



NOÇÕES BÁSICAS DE TELECOMUNICAÇÕES PARA TÉCNICOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE REDES DE TELEFONIA CELULAR

Introdução

O objetivo deste documento é o de fornecer os conhecimentos técnicos básicos necessários para a operação e manutenção de uma rede de telefonia celular, em particular, a rede de Vivo no estado de Santa Catarina.

Marcelo dos Santos
Setembro de 2004

1.
SISTEMA CELULAR BÁSICO
EQUIPAMENTOS DE TRANSMISSÃO
EQUIPAMENTOS DE BTS/ERB
EQUIPAMENTOS DE INFRA
COMUTAÇÃO – PRINCÍPIOS
BÁSICOS DE OPERAÇÃO
TCP/IP

1. CONHECIMENTO ADICIONAL (TCP/IP,
ATERRAMENTO, HDSL, SDH,
ANTENAS)

- ✓ PCM/TDM;
- ✓ MUX/Demux;
- ✓ Transmissão;
- ✓ Comutação;
- ✓ Básico de redes;
- ✓ PDH/SDH
- ✓ Ondas
- ✓ Eletromagnetismo
- ✓ dB/dBm
- ✓ VSWR
- ✓ Rádio microondas
- ✓ Modem HDSL
- ✓ Grooming
- ✓ Sistema Celular CDMA/GSM
- ✓ Protocolos (LAPD, HDLC)
- ✓ Acesso MMI;
- ✓ Siatemas operacionais
- ✓ Aterramento
- ✓ EMC
- ✓ Unidades elétricas
- ✓ Máquinas elétricas (GMG, fonte, inversor)
- ✓ Supressores de surto;
- ✓ Ar-condicionado
- ✓ Sistemas auxiliares (QDAI)
- ✓ SNR
- ✓ Modos de teste em celulares
- ✓ Cálculo de enlace

Sistema de Comunicação

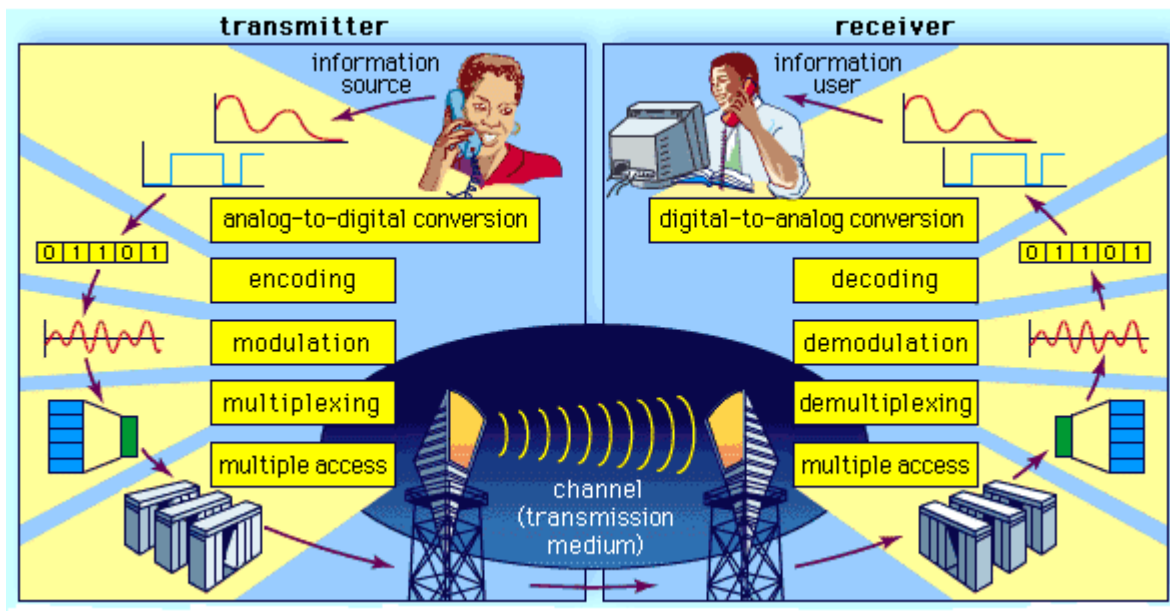
Um sistema de comunicação típico é composto de uma **fonte** que origina uma **mensagem**, como por exemplo a voz humana ou uma mensagem de correio eletrônico. Se a mensagem é não-elétrica como a voz humana, ela precisa ser convertida em uma forma de onda elétrica por um **transdutor de entrada**. Esta forma de onda é chamada de **banda básica** ou **sinal mensagem**.

O **transmissor** modifica a banda básica para uma transmissão eficiente. O **canal** é o meio através do qual a mensagem é enviada. São exemplos de meios de transmissão:

- Par trançado;
- Cabo coaxial;
- Guia de onda;
- Fibra óptica;
- Enlace de rádio.

O transmissor consiste em um ou mais dos seguintes sub-sistemas: Pré-amplificador, amostrador, quantizador e codificador. Similarmente, o receptor consiste em um demodulador, um decodificador, um filtro e um amplificador. O receptor reprocessa o sinal recebido do canal desfazendo as modificações impostas à mensagem pelo transmissor e pelo meio de transmissão. A saída do receptor é enviada ao **transdutor de saída** que converte o sinal elétrico na sua forma original. O **destino** é a entidade à qual a mensagem é comunicada. Podemos resumir as partes de um sistema de comunicação como:

- Fonte;
- Transdutor de entrada;
- Sinal (mensagem);
- Transmissor;
- Canal (meio de transmissão);
- Receptor;
- Transdutor de saída;
- Destino.



