acima é chamada de fórmula de Friis.

A perda básica ou perda no espaço livre em decibels pode ser dada também pela equação a seguir :

$$L_{b, \text{dB}} = 20 \log f_{\text{Mhz}} + 20 \log r_{\text{km}} + 32.44 \text{ (dB)}$$

onde f_{Mhz} é dado em megahertz e r_{km} é dado em Km.

A perda na transmissão é dada por,

$$L_{fs, \text{dB}} = 20 \log f_{\text{Mhz}} + 20 \log r_{\text{km}} + 32.44 - 10 \log G_t - 10 \log G_r$$

sendo f_{Mhz} é dado em megahertz e r_{km} é dado em Km

Exercício 1: Calcular a perda básica de transmissão de um sinal no espaço livre para os casos:

(a) $r = 10 \text{ Km}$, $\lambda = 20.000 \text{ m}$

(b) $r = 10^7$, $\lambda = 3 \text{ m}$.

Respostas:

$$L_{b, \text{dB}} = 15.9 \text{ dB}$$

$$L_{b, \text{dB}} = 252 \text{ dB}$$

Exercício 2: Para as antenas parabólicas dadas calcular o ganho.

Dados:

(a) $f = 6 \text{ GHz}$; $D = \text{diâmetro} = 4 \text{ m}$; e $\rho = \text{eficiência} = 0,70$

(b) $f = 3 \text{ GHz}$; $D = 2 \text{ m}$; e $\rho = 0,70$

Exercício 3: Para um enlace de microondas calcular a potência recebida dados:

Dados:

$$G_t = 40 \text{ dB}; r = 50 \text{ Km}; G_r = 50 \text{ dB}; f = 3 \text{ GHz}; P_t = 2 \text{ W}$$

Exercício 4: Para um enlace em comunicações via satélite, calcular a potência recebida.

Dados:

$$G_t = 40 \text{ dB}; r = 40.000 \text{ Km}; G_r = 50 \text{ dB}; f = 6 \text{ GHz}; P_t = 10 \text{ W}$$

3.2. Exercícios Propostos

- 1) À 20 Km no espaço livre de uma fonte, a densidade espectral de potência é $200 \mu \text{ W/m}^2$. Qual é a densidade de potência à 25 Km da fonte? (resposta $128 \mu \text{ W/m}^2$).
- 2) Calcule a densidade de potência (a) 500 m de uma fonte de 500 W, e (b) a 36000 Km de uma fonte de 3 kW.
- 3) Uma antena de pesquisa espacial de alto ganho e um sistema receptor tem uma figura de ruído tal que a potência do sinal recebido mínima precisa ser de $3,7 \cdot 10^{-18}$ para que as comunicações sejam feitas. Qual precisa ser a potência de transmissão de um transmissor em Júpiter situado a 800 milhões de km da terra? Assumir a antena de transmissão isotrópica enquanto a área da antena receptora é de 8400 m^2 (resposta 3,54 kW).

3.3. Cálculo Prático da Antena Dipolo

Este é o tipo mais comum dentre as várias categorias de antenas. Seu ganho sobre o isotrópico é de aproximadamente 1,6 dB. Geralmente ela sozinha não constitui o próprio sistema de irradiação, é uma parte básica dele, como é o caso das antenas direcionais. Existem dipolos de vários tamanhos: o de meia onda, e o mais comum, o de uma onda e meia (1,5 L).



Se tivermos um dipolo de $1/2$ que esteja funcionando numa dada frequência, ao dobrarmos a frequência esse mesmo dipolo será ressonante nesta nova frequência, só que desta vez em onda completa. No entanto, a impedância no ponto de alimentação não é muito adequada, e seria recomendável alimentá-lo fora de centro em um ponto que apresente melhor casamento.

Vejam agora como podemos dimensionar um dipolo de $1/2$ para uma frequência qualquer desejada. Como visto em COMPRIMENTO DE ONDA temos: o comprimento de onda em uma determinada frequência é igual à velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo (300.000.000 m/s) dividido pela frequência (em Hertz) em questão ou então:

$$L = 300 / f \text{ (MHz)}$$

Na situação acima, f é dado em MHz e L , em metros. Como a velocidade de propagação da onda eletromagnética no vácuo é máxima e que em outros meios ela é menor, o fio condutor da antena terá o comprimento de onda 5% menor. Dessa forma, L será:

$$L = 0,95 \times 300 / f \text{ (MHz)} = 285 / f \text{ (MHz)}$$

Como um dipolo meia onda é $1/2$, resulta:

$$L/2 = (1/2) \times (285/f) = 142,5 / f \text{ (MHz)} = \text{comprimento total (extremo a extremo)}$$

Com esta equação temos um meio de calcular o tamanho para a antena desejada. Vejam um exemplo:

Exemplo: Qual deve ser o comprimento de uma antena de meia onda para um transmissor que trabalha em 7050 MHz?

$$\text{Comprimento da antena} = 142,5 / 7,050 = 20,21 \text{ metros}$$

O comprimento de 20,21 metros é de extremo a extremo, portanto teremos dois pedaços de fio de 10,10 metros. Veremos como efetuar a instalação de uma antena dipolo clássica a seguir.

3.4. Antenas em FM - Considerações

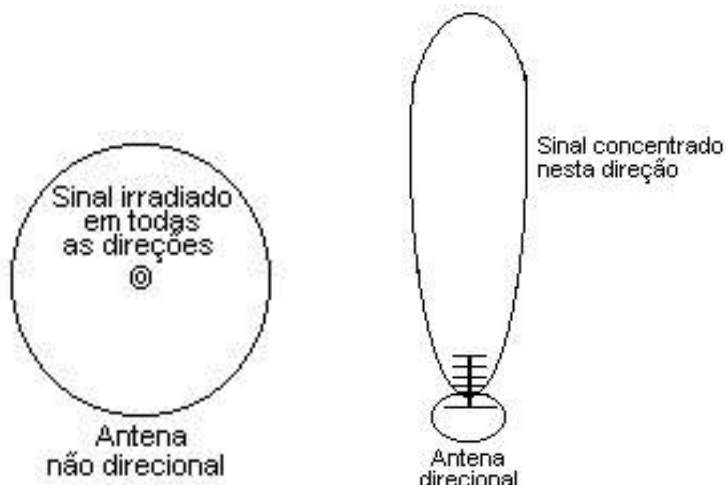
Existem inúmeros modelos de antenas com suas características peculiares e que devem ser levadas em conta quando se pretende montar um sistema irradiante. A polarização é uma delas. Os sinais de rádio podem ser polarizados verticalmente ou horizontalmente. Grande parte dos serviços de comunicação usam a polarização vertical. A polarização horizontal é usada em alguns serviços de comunicação e também pelas emissoras de televisão. Existe ainda a polarização circular que é adotada pelas emissoras de rádio FM. A vantagem deste tipo de polarização é que a antena do rádio pode estar tanto na vertical quanto na horizontal que não ocorrerão perdas na recepção. Se uma estação transmite um sinal polarizado verticalmente, a antena receptora também deve estar posicionada desta forma, caso contrário haverá uma perda em torno de 20dB.

Outra característica das antenas que contribui para o bom alcance da portadora gerada por um transmissor é o seu ganho. Obviamente, quanto maior o ganho, maior o alcance. As conhecidas antenas plano-terra de $1/4$ de onda ou pé-de-galinha, como muitos a chamam, tem um ganho típico de 0dB. Já as de $5/8$ de onda tem um rendimento bem maior, seu ganho gira em torno de 3dB, sendo portanto, mais indicadas para uma maior cobertura. Muitos rádio amadores utilizam esse tipo de antena em suas estações, o que proporciona uma grande melhoria nas comunicações, contudo, essas antenas são bem mais caras que as de $1/4$ de onda. Via de regra, quanto maior o ganho, mais cara a antena.