O canal atua como um filtro atenuando o sinal e distorcendo a sua forma de onda. A atenuação do sinal aumenta com a distância. A distorção acontece porque um sinal é formado pela soma de sinais de várias frequências que são afetadas de formas diferentes pela atenuação do meio e pelo atraso de fase.

O sinal também é afetado ao longo do meio por **ruídos** indesejáveis de causas internas (agitação térmica dos elétrons, emissões aleatórias e difusão ou recombinação de cargas nos circuitos eletrônicos) e externas (Interferências de canais de frequências próximas, ruídos gerados por dispositivos de chaveamento, tempestades de raios e radiações solares e intergalácticas).

Mensagens Analógicas e Digitais

As mensagens podem ser analógicas ou digitais. Mensagens digitais são construídas com um número finito de símbolos. A linguagem impressa, por exemplo, é uma mensagem digital com aproximadamente 50 símbolos entre letras, números e marcas de pontuação. Já o código Morse é um exemplo de mensagem digital com dois símbolos – marca e espaço – e por isso é chamada de mensagem **binária**. A mensagem digital composta por mais de dois símbolos possíveis é chamada de **M-ária**.

Mensagens analógicas são caracterizadas por dados cujos valores variam em uma faixa contínua como, por exemplo, a temperatura ambiente.

Imunidade dos sinais digitais ao ruído

A tarefa de todo receptor é extrair a mensagem do sinal distorcido e atenuado recebido da saída do canal. É claro que a sua tarefa fica muito mais facilitada ao ter que decodificar um sinal digital binário, que possui apenas dois níveis distintos simbolizando zero e um. Já os sinais analógicos sofrerão muito mais com a mínima interferência e, certamente, o receptor vai entregar uma mensagem com erro ao destino.

Conceito de Camadas

Num sistema de comunicação é muito importante definirmos quem será o usuário do serviço e quem será o provedor. Aqui podemos usar conceitos de redes de computadores para explicar melhor.

A comunicação entre dois pontos é um serviço que é prestado por um cabo, uma fibra óptica ou um enlace de rádio microondas. Em um sistema de telefonia móvel celular os usuários de um enlace de rádio são a CCC (Central de Comutação e Controle) e a ERB (Estação Rádio Base). Podemos dizer que o sistema CCC-ERB está numa camada superior ao sistema RÁDIO-RÁDIO. Do ponto de vista da CCC há apenas um cabo ligando ela à ERB. O enlace de rádio é **transparente** para a CCC e para a ERB. Da mesma forma, podemos ter numa camada superior duas pessoas conversando através do sistema celular.

A fixação destes conceitos é de extrema importância para o pessoal que trabalha com a manutenção do sistema que precisa analisar as falhas em partes separadas e manter uma ordem lógica de pesquisa e testes.

Nível mais alto	Voz humana
Nível intermediário	Telefone celular
Nível mais baixo	Operadora
Nível básico	Rede de transmissão
Nível primitivo	Formas de onda

Para que uma camada funcione perfeitamente é preciso que todas as camadas abaixo dela estejam também operacionais.

Mais tarde veremos a importância destes conceitos quando analisamos os diagramas funcionais de redes de transmissão e ERB's.

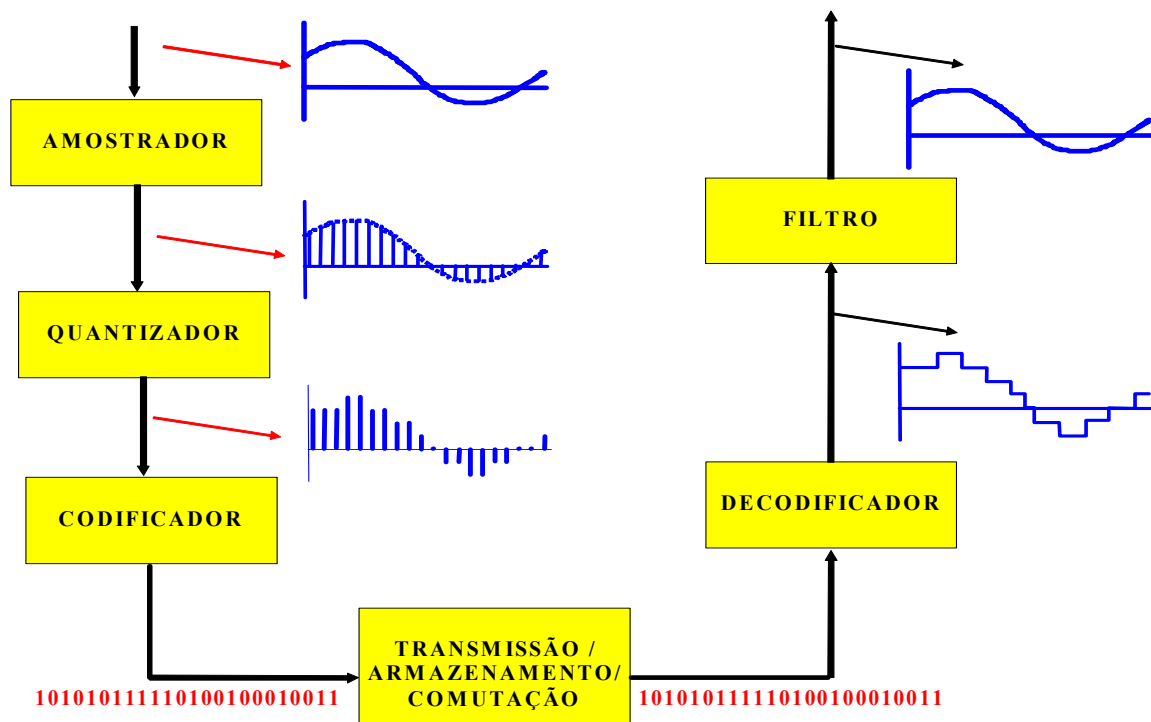
Viabilidade de Regeneradores em Comunicações Digitais

A principal razão da superioridade dos sistemas digitais sobre os analógicos é a viabilidade do uso de **repetidores regenerativos** ao longo do meio de transmissão, permitindo que o nível de sinal seja reforçado e o ruído seja suprimido. Em cada estação

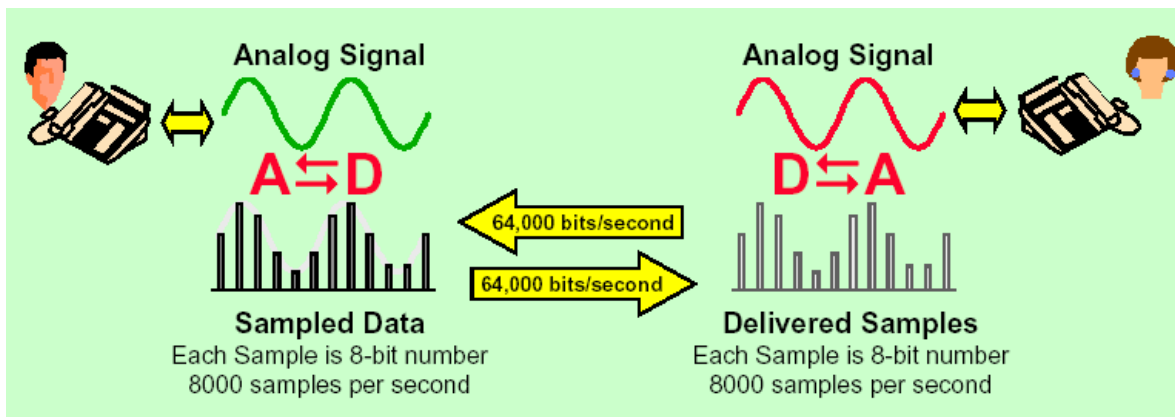
repetidora os pulsos são reconhecidos e gerados novamente com sua potência original restabelecida. Com isso podemos transmitir sinais entre grandes distâncias como por exemplo cabos ópticos submarinos que cruzam oceanos. Vale a pena lembrar que a simples amplificação do sinal recebido não bastaria porque estaríamos amplificando o sinal e o ruído junto com a mesma proporção, ou seja, estaríamos mantendo a mesma **relação sinal ruído (SNR)**.

Conversão Analógico / Digital

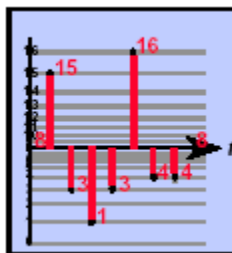
Teorias mais aprofundadas da transmissão de sinais provam que sinais analógicos podem ser decompostos como a soma de uma série de ondas senoidais. Assim, o **espectro de frequências** de um determinado sinal aleatório indica a quantidade de frequências necessárias para construir este sinal. Pelo *teorema da amostragem* sabemos que se a frequência mais alta que compõe o sinal é B Hz, este sinal pode ser reconstruído por suas amostras tiradas a uma frequência de $2B$ Hz.



Isto significa que não precisamos transmitir todo o sinal mas sim apenas suas amostras. Infelizmente os valores amostrados ainda não são digitais porque eles podem assumir qualquer um dos infinitos valores do range. Esta dificuldade é resolvida pelo que é conhecido como **quantização**, onde cada valor ou amostra é arredondada para o nível de quantização mais próximo.