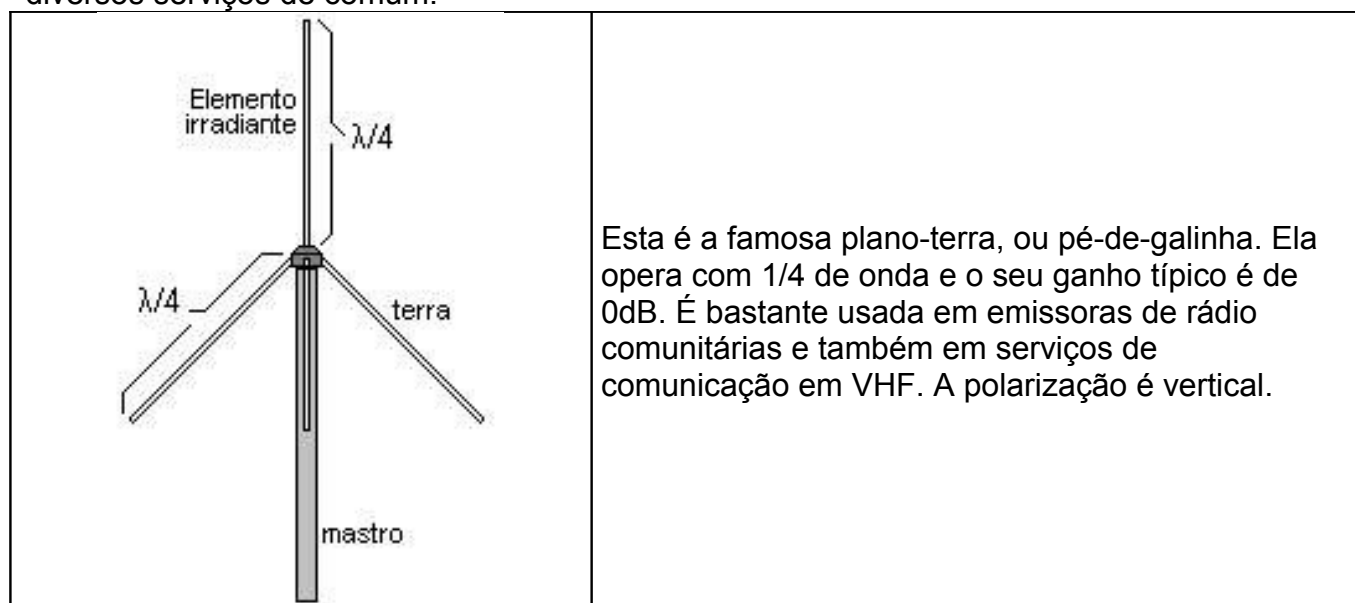
Por fim uma outra característica das antenas de fundamental importância na área de cobertura proporcionada por um sistema irradiante é o tipo de irradiação. Existem dois tipos: omnidirecional (não direcional) que irradia o sinal em todas as direções e unidirecional. Esta última concentra o sinal em uma única direção e é altamente indicada para sistemas de

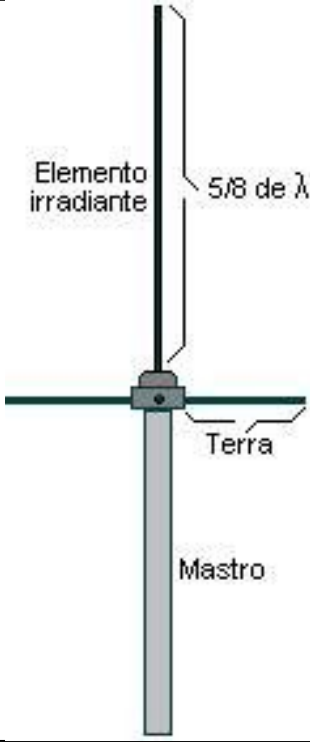
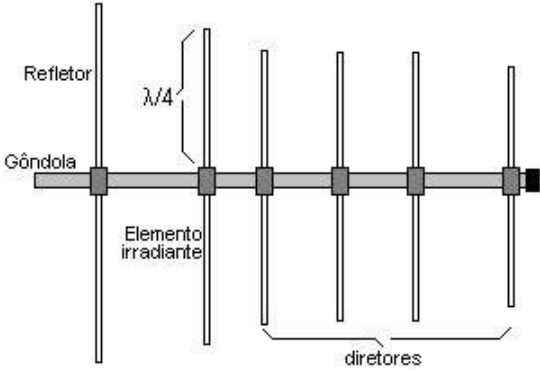
comunicação a longa distância. Para se ter uma idéia, vamos supor que um transmissor esteja conectado a uma antena omnidirecional e irradie seu sinal em um raio de 1 km, este mesmo transmissor, com uma antena direcional, irradiará o sinal a uma distância de mais de 50 km, dependendo das características da antena, porém em uma única direção. Imagine a lâmpada de uma lanterna que concentra o seu foco de luz em um único ponto, a luminosidade será bem mais forte nessa direção, do que a luminosidade proporcionada pela mesma lâmpada fora da lanterna uma vez que ela emite a luz em todas as direções.

Observe nas figuras abaixo os padrões de irradiação de uma antena omnidirecional e outra unidirecional.



Nas próximas figuras são mostrados alguns dos modelos de antenas mais usados nos diversos serviços de comum.



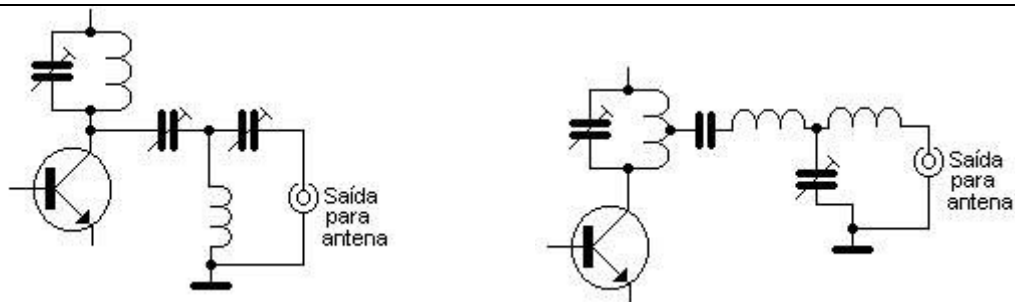
 <p>Elemento irradiante</p> <p>$5/8 \text{ de } \lambda$</p> <p>Terra</p> <p>Mastro</p>	<p>Esta ilustração representa uma antena de 5/8 de onda. Ela é superior à plano terra, pois o seu ganho típico é de 3 dB, portanto, a cobertura é maior. Como o próprio nome já diz, ela é dimensionada para trabalhar com 5/8 de onda da frequência a ser transmitida. Este tipo de antena é bastante usado nos mais diversos serviços de comunicação em VHF. Sua polarização também é vertical.</p>
 <p>Refletor</p> <p>$\lambda/4$</p> <p>Gôndola</p> <p>Elemento irradiante</p> <p>diretores</p>	<p>Nesta representação pode-se observar um exemplo de antena direcional do tipo Yagi com 6 elementos cujo ganho é da ordem de 7dB (existem antenas com mais de 15 elementos onde o ganho pode superar os 16dB). Não confundir com antena de TV. Esta é a antena mais indicada para quem pretende chegar mais longe, contudo o sinal não é irradiado em todas as direções, como nos exemplos anteriores. A escolha desta antena pode representar a grande diferença na qualidade de recepção em locais onde a maioria dos receptores se concentram em uma determinada área. Ela pode ser polarizada tanto na vertical quanto na horizontal.</p>

3.4.1. Acoplamento de Antenas

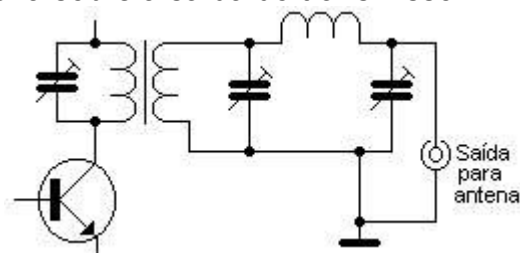
Para que um transmissor transfira todo o seu sinal para uma antena o acoplamento deve ser o melhor possível e não apenas ligando-se diretamente a antena ao coletor do transistor de saída como aparece em muitos esquemas. O principal fator que se deve levar em conta é a impedância. Para transmissores de FM a impedância padrão é de 50 ohms. Existem no mercado alguns tipos de cabos coaxiais e antenas especialmente projetados para este fim. Desta forma fica muito mais fácil a calibração de um sistema transmissor.

Algumas técnicas são usadas para realizar o acoplamento entre o transmissor e o cabo. Os principais componentes encontrados nestes circuitos são capacitores, trimmers e bobinas que, além de acoplarem uma etapa à outra funcionam também como filtros reduzindo bastante a irradiação de harmônicas e espúrios responsáveis por interferências em outros aparelhos.

Nas figuras abaixo pode-se observar alguns exemplos comuns de circuitos que são usados para o acoplamento entre o transmissor e o cabo/antena.



A melhor forma de acoplamento é mostrada na figura seguinte. Nela uma bobina secundária é enrolada juntamente com a bobina tanque e o sinal enviado a um filtro pi (π). Este sistema representa uma grande vantagem, pois como o sinal é extraído da bobina secundária e esta não tem ligação direta com o circuito de saída do transmissor, não há transferência direta via coletor, portanto a impedância característica do circuito de saída não influi sobre as etapas seguintes. Outra vantagem é que há uma grande redução na interferência do cabo e da antena sobre a saída do transmissor.

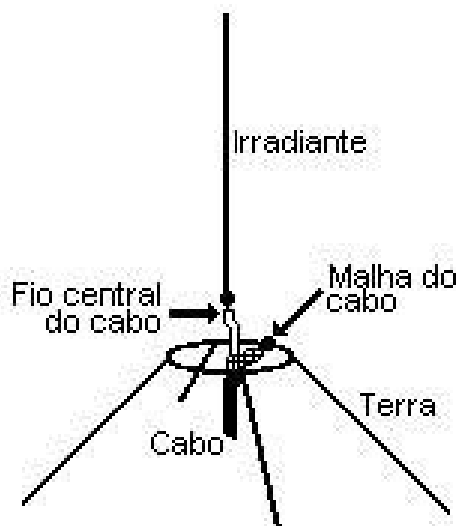


3.5. Projetos Práticos

A seguir encontram-se dois projetos de antenas, uma omnidirecional e outra direcional para serem usadas em transmissores de FM.

3.5.1. Projeto: Antena Plano-Terra

O primeiro projeto apresentado é o de uma antena plano-terra omnidirecional. O ganho é de 0dB e ela poderá melhorar o alcance de seu transmissor caso você use uma antena interna. Ela opera com 1/4 de onda e não apresenta grandes dificuldades na montagem e no ajuste. A potência máxima recomendada é de 150 W. O esquema elétrico desta antena é mostrado a seguir.

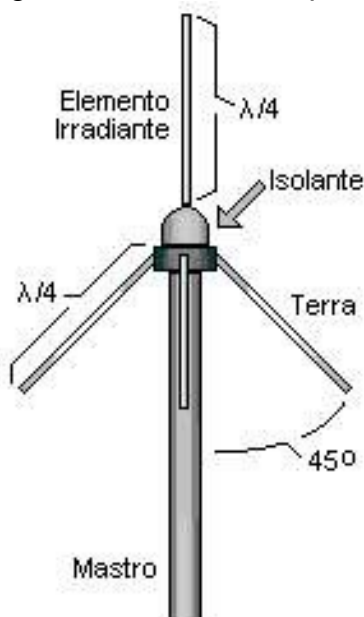


O elemento irradiante é ligado ao fio central do cabo enquanto os quatro elementos que formam o terra são ligados à malha do cabo.

A fórmula para se calcular o tamanho dos elementos é bastante simples: $C = 75 / F_o$. Onde C é o comprimento dos elementos, 75 é o fator constante para divisão e F_o a

frequência de operação em Mega-Hertz. O resultado é dado em metros.

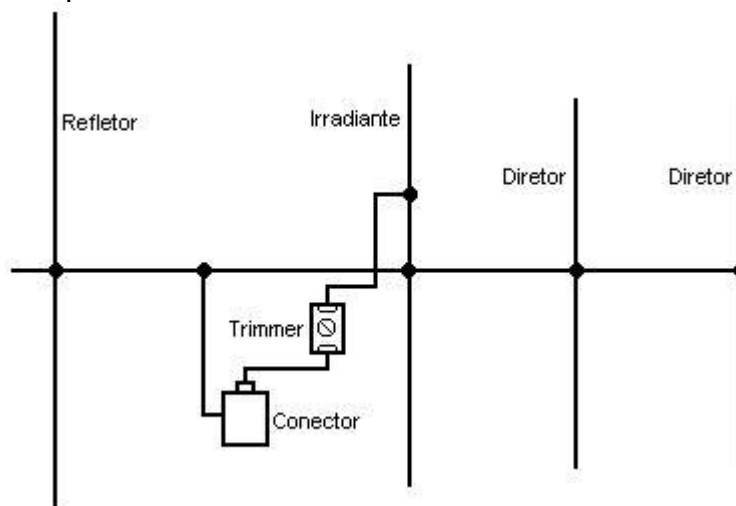
Para exemplificar vamos supor que você tem um transmissor que opere na frequência de 105,1 MHz. Aplicando a fórmula : $C = 75 / 105,1$, portanto, $C = 0,713606$. Arredondando, $C = 0,71$ m ou 71 cm. A próxima figura ilustra um exemplo da antena montada.



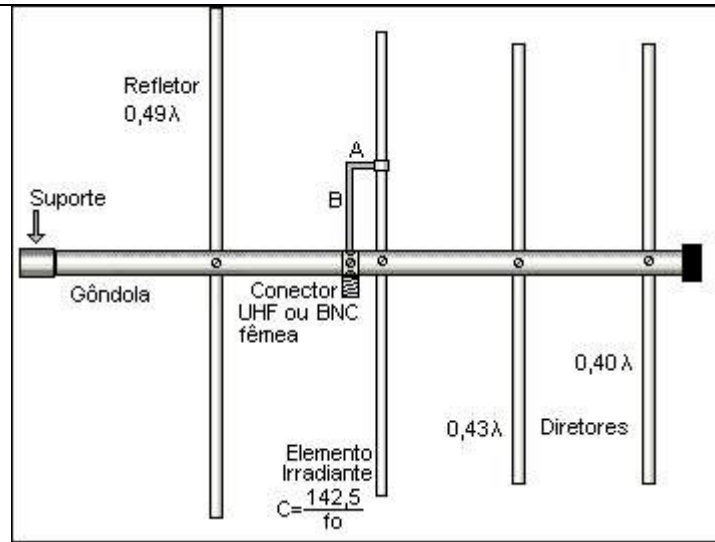
Aqui nota-se a posição dos quatro elementos que formam o terra em um ângulo de 45 graus em relação ao mastro. Desta forma, a impedância é de 50 ohms.

3.5.2. Projeto: Antena Direcional de 4 Elementos

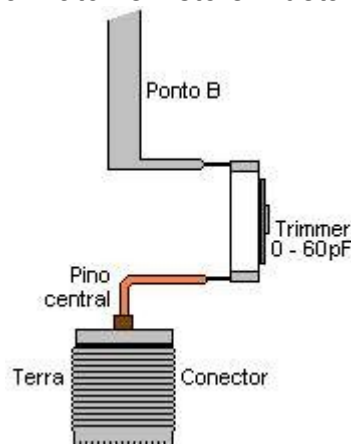
Este projeto é mais indicado para aqueles que já detêm uma certa experiência em RF, visto que o bom desempenho vai depender fundamentalmente dos ajustes. Trata-se de uma antena direcional formada por quatro elementos cujo ganho é de 5 dB. O acoplador é do tipo Gama Match o que garante uma ótima transferência de sinal e o correto ajuste da impedância que deve ser de 50 ohms. A potência máxima para esta antena é de 100 W. A seguir encontra-se o esquema elétrico.