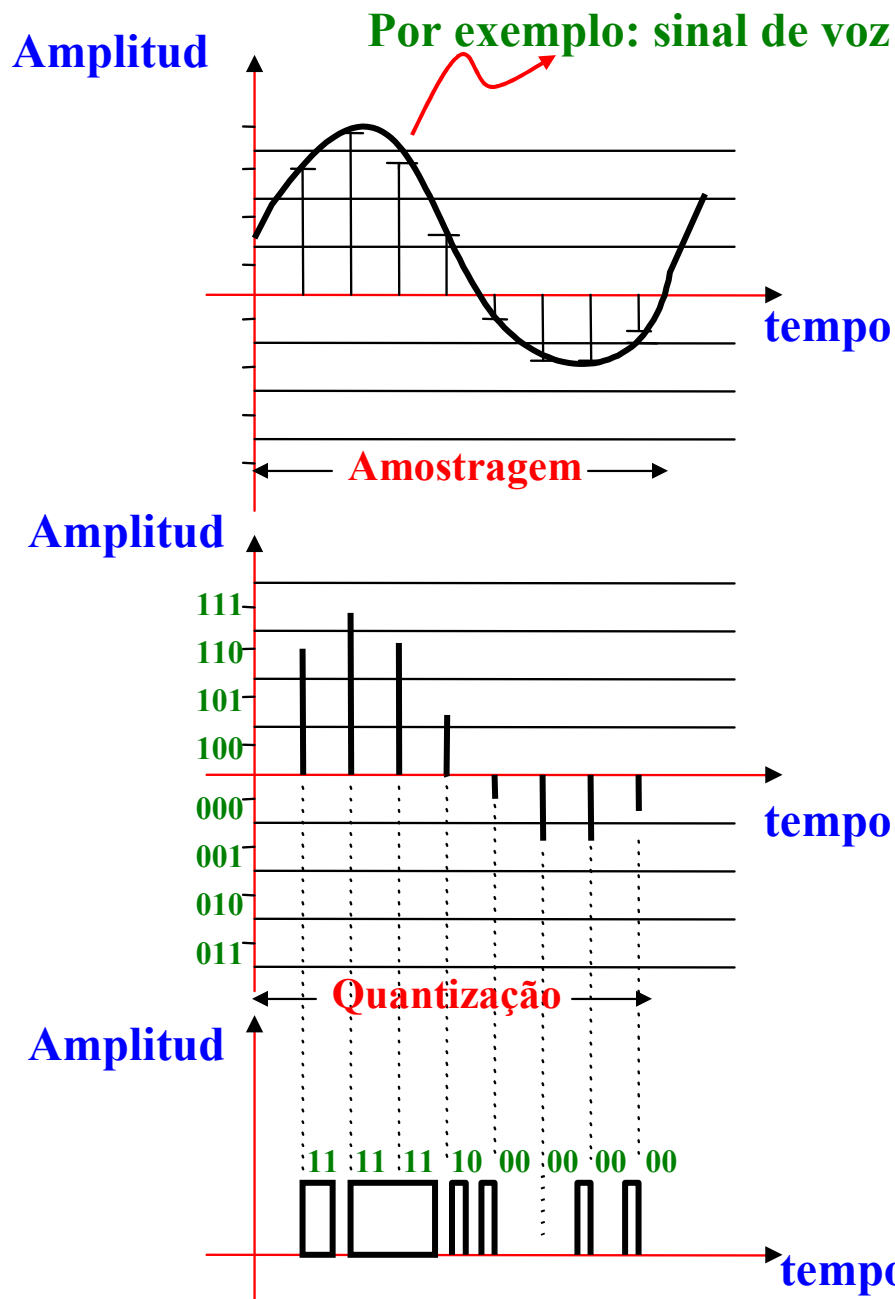


Para telefonia é comum usar 256 níveis de quantização. Cada nível de quantização poderá ser expresso por um conjunto de 8 bits. Estes bits é que serão transmitidos pelo canal. Virtualmente, hoje todas as comunicações digitais de hoje em dia



são binárias. Este esquema de digitalização e codificação em pulsos é chamado de **PCM – Pulse Code Modulation**, e é onde começa todo o sistema de telefonia moderno.

$$\begin{aligned}
 &\mathbf{A-LAW} \\
 &y = \operatorname{sgn}(x) \frac{A|x|}{\ln(1+A)} \quad \text{for } 0 \leq x \leq \frac{1}{A} \\
 &y = \operatorname{sgn}(x) \frac{\ln(1+A|x|)}{\ln(1+A)} \quad \text{for } \frac{1}{A} < x \leq 1 \\
 &(\text{where } A = 87.6)
 \end{aligned}$$



O Bloco Básico da Telefonia : DS0

Todo o sistema telefônico é construído sobre uma unidade básica: o DS0 de 64 Kb/s. Ele é formado a partir do seguinte cálculo:

Faixa de frequência da voz humana: 20.000 Hz

Faixa de frequência limitada pelo sistema telefônico: 4.000 Hz

Amostras por segundo : 8.000

Bits por amostra: 8

Bits por segundo: $8 \times 8.000 = 64.000$ b/s ou **64kb/s** (DS0)

Com isso percebemos que é necessário um canal de 64 kb/s para se transportar um canal de voz. O processo de conversão da voz num canal de 64 kb/s é chamado de Modulação por Codificação de Pulsos ou PCM. Sinais digitais PCM são **multiplexados** no tempo através de um processo chamado **TDM (Time Division Multiplexing)**, ou multiplexação por divisão de tempo. Em um feixe **E1**, que é o padrão utilizado no Brasil, temos 32 sinais PCM multiplexados, formando um sinal de $64.000 \times 32 = 2.048.000$ b/s ou simplesmente 2Mb/s ou 2M.

NOÇÕES SOBRE PROPAGAÇÃO DE ONDAS

1.1- Introdução

Quando uma potência elétrica é aplicada em um sistema elétrico ou em um circuito qualquer, tensões e correntes são estabelecidas ao longo do sistema ou do circuito com certas relações que são governadas pela teoria dos circuitos elétricos ou mais precisamente pelas equações de Maxwell. Quando uma tensão é aplicada nos terminais de uma antena, uma distribuição de tensões e correntes também aparecem ao longo do fio da antena e uma certa quantidade de energia se escapa no espaço que está em volta da antena. Esta energia se escapa na forma de ondas eletromagnéticas.

Ondas eletromagnéticas são oscilações que propagam no espaço livre com a velocidade com a velocidade da luz ou seja, $c = 299.792,5$ km/s(aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s).