Como você pode observar, existe um conector que recebe o sinal do cabo e o aplica à antena. O pino central é ligado a um trimmer de 0 - 60 pF que por sua vez é ligado ao elemento irradiante através de um tubo de menores proporções. Este conjunto forma o Gama Match. Note que os elementos são aterrados, inclusive o irradiante. Todos são ligados à gôndola metálica que é ligada ao terra do conector. Na próxima figura é possível ver como fica a antena montada.



Observe as conexões dos elementos e do Gama Match. Os elementos são fixados por meio de parafusos. Abaixo o Gama Match é visto em detalhes.



Agora vamos às fórmulas para se calcular o tamanho e o espaçamento entre os elementos:

Comprimento do elemento irradiante:	$C = \frac{142,5}{f_0}$	C é o comprimento, 142,5 o fator constante e f_0 a frequência de operação.
Refletor:	0,49L	L é comprimento de onda, ou seja, $L = 300 / f_0$
1º Diretor (a partir do irradiante):	0,43L	
2º Diretor:	0,40L	

Espaçamento entre os elementos

Refletor / irradiante:	0,25L
Irradiante / 1º diretor:	0,15L
Irradiante / 2º diretor:	0,15L

Gama Match

Ponto A:	0,01L
Ponto B	0,06L
Irradiante / 2º diretor:	0,15L

Apesar das fórmulas fornecerem uma indicação precisa dos tamanhos e espaçamentos entre os elementos de uma antena há sempre a diferença entre a teoria e a prática e, em se

tratando de RF, essa diferença é bastante presente. A recomendação é que antes de montar definitivamente a antena os elementos e o Gama Match sejam dotados de algum mecanismo que permita a variação tanto do tamanho como dos espaçamentos entre si.

O auxílio de um medidor de intensidade de campo e de um medidor de ROE são indispensáveis para o melhor ajuste neste tipo de antena, principalmente quando o transmissor tiver uma potência razoável.

Para aqueles que não se sentiram animados a montar esta antena, existe no mercado uma antena direcional para FM que também poderá ser usada, contudo, sua impedância é de 75 ohms, logo o cabo também deverá ser de 75 ohms (cabo coaxial para TV), assim como a saída do transmissor.

Com estas informações aqueles que estudam o assunto terão uma ferramenta a mais no desenvolvimento de seus projetos.

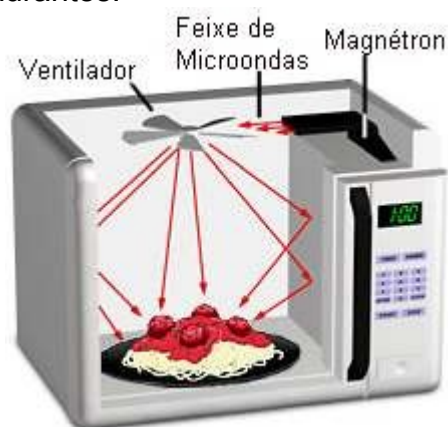
Se você gostou e quer ir mais a fundo nos estudos, existe um bom livro, em inglês, chamado Antenna's Hand Book, ele traz uma série de informações e fórmulas para quem pretende construir antenas. É um tanto quanto técnico e também é difícil de se encontrar, mas é uma ferramenta bastante útil. Uma outra dica são os sites sobre antenas. No Brasil existem páginas de rádio amadores que trazem muitas informações.

4. APLICAÇÕES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

4.1. Forno de Microondas

Microondas são ondas eletromagnéticas com comprimento de onda entre 1 e 300mm. No interior do forno de microondas uma onda eletromagnética com frequência de 2450 MHz é gerada por um magnétron e irradiada por uma antena metálica (ventilador) para o interior do compartimento onde estão os alimentos. Mediante o processo de ressonância, essa onda é absorvida pelas partículas de água existentes nos alimentos a serem aquecidos. A energia absorvida aumenta a vibração das partículas, produzindo o aquecimento dos alimentos.

O primeiro forno de microondas foi patenteado em 1953, mas os modelos iniciais não eram muito práticos para o uso doméstico. Os fornos de microondas menores e mais eficientes foram desenvolvidos nos anos 70 e a partir daí ganharam grande popularidade tanto nos lares como nos restaurantes.

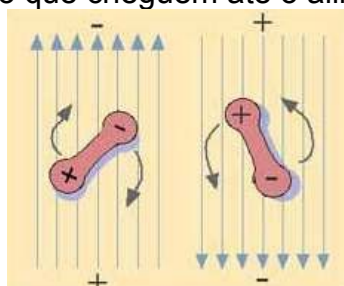


O forno de microondas não fornece calor, ele atua exclusivamente sobre as moléculas de água dos alimentos. Alimentos secos ou recipientes não são aquecidos pelo microondas, embora, com o tempo, o alimento aquecido possa aquecer o recipiente por condução.

As microondas têm alta capacidade de penetração na comida, o que possibilita o cozimento por dentro e não a partir da superfície, como ocorre nos fornos convencionais. Além disso, não fazem vibrar as moléculas de vidro ou plástico, que não se aquecem no interior do forno.

Como as moléculas de água dos alimentos têm uma carga elétrica diferente em seus pólos, giram com a polaridade variável (direção) do campo elétrico. A fricção entre as moléculas giratórias produz calor e assim cozinha os alimentos.

Os recipientes metálicos não podem ser usados num forno de microondas porque o metal refletirá as ondas, impedindo que cheguem até o alimento.



É importante lembrar que o nosso organismo tem alta porcentagem de água e pode ser seriamente prejudicado pelas radiações dos fornos de microondas. No entanto esses aparelhos são blindados, isto é, as radiações, produzidas internamente, não atravessam suas paredes. É colocada uma grade de metal junto ao vidro da porta: os espaços entre as

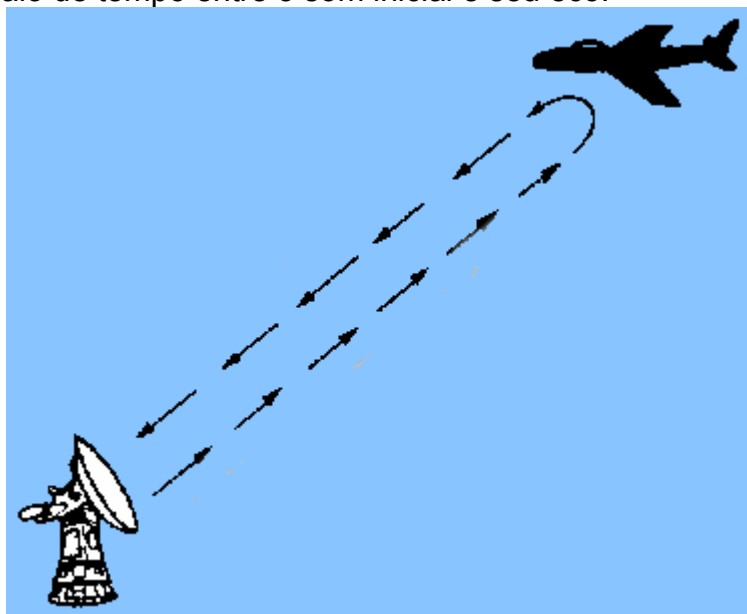
malhas dessa grade são menores que as microondas. Além disso, as portas possuem um mecanismo de segurança que impede a sua abertura durante o funcionamento.

Como essas ondas eletromagnéticas (microondas) se propagam na atmosfera de forma praticamente retilínea, elas são amplamente utilizadas nas telecomunicações, como na transmissão de sinais de televisão via satélite ou na troca de mensagens telefônicas de uma cidade para a outra.