De maneira geral, a propagação de uma onda eletromagnética 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 emitida por uma fonte pontual, muitas vezes chamadas de **radiador isotrópico** se propagam no espaço livre espalhando sua energia de maneira uniforme em todas as direções. A densidade de potência varia de maneira inversa ao quadrado da distância `a fonte. Uma **fonte isotrópica** ou um **radiador isotrópico** 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 emitida por um fonte isotrópico se propaga no espaço livre com frentes de ondas esféricas e com a velocidade igual em todas direções Isto não acontece quando a

onda se propaga em um meio como a ionosfera onde a velocidade da onda varia de acordo com a direção.

Toda antena irradia ou capta energia eletromagnética e as leis que governam estas suas propriedades são previstas pelas equações de Maxwell, que foram descritas por James Clerk Maxwell em 1873.

A polarização de uma onda se refere a orientação física do campo elétrico em uma onda eletromagnética. As ondas são ditas polarizadas linearmente se o seu campo elétrico tem sempre a mesma direção no espaço. A polarização de uma onda é uma característica intrínseca da antena transmissora. Uma antena colocada na posição vertical irá irradiar uma onda eletromagnética com um campo elétrico que também será vertical, neste caso dizemos que a polarização é vertical. De maneira similar uma antena colocada na posição horizontal irá irradiar um campo elétrico horizontal, e neste caso dizemos que a polarização da onda é horizontal. Outros tipos de polarização existem como é o caso da polarização circular e elíptica.

Um condutor qualquer colocado em um meio onde está se propagando uma onda eletromagnética fica sujeito à induções de correntes elétricas na sua superfície. Estas correntes podem alimentar um receptor qualquer, como é o caso de uma televisão, um rádio, etc.. A explicação para indução de correntes no condutor 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 sofrem perdas devido à 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 uma atenuação do campo surge principalmente devido às perdas ôhmicas da corrente de condução no meio. Os sinais podem ser bastantes atenuados atingindo valores muito baixos e poucos metros de penetração. A atenuação aumenta com a frequência da onda propagando no meio.

As ondas de frequência mais baixas tem longo alcance quando se propagam no espaço, pois quanto mais baixa a frequência maior é a facilidade de difração através de obstáculos. As ondas de baixa frequência também possuem uma grande penetração no meios condutores imperfeitos tais como: a água, a terra etc.. Isto explica porque as sondagens, comunicação com submarino, se fazem em baixas frequências.

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 da faixa de HF ($f > 30$ MHz) 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 da faixa de HF ($f < 3$ MHz), 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.

1.2- Meios de Comunicações

Os meios de comunicações ou canal de comunicação é o meio por onde a energia elétrica proveniente de um sinal de informação trafega para atingir o sistema receptor. Os meios de comunicações mais comuns são:

- o espaço (livre , troposfera, inosfera)
- o cabo coaxial
- a fibra óptica
- o par trançado
- a fita paralela, etc.

Trataremos aqui das comunicações no espaço, onde o meio de comunicação é a atmosfera que envolve a terra. As comunicações no espaço livre pode ser consideradas em três situações: **espaço livre, a troposfera e a ionosfera.**

Quando consideramos uma comunicação no espaço livre estamos considerando que a onda se propaga como se não houvesse qualquer interferência tais como dos gases atmosféricos, chuva, obstáculos (prédios , árvores, montanhas etc.), neblina, nuvens, ou qualquer outro meio que possa interferir nas comunicações.

A troposfera é a camada que se estende da superfície da terra até aproximadamente 10 Km de altura. A troposfera é constituída de gases como o oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, vapor de água, etc. Na troposfera precisamos considerar a influência da chuva, da umidade do ar na trajetória do raio da onda eletromagnética e nas perdas do sinal. A chuva é um dos grandes causadoras de atenuação do sinal de comunicação em alta frequência, isto em sinais acima de 10 GHz. Os gases atmosféricos também atuam fortemente na atenuação e no traçado do raio de um sinal.

A ionosfera é uma camada ionizada que se estende de aproximadamente 80 Km até aproximadamente 600 Km de altura, sendo que estes valores variam de acordo com a hora, o mês e com o ano. Esta camada é ionizada pelos raios solares que atingem a superfície da terra. A incidência da radiação nos gases que constituem a atmosfera naquela altura ioniza os mesmos gerando íons e elétrons livres. Os elétrons livres e o campo magnético terrestre alteram o índice de refração da ionosfera, causando uma mudança de trajetória do raio e

influenciado também nas perdas do sinal. Até a década de 70 a ionosfera era um dos principais meios de comunicação à longa distância e baixo custo.

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. A constituição da ionosfera varia com a hora e com a estação do ano e com atividade solar. Durante o dia a incidência solar é maior, isto aumenta a densidade eletrônica da ionosfera. Consequentemente durante à noite a densidade eletrônica da ionosfera é menor durante a noite. Estas flutuações acontece também devido a atividade solar, isto é quanto maior for atividade solar maior será a densidade eletrônica.

Vários pesquisadores no mundo trabalham com objetivo de determinar a densidade eletrônica da ionosfera. Entre as várias técnicas temos : as sondagens ionosféricas, as medidas por foguete e satélites.

1.3- Regulamentação e alocação de frequência

A frequência de operação é um fator determinante no desempenho de um sistema de comunicações . Existem regras internacionais e nacionais que determinam e disciplina do uso das frequências em uma comunicação.