4.2. Radar

Muito tempo antes da invenção do radar já se conhecia o princípio da reflexão de ondas de rádio, que teve grande importância nos primeiros estudos das camadas ionizadas da atmosfera superior. Foi na década de 30 que o radar começou a ser usado para descobrir e localizar objetos longínquos pela reflexão de ondas de rádio, principalmente por necessidades militares. Para preparação de defesa, era necessário ter conhecimento dos ataques aéreos muito tempo antes de os aviões serem vistos ou ouvidos.

O princípio da reflexão aproveitado pelo radar é basicamente muito simples. Pode-se, por exemplo, fazer uma comparação com o fenômeno da reflexão acústica: as ondas sonoras refletidas por um edifício, montanha ou qualquer outro obstáculo, são recebidas pelo observador após um pequeno intervalo de tempo. Se a velocidade com que as ondas sonoras se deslocam é conhecida, pode-se determinar a distância da superfície refletora medindo-se o intervalo de tempo entre o som inicial e seu eco.



O radar usa exatamente o mesmo princípio, substituindo-se as ondas sonoras por ondas de rádio, que se deslocam muito mais rapidamente (cerca de 300 000 km/s) e são capazes de cobrir distâncias muito maiores. Medindo-se o intervalo de tempo entre o sinal emitido e seu retorno, e observando-se a direção da chegada ao ponto de emissão, pode-se obter a posição correta do objeto refletor distante.

Um transmissor de rádio, ligado a uma antena direcional (que concentra sua radiação num feixe dirigido em um sentido único), emite uma corrente de ondas de rádio em pulsos curtos e espaçados. Cada sinal tem normalmente uns poucos milionésimos de segundo de duração. O intervalo entre um sinal e outro é substancialmente mais longo que o tempo gasto para atingir o obstáculo e chegar de volta ao ponto de emissão. Assim, um novo sinal só é emitido depois que o primeiro foi refletido e recebido de volta.

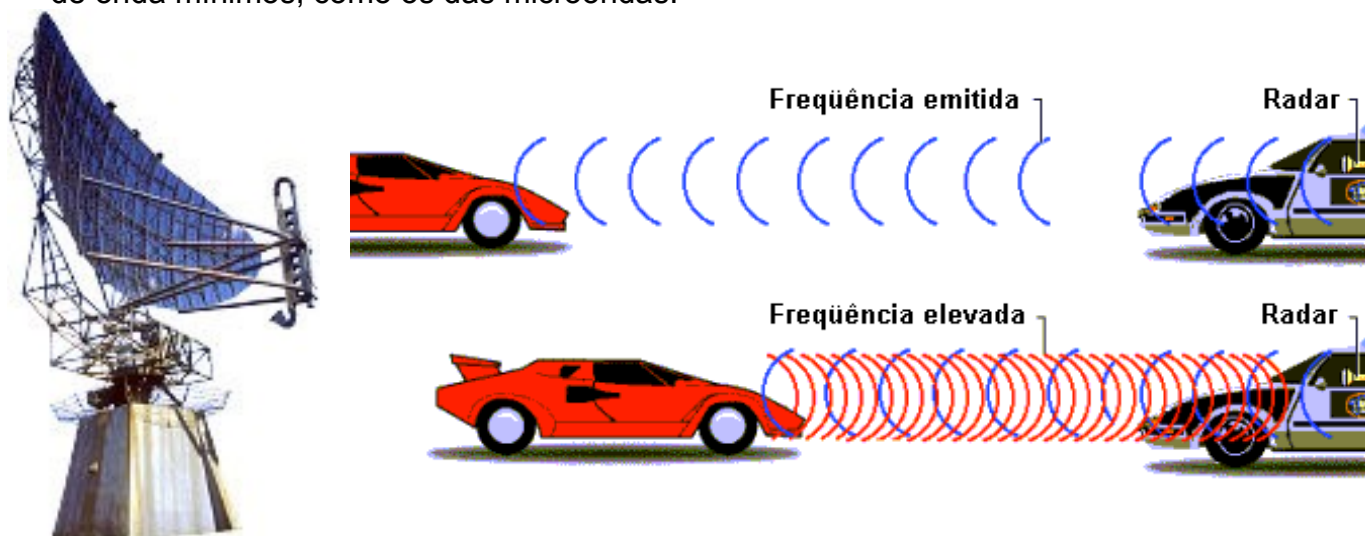
Qualquer objeto colocado no trajeto do feixe transmitido reflete uma parte do sinal que o atinge, que é captado por um rádio-receptor localizado perto do transmissor. Ocorre, então, no receptor, uma corrente de pulsos refletidos ligeiramente retardados em relação ao

feixe de pulsos transmitidos. Tal deslocamento de tempo é um curto intervalo correspondente ao tempo que qualquer sinal leva para se deslocar do transmissor até o obstáculo e voltar, e corresponde também à medida da distância a que o obstáculo está localizado. Se as antenas de transmissão e recepção são apontadas para o mesmo rumo, somente os alvos que se encontram nessa direção refletem os sinais, obtendo-se, assim, o sentido de sua localização.

Na verdade, as operações de transmissão e recepção são efetuadas com uma única antena. O receptor é momentaneamente paralisado durante o breve período da transmissão de um pulso, mas reativado a tempo de receber qualquer sinal refletido.

A antena é normalmente girada horizontalmente, em uma velocidade uniforme, varrendo o espaço. Em alguns sistemas mais avançados a informação referente à elevação é obtida varrendo-se rapidamente para cima e para baixo, ao mesmo tempo que se efetua outra varredura, circular, em velocidade muito menor.

O radar com base em terra não possui limitação de tamanho, podendo seu equipamento ser tão grande quanto necessário. Os aparelhos destinados a aviões, por exemplo, têm seu tamanho limitado. Além disso, os feixes detectores devem sempre ser altamente definidos, de modo que o eco não seja recebido de focos terrestres ou marítimos que ocorrem na mesma direção. A limitação no volume exige que se utilizem comprimentos de onda mínimos, como os das microondas.



O som ouvido por um observador tem sua frequência aumentada ou reduzida conforme a aproximação ou o afastamento da fonte que o produz. Este fenômeno, conhecido como efeito Doppler, também ocorre com ondas de rádio; a frequência de um sinal refletido estará acima ou abaixo da frequência do pulso emitido se o alvo estiver se aproximando ou se afastando.

O efeito Doppler pode ser aproveitado de várias maneiras no radar. Em um radar de busca, por exemplo, serve para cancelar a presença de alvos fixos, como casas, árvores ou colinas. Sendo captados somente os alvos de grande mobilidade. No trânsito serve para determinar a velocidade de um carro.

Atualmente os radares são usados no controle de tráfego aéreo, navegação, sistemas antifogísticos, detecção de intempéries e nas viaturas policiais.