A União Internacional de Telecomunicações (ITU) fundada em 1932, e proveniente da ITT (International Telegraph Union, 1865) é o órgão que regulamenta internacionalmente o uso das frequências no mundo.

Em 1979 na conferência de administração de rádio no mundo (WARC-79) alocou as frequências que vão até 275 GHz para todos os tipos de serviços. O CCIR (International Radio Consultive Committee) que um Comitê da ITU é responsável pela divulgação direta e análise dos problemas relacionados com rádio frequência.

A alocação de frequências especificada pela ITU tem como base os vários serviços de telecomunicações no mundo. A alocação inclui : serviços terrestres, de satélite, e inter-satélite As designações são muito específicas e cada especificação é sub-dividida em outras com mais detalhes.

Os serviços fixos referem-se à serviços ponto a ponto onde a estação terrena permanece fixa. Comunicações móveis são enlaces ponto a ponto onde um ou ambos os pontos finais são móveis durante a transmissão. Serviços rádio difusão é um enlace tipo ponto único para múltiplos pontos onde a radiação cobre uma área de serviço para vários terminais que apenas recebem.

1.4- Polarização da onda

A polarização das ondas é determinada pela orientação do campo elétrico em um ponto fixo do espaço. A polarização linear de uma onda é aquela que a resultante do campo elétrico está sempre ao longo de uma reta fixa em um ponto no espaço como uma função do tempo. A direção do campo elétrico determina o sentido da polarização linear, isto horizontal ou vertical ou qualquer outro ângulo com respeito à uma referência.

Em polarização linear a onda possui um vetor campo elétrico que roda em taxa igual a frequência da onda, descrevendo um círculo em um ponto fixo, como função do tempo.

O sentido da polarização é no sentido do relógio ou sentido contrário, que é tomado como referência um observador olhando na direção de propagação da onda. A polarização elíptica é aquela cujo vetor campo elétrico roda na frequência da onda e descreve uma elipse em um ponto fixo, como função do tempo.

1.5- Mecanismos de Propagação

Antes de começar nossa discussão sobre os vários problemas relacionados à atenuação atmosférica será útil definirmos alguns termos que são usados para descrever os vários fenômenos da propagação.

Absorção. Uma redução da amplitude do vetor campo elétrico de uma onda causado por uma conversão irreversível da energia da onda no caminho de propagação

Espalhamento. O processo no qual a energia de uma onda é dispersa em direção devido a uma interação com um meio não homogêneo.

Reflexão. A mudança na direção de propagação de uma onda de rádio resultante da variação do índice de refração do meio.

Difração. Uma mudança na direção de propagação da onda resultante da presença de uma obstáculo, abertura ou outro objeto no meio.

Múltiplo percurso. A condição de propagação que resulta na onda transmitida atingir a antena receptora por meio de dois ou mais caminhos de propagação. Múltiplos caminhos pode resultar de irregularidades da troposfera, ionosfera ou de estruturas ou terrenos irregulares na superfície da terra.

Cintilação. Flutuações rápidas da amplitude ou fase das ondas, causada por pequenas irregularidades no percurso de transmissão com o tempo.

Desvanecimento. Variação da amplitude (intensidade do campo) de uma onda causada por mudanças no percurso de transmissão com o tempo. Os termos cintilação e desvanecimento são muitas vezes confundidos. O desvanecimento é uma variação lenta da ordem de segundos ou minutos, como aquelas causadas pela chuva. A cintilação refere-se às flutuações rápidas da ordem de fração de segundo.

Dispersão de Frequência. A mudança das componentes frequência e fase através de uma banda de frequência, causada por um meio dispersivo. Um meio dispersivo é aquele em que os parâmetros constitutivos (permeabilidade, permissividade e condutividade) dependem da frequência (dispersão temporal) ou direção da onda (dispersão espacial).

Os efeitos em um enlace de comunicação é usualmente definido em termos de variações nos parâmetros do sinal, um ou mais mecanismo pode aparecer em um enlace. Uma redução na amplitude causada pela chuva no percurso, por exemplo, é o resultado da absorção e espalhamento da onda.

Como falamos, a ionosfera determina um papel fundamental na propagação de ondas na atmosfera. É comum em comunicações via satélite dividir o espectro em duas faixas de frequência, a primeira ($f < 3$ GHz) é a faixa influenciada pela ionosfera e a segunda ($f > 3$ GHz) é transparente à ionosfera.

Não existe um ponto onde as duas faixas são divididas exatamente, mas isto geralmente ocorre em 3 GHz. Há sempre uma região de superposição nos fenômenos que influenciam as propagações.

1.6- Fatores que influenciam a propagação de ondas acima de 3 GHz

Os principais fatores que influenciam as comunicações acima de 3 GHz são descritas a seguir:

Atenuação gasosa. É a redução na amplitude do sinal causada pelos gases constituintes da atmosfera a qual estão presentes no percurso das comunicações. Os principais gases que influenciam nas atenuações são o oxigênio e vapor de água.

Atenuação por Hidrometeóro. É a atenuação causada por chuva, nuvens, neblina, neve etc. no trecho da propagação das ondas. Os efeitos dos hidrometeóros causam atenuação e espalhamento da onda. A atenuação devido à chuva pode causar o maior dano nas comunicações espaciais. A atenuação devido às nuvens e neblina são menos severas principalmente em bandas inferiores à 10 GHz.

Despolarização. É a mudança na polarização das ondas causadas por (a) hidrometeoros (b) múltiplos caminhos da propagação. Na despolarização a onda terá sua polarização alterada tal que a potência é transferida do estado de polarização desejado em uma outra polarização perpendicular àquela transmitida ou desejada, resultando uma transferência entre os canais de polarização ortogonais. A chuva e neve causam grande despolarização quando a frequência aumenta, dificultando o reuso de frequência, principalmente em frequências superiores à 12 GHz. A despolarização devido à múltiplos caminhos são causadas principalmente em comunicações com baixo ângulo de elevação.

Ruído. É a presença de sinais não desejados em bandas de frequência de outras comunicações, causadas pela natureza ou fontes emitidas pelo homem. O ruído elétrico pode degradar as características de ruído de um sistema receptor e afetar o desempenho do sistema. As fontes naturais de ruído acima de 1 GHz são: ruído atmosférico, ruído produzido pelos gases (oxigênio, vapor de água etc.). As fontes de ruído feito pelo homem são: enlaces de comunicações terrestres, equipamentos elétricos, etc..

Ângulo de chegada. São as mudanças da direção da onda causada pelas mudanças do índice de refração no trecho de propagação da onda. Variações do ângulo de chegada são processos de refração e geralmente são observados em antenas de grande porte (10 metros ou mais de diâmetro) e frequências acima de 10 GHz. As variações do ângulo de chegada

resulta em uma mudança de amplitude na localização do satélite e ordem ser compensados por uma redirecionamento da antena.

Degradação do Ganho da antena. Uma redução do ganho aparente da antena receptora causada de correlação da amplitude e fase através da abertura. Este efeito pode ser produzido por uma chuva intensa; entretanto ele é observado apenas em antenas de grande porte e frequências acima de 30 GHz.

1.7- Fatores que influenciam as propagações acima de 3 GHz.

Cintilação. São flutuações rápidas da amplitude e fase de uma onda, causada pelas irregularidades na densidade eletrônica na ionosfera. Cintilações tem sido observadas de 30 até 76 GHz. As cintilações da ionosfera são bastantes severas nas regiões equatoriais e polares durante o nascer e por do sol.

Rotação da Polarização. É a rotação do campo elétrico causada pela interação dos elétrons e campo magnético da terra na ionosfera. Este efeito é chamado de rotação de Faraday e pode afetar seriamente as comunicações em VHF. A rotação de Faraday pode dar 30 rotações para uma onda na frequência de 100 Mhz, tendo seu efeito aumentado ou diminuído de maneira proporcional ao quadrado do inverso da frequência.

Atraso de Grupo (ou atraso de propagação). É a redução da velocidade de propagação de uma onda causada pela presença de elétrons livres no percurso de propagação. Este efeito pode ser crítico em rádio propagação, o qual requer uma grande precisão no conhecimento da distância e tempo para o sucesso do cálculo.

O atraso de grupo poderá ter 25 micro segundos na frequência de 100 MHz para um percurso terra-espaco com um ângulo de elevação de 30^0 , e é aproximadamente proporcional ao inverso do quadrado da frequência.

Cintilação e Desvanecimento de múltiplos caminhos. São variações causadas da intensidade de campo e fase de uma onda, causada pelo terreno e rugosidade da superfície da terra. Este efeito é importante em comunicações terrestres e precisa ser considerado para enlaces terra-espaco com baixo ângulo de elevação e em comunicações móveis.

Desvanecimento e Refração Troposférica. São mudanças no ângulo de chegada ou amplitude do sinal, causada por variações do índice de refração da troposfera. O índice de refração da troposfera é função da temperatura, pressão, conteúdo do vapor de água.

Ruído. Como descrito anteriormente.

1.8- Tipos de Propagação

As ondas de rádio que se propagam na atmosfera podem se classificadas de acordo com a frequência, alcance, atenuação etc., mas normalmente podemos classificá-las de acordo com sua influência dos meios e obstáculos que estão ao longo da sua trajetória e normalmente podemos classificá-las como : ondas de superfície, ondas ionosféricas, ondas diretas, ondas difratadas e ondas espalhadas.

1.8.1- 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.

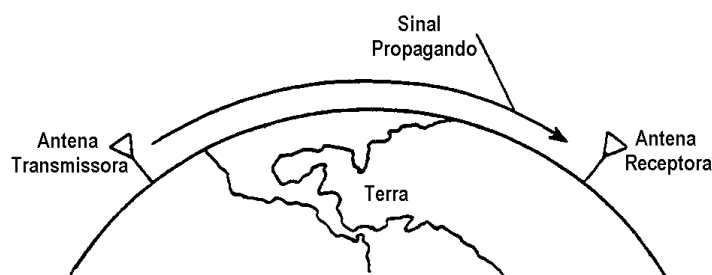


Figura 1.1- onda de superfície ou ondas de solo (abaixo 2 MHz).

1.8.2- Ondas Ionosféricas

As frequências de uma onda de rádio são fatores críticos na determinação dos elementos da atmosfera e influenciam na propagação do sinal. As ondas necessitam ter frequências superiores àquelas de penetração na ionosfera, que é uma camada ionizada que se estende de 80 até 600 Km de altura acima da superfície da terra.

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 eletrons livres e íons.

As várias camadas da ionosfera chamadas de D,E e F, atuam como refletoras e elementos de absorção das onda de rádio em frequências inferiores à 30 MHz.