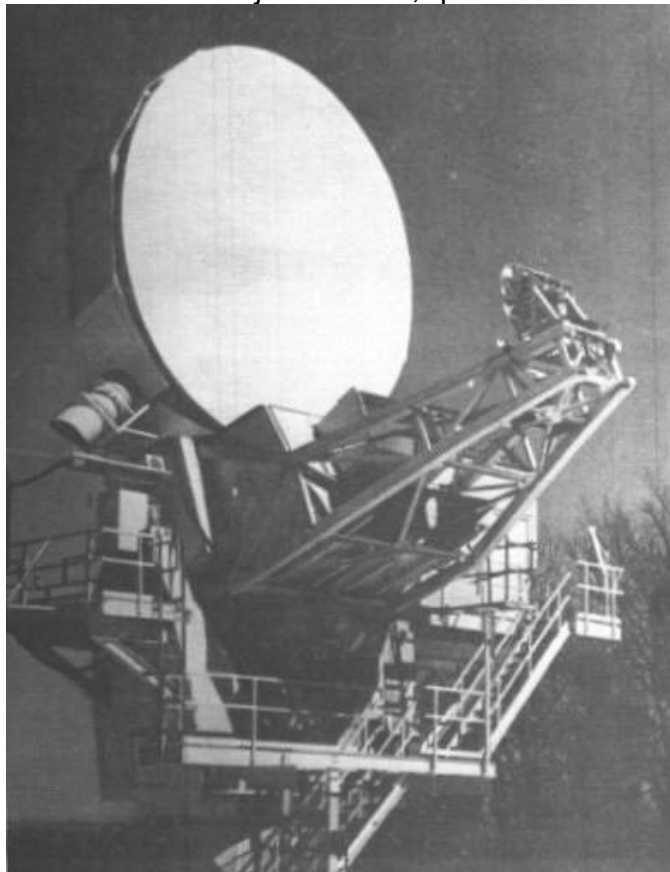
4.3. Radioastronomia

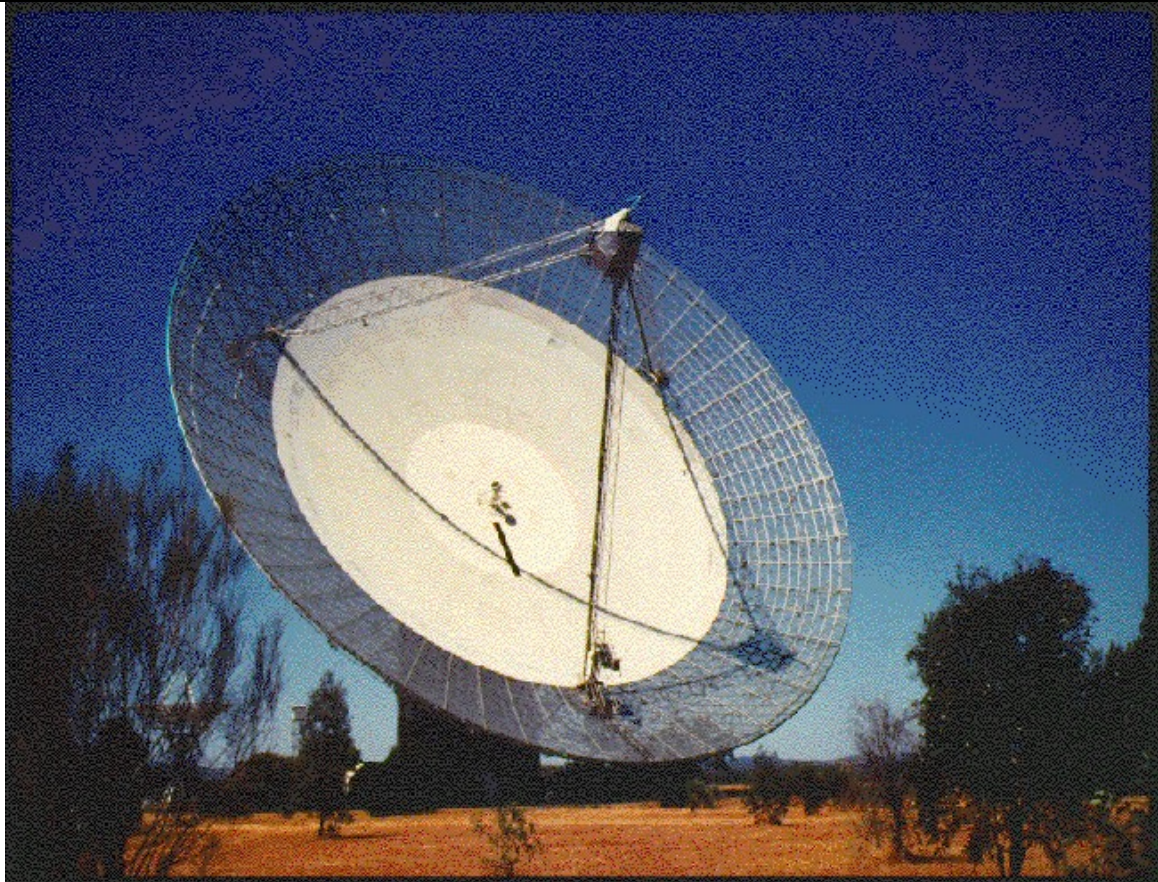
A radioastronomia se desenvolveu principalmente depois do avanço do sistema computacional ocorrido nas últimas décadas, possibilitando o armazenamento e manipulação de um grande número de dados colhidos pelos radiotelescópios terrestres e satélites lançados pelo homem.



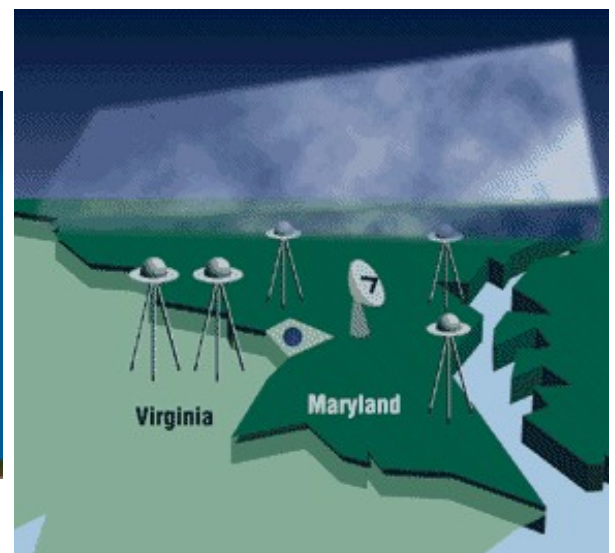
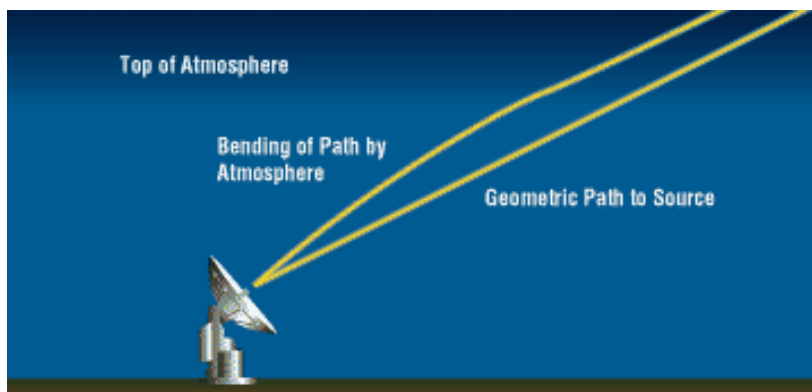
Através deste ramo da astronomia, o homem conseguiu ampliar consideravelmente sua visão do Universo, uma vez que passou a analisá-lo com uma faixa do espectro eletromagnético bastante larga, analisando emissão de radiação de corpos invisíveis a olho nu ou então que estão encobertos por nuvens de gases interestelares como as proto-estrelas, estrelas de neutrons, anãs brancas e buracos negros. Apesar dos conceitos de transmissão e processamento de informação ser complexo demais para ser tratado aqui, a captação das ondas de rádio se faz pelo princípio muito simples: O feixe de ondas de rádio incide numa superfície de grandes dimensões (isto porque o comprimento das ondas de rádio são muito maiores do que a da luz), que funciona como um espelho curvo, fazendo convergir as ondas o foco, onde está situado um detector.

Um dos projetos de pesquisa envolvendo os radiotelescópios é o estudo do clima e sinais geofísicos provenientes da próxima Terra. Um exemplo disto é a inclinação do feixe de ondas de rádio proveniente de um objeto estelar, quando entra na atmosfera da Terra.





Além disto, o ar faz diminuir a velocidade das ondas eletromagnéticas, retardando seu tempo de chegada. Este atraso e inclinação dependem de uma série de fatores, dentre eles destacam-se a pressão e umidade do ar e o ângulo de incidência do feixe de ondas, o qual sofre um desvio maior para ângulos pequenos. As variações atmosféricas podem ser mapeadas através do uso em conjunto de diversos radiotelescópios como o projeto atualmente desenvolvido em Maryland-Virginia no Goddard Geophysical and Astronomical Observatory.



Radiotelescópio Recebendo Sinais Mapeamento da Atmosfera

4.4. Radioamadorismo – Um Depoimento

4.4.1. O que é?

O Radioamadorismo é um passatempo científico, um meio de adquirir aptidão pessoal na fascinante arte da eletrônica e uma oportunidade de se comunicar com outros colegas amadores por meio de uma estação (transmissor/receptor) de rádio. O radioamadorismo utiliza as ondas de radiofrequência como meio de propagação de mensagens, tendo como principal objetivo a evolução técnica das comunicações, estudo da propagação da onda no espaço, estudos do espectro eletromagnético em geral, aspectos geográficos em radiocomunicação, antenas e tudo que se relaciona à RF (radiofrequência).

"DISTRIBUÍDOS PELO MUNDO AFORA, HÁ MAIS DE 500.000 RADIOAMADORES DESEMPENHANDO UM SERVIÇO QUE A LEGISLAÇÃO INTERNACIONAL DEFINE COMO SENDO DE AUTO-APRENDIZAGEM, INTERCOMUNICAÇÕES E PESQUISAS TÉCNICAS, REALIZADAS POR PESSOAS DEVIDAMENTE AUTORIZADAS, QUE SE INTERESSAM PELA RADIOTÉCNICA COM OBJETIVOS ESTRITAMENTE PESSOAIS E SEM INTERESSE A LUCROS MONETÁRIOS"

Radioamador é a pessoa devidamente habilitada pelos órgãos competentes a operar uma estação de radioamador, nas frequências organizadas mundialmente pela UIT (União Internacional de Telecomunicações, ou ITU como é conhecida internacionalmente). Em tais frequências não é permitida a operação para fins comerciais ou desviada para qualquer outra finalidade.

O radioamadorismo em todo mundo é responsável pela propulsão de várias tecnologias e serviços que são muito comuns a todos nós, como por exemplo os sistemas de radiocomunicação empresarial, a telefonia celular e até mesmo o sistema de fornos de microondas.

Os sistemas de telefonia celular partem do mesmo princípio das estações repetidoras que são utilizadas pelos radioamadores, este sistema trabalha em duas frequências diferentes (600 kHz para a faixa de 2 metros), uma para recepção e outra para a transmissão, só que as estações que fazem esta função na faixa de radioamador utilizam uma frequência por vez (sistema simplex) e as para telefonia celular utilizam duas ao mesmo tempo (sistema duplex ou full-duplex), uma para quem fala e outra para quem escuta. Obviamente que hoje as famosas ERBs (Estação Rádio Base) de telefonia celular utilizam um sistema muito mais aprimorado que o descrito, mas a essência do funcionamento é o mesmo.

Os radioamadores no Brasil são licenciados pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) que é o órgão responsável ligado diretamente ao Ministério das Comunicações.

Para ser habilitado é necessário que o interessado faça exames específicos para a classe a qual se habilita. Os exames tem diferente composição para cada classe. Por exemplo, nos exames para a classes A: radio eletricidade (70%), ética e técnica operacional (80%), legislação (80%) e telegrafia (125 caracteres de 250). Para a classe B: radioeletricidade (50%), ética e técnica operacional (70%), legislação (70%) e telegrafia (87 caracteres de 125). Para a classe C: ética e técnica operacional (50%) e legislação (50%). Finalmente para a Classe D: técnica e ética operacional (50%) e legislação (50%). A legislação exigida nos exames são as normas vigentes que regem o serviço de radioamadorismo.

O radioamador pode adquirir seu equipamento no comércio ou então, o que é muito mais prazeroso e o objetivo de divulgação desta homepage, construir em casa sua estação de rádio, seja somente para recepção, transmissão ou ambos. Essa é a melhor parte do radioamadorismo, a descoberta, o espírito científico. Imagine como seria bom realizar um contato com outro radioamador com um equipamento que você mesmo construiu! Bem, não importa se o contato foi feito com seu vizinho ou com uma pessoa distante milhares de quilômetros, claro que quanto mais distante mais prazeroso será. Você encontra aqui alguns projetos de fácil construção, mãos à obra, pegue seu ferro de soldar, separe as peças da

sucata e queime os dedos, não importa se você não tem conhecimentos de rádio, ninguém nasce com experiência, o importante é nunca desistir.

4.4.2. A Telegrafia

Os radioamadores normalmente utilizam em suas transmissões dois sistemas de radiocomunicação. Um deles é a *radiotelefonia*, ou simplesmente, *fonía* (AM ou SSB), onde a informação (ou mensagem) transmitida por meio das ondas de rádio é a voz. O outro sistema é a *radiotelegrafia*, ou simplesmente, CW (*continuous wave*), onde a informação transmitida é formada pelos elementos do Código Morse (ou código Radiotelegráfico Internacional). Telegrafia, Código Morse e CW têm o mesmo significado.

É interessante frisar que o conhecimento prático da telegrafia (recepção auditiva e transmissão do Código Morse), para obtenção da licença de radioamador é exigida pelas convenções internacionais que regem o radioamadorismo. Tal exigência se deve ao fato de que nas situações difíceis, onde não é possível a transmissão de mensagens em fonía, ainda se conseguem satisfatórias comunicações em CW, as quais demandam uma menor potência, proporcionam um maior alcance e são muito menos afetadas pelas interferências. Muitos radioamadores não acham necessário a imposição da prática de CW para as provas de radioamador, realmente, as coisas impostas não são muito bem-vindas, mas o propósito aqui não é discutir a importância ou não da telegrafia, eu particularmente adoro.

O Código Morse foi idealizado em 1837 pelo cientista norte-americano Samuel Finley Breese Morse. Nesse sistema, as letras do alfabeto, os algarismos arábicos e os sinais de pontuação acham-se representados pela combinação adequada de dois tipos de sons ou sinais: um breve e um longo. Deste modo, é possível formar-se palavras e frases inteiras. A comunicação radiotelegráfica consiste, então, em enviar sinais da estação transmissora até a receptora, utilizando-se as ondas de rádio como *veículo*.

Como dissemos, o Código Morse é formado pela combinação de dois tipos de sons, colocados em intervalos convenientes, para produzir outros sons diferentes, os quais, por sua vez, são usados para identificar cada uma das letras do alfabeto, os algarismos arábicos e outros símbolos e sinais convencionais de uso geral.

Os tipos de sons são apenas de duas espécies, um curto, o qual chamaremos de *di* e outro longo, o qual chamaremos de *dah*. Os sons têm duração diferente, o de pouca duração corresponde ao ponto e ao de longa ao traço no alfabeto morse.

A origem do timbre dos sons é uma oscilação de audiofrequência de mais ou menos 800 Hz. Cada símbolo do alfabeto Morse é chamado elemento, quer seja breve ou longo. Um ou mais elementos formam sinais (letras, números e outros símbolos especiais). Estes, por sua vez, formam palavras ou abreviaturas. O ritmo da manipulação vai determinar a velocidade de transmissão.

4.5. Considerações sobre a Ionosfera

A propagação de ondas de rádio é a forma com que estas ondas eletromagnéticas percorrem o caminho entre a estação transmissora e a estação receptora. Genericamente, se conseguimos captar bem uma determinada emissora que sabemos que está transmitindo em uma certa frequência e em certo horário, dizemos que a propagação está "boa" ou "aberta". Caso não conseguimos captar aquela emissora, dizemos que a propagação está "ruim" ou "fechada".

A ionosfera, região situada na atmosfera superior, tem grande efeito sobre as ondas de rádio uma vez que, devido à ação de raios cósmicos e ultravioleta provenientes do Sol, libera íons e elétrons livres em quantidade suficiente para provocar alterações na chamada "propagação" das ondas de rádio.

Acima de 80 km, a ionosfera começa com a camada inferior E que tem uma espessura de aproximadamente 20 km, onde ocorre a reflexão das ondas eletromagnéticas atingindo

grandes distâncias. As outras duas camadas são a F1 que se situa entre 180 e 200 km de altura e a F2 situada entre 280 e 300 km.