Quando a frequência aumenta as propriedades de reflexão e absorção da ionosfera diminui e o sinal sofre reflexões e atenuações. As ondas com frequência superior à 30 MHz, irão propagar através da ionosfera e as propriedades da onda irão variar de acordo com a frequência, localização geográfica, hora e dia.

O efeito da ionosfera é menos significativo para frequências superiores à 3 GHz, e acima desta frequência a ionosfera é transparente às ondas.

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.

As ondas refletidas na ionosfera podem atingir longas distâncias(acima de 1000 Km). As Figuras 1.2(a) e (b) ilustra como pode ser as ondas ionosféricas. 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 Figura 1.2(b), ilustra o caso de haver várias reflexões na ionosfera e na terra, neste caso o sinal poderá dar volta em torno da terra.

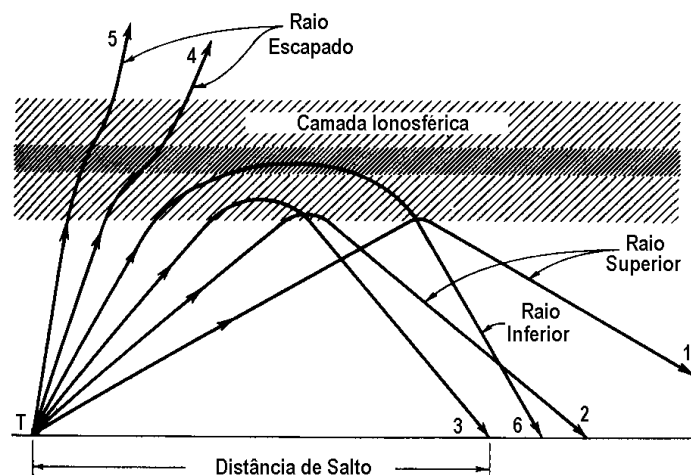


Figura 1.2 (a)- Ondas com reflexão ionosférica.

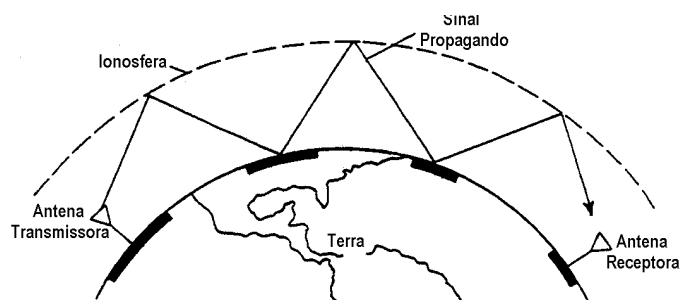


Figura 1.2(b)- Onda ionosférica com múltiplas reflexões (2 até 30 MHz).

Nos projetos de ondas de rádio via ionosfera usualmente calcula-se três frequências de utilização do enlace, uma frequência para o horário da manhã, outra para o horário da tarde e uma terceira para o horário da noite. As previsões da frequência máxima de utilização (MUF) são normalmente fornecidas por órgãos da área, e corresponde em um dado local a frequência máxima na incidência vertical, que poderá ser usada para que haja reflexão na altura de máxima densidade eletrônica. A frequência real de utilização na vertical é chamada de FOT (frequência ótima de trabalho) = $0,85 \cdot \text{MUF}$.

1.8.3- 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.

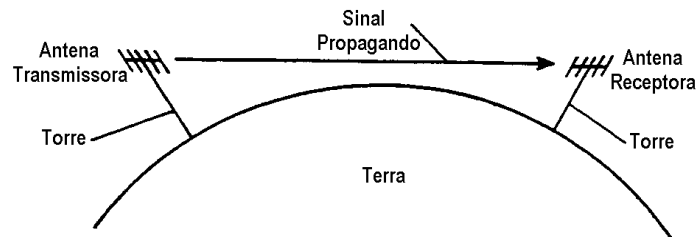


Figura 1.3- Onda em visada direta(acima de 30 MHz).

1.8.4- Ondas difratadas.

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.

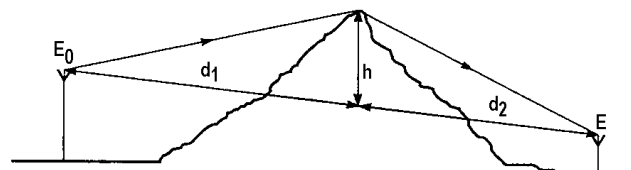


Figura 1.4- Propagação por difração (obstáculo gume de faca).

1.8.5- 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.

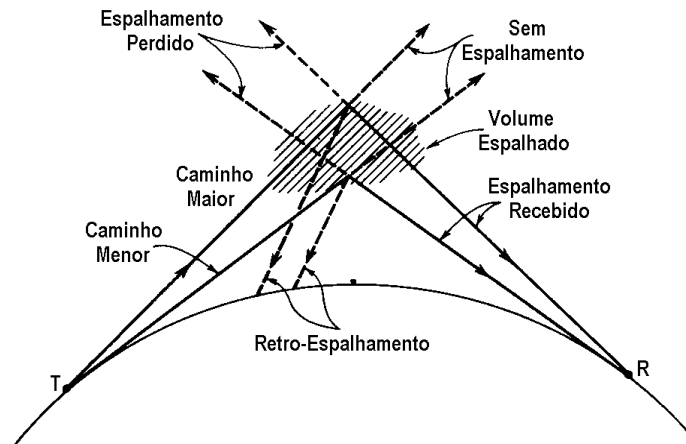