A ionosfera tem muitas características. Algumas ondas a penetram e se dirigem para o espaço (como o VHF e UHF), não retornando mais; outras ondas a penetram, mas se encurvam de volta a terra. A capacidade da ionosfera para fazer uma onda de rádio retornar a terra depende de alguns fatores como: ângulo da onda incidente, frequência de transmissão e da densidade de íons.

As ondas eletromagnéticas podem propagar-se até um ponto distante por qualquer ou por ambas as maneiras seguintes: Onda Terrestre ou pela Onda Ionosférica.

A Onda Terrestre viaja sobre a superfície da terra e é afetada pela presença do terreno. Consiste de uma onda de superfície, uma onda direta e uma onda refletida da terra; as duas últimas produzem uma onda resultante conhecida como onda do espaço.

Onda de superfície é aquela em que recebemos o sinal normalmente transmitido de uma estação de Radiodifusão, na onda normal, ou seja as Ondas Médias. Se propagam diretamente ao solo e terminam sendo absorvidas pela superfície do terreno, mas sofre menos quando se propaga sobre a superfície do mar, possibilitando a sintonia de uma estação em Ondas Médias a vários milhares de quilômetros de distância. As Ondas Diretas e Ondas Refletidas da terra são as ondas recebidas diretamente do transmissor da emissora ao receptor de rádio em linha reta.

As Ondas Ionosféricas possuem um comportamento diferente em relação às terrestres pois normalmente ocorrem pela reflexão ou refração, ou ambas juntas.

Podemos chamar estas ondas de rádio de ondas curtas e como foi explicado a ionosfera, que tem o papel de "encurvar" as ondas de rádio devolvendo-as à terra. Por isso é possível sintonizar emissoras de rádio do outro lado do globo, pela refração e reflexão das ondas de rádio.

O efeito da luz solar durante o dia é responsável por várias mudanças importantes na transmissão por ondas celestes; faz com que a onda retorne à terra perto do ponto de transmissão. Para resolver este problema, as emissoras de rádio procuram usar frequências altas (pequeno comprimento de onda) para poder cobrir uma certa área a longa distância.

Um fator muito importante que faz variar as condições de recepção em Ondas Curtas é o número de manchas solares. As manchas solares são um fenômeno que ocorre na superfície solar a cada 11 anos com um aumento substancial da emissão de luz ultravioleta proporcionando melhor ionização da camada ionosférica terrestre. O ápice do último ciclo ocorreu em 1989 sendo que o próximo ápice ocorrerá em meados do ano 2000.

Outros fenômenos solares, sem uma determinada frequência, podem acarretar mudanças na ionosfera terrestre e conseqüentemente alterações no comportamento da propagação de ondas de rádio. Dentre eles o principal causador de distúrbios na propagação são as explosões solares aonde há uma liberação excessiva de ondas de Raios-X. Quando ocorrem explosões a ionosfera torna-se muito agitada ocasionando o chamado "Fading" nas ondas de rádio.

Como o DX-ista pode saber as condições de propagação de um determinado dia para que se possa fazer uma previsão se será possível sintonizar emissoras distantes em Ondas Curtas?

O conhecido U.S. National Institute of Standards and Technology, proprietários das estações de sinais horárias WWV (Fort Collins/USA) e WWVH (Kekaha/Hawaii), informa a cada hora, nos minutos 18 (WWV) e 45 (WWVH), três índices que representam as condições ionosféricas para o respectivo horário. Basta anotá-los e, conhecendo seus significados, fazer a previsão da propagação para aquele instante.

Veja um exemplo de transmissão via WWV, Fort Collins:

- **At tone 16 hours, 18 minutes Co-ordinate Universal Time.**
- **Solar terrestrial conditions for 20 June follow:**

- **Solar Flux 176 and estimated A index 33, repeat, Solar Flux 176 and estimated A index 33.**
- **The Boulder K index at 1500 UTC on 20 June was 4, repeat 4.**
- **Solar terrestrial conditions for the last 24 hours follow:**
- **Solar activity was low, the geomagnetic field was at minor storm to unsettled levels.**
- **The forecast for the next 24 hours follows:**
- **Solar activity will be low to moderate, the geomagnetic field will be mostly active.**

As principais informações que podemos extrair das transmissões de boletins de propagação são:

Fluxo Solar (Solar Flux) - Os valores de fluxo solar transmitidos se referem ao dia anterior. Geralmente falando, quanto mais alto o índice de Fluxo Solar, melhores serão as condições de propagação das ondas de rádio. Durante períodos de baixa no ciclo de 11 anos das manchas solares o Fluxo Solar raramente ultrapassa valores de 100 enquanto em períodos de alta (como ocorrido pela última vez em Janeiro de 1989) alcança valores próximos a 300. Teríamos basicamente as seguintes condições de propagação levando-se em consideração o valor de Fluxo Solar:

Fluxo Solar	Propagação
60 a 120	Ruim
120 a 180	Moderada
180 a 240	Boa
240 a 300 (ou mais)	Muito boa

Em outras palavras, um aumento do Fluxo Solar significa um aumento da MUF (Maximum Usable Frequency, isto é, frequência Máxima Utilizável, que é a maior frequência que pode se utilizada para uma comunicação entre dois pontos sem que sua onda seja absorvida pelas camadas ionosféricas).

Em épocas de baixa no ciclo solar pode ocorrer alguns picos de Fluxo Solar; por exemplo, em casos de leitura de Fluxo Solar igual a 100 em épocas de baixa é suficiente para que a propagação muito favorável e se estenda até à faixa de 10 metros (28 MHz).

Índice A estimado (estimated A index) - Não é possível fazer uma boa predição das condições de propagação somente estudando o Fluxo Solar. Os efeitos causados pelas emissões de partículas como elétrons e prótons pelo Sol são percebidos pelo aumento de casos de Fading dos sinais de rádio em Ondas Curtas. O índice A é um número obtido pela média de 8 valores de "Índices a" do dia anterior da transmissão e quanto maior indica mais distúrbios ionosféricos.

Basicamente valores do índice "A" inferiores a 10 indicam uma ionosfera quieta com pouca atividade magnética (tempestade); valores de "A" acima de 30 indicam condições de distúrbios ionosféricos.

Índice Boulder K (Boulder K index) - O índice K é o mais indicado para se conhecer as condições de propagação em um determinado instante pois é medido a cada três horas pelo Observatório do NOAA em Boulder, Colorado/USA. O índice K utiliza um único dígito (de 0 a 9) para expressar a atividade geomagnética na ionosfera.

Temos que, basicamente, índices de K iguais ou menores que 4 indicam condições favoráveis de recepção em Ondas Curtas.

Atividade Solar e Condições de Campo Geomagnético - As estações WWV e WWVH utilizam os termos : "very low", "low", "moderate", "high" e "very high" para descrever a Atividade Solar, enquanto o Campo Geomagnético é descrito como sendo "quiet", "unsettled", "active", "minor storm", "major storm"; e "severe storm";.

4.5.1. Interpretando os Dados

Se o valor do Fluxo Solar fornecido pelas estações WWV e WWVH for alto enquanto os índices A ou K estiverem baixo e o campo geomagnético estiver calmo (quiet), as condições para DX serão muito boas, especialmente se os índices A e K se manterem baixos por dias consecutivos.

Se os índices A e K estiverem em níveis moderados enquanto o Campo Geomagnético estiver perturbado (unsettled) então as condições para DX serão ruins. E ainda, se os índices A ou K forem altos e o Campo Geomagnético estiver "active" (ativo) poderá haver propagação, mas com certeza não será da extremidade norte do planeta pois haverá um fenômeno ocorrendo denominado "auroral conditions" que absorverá todos os sinais eletromagnéticos provenientes daquela região. Este fenômeno conhecido popularmente como "Aurora Boreal" proporciona uma visão espetacular de chuva de elétrons aos habitantes do extremo norte.

Caso os boletins das estações WWV e WWVH informem que os índices A e K estão altos, o Fluxo Solar está baixo e o Campo Geomagnético está perturbado, esqueça o rádio e procure fazer outra atividade pois com certeza será perda de tempo ficar junto ao seu receptor.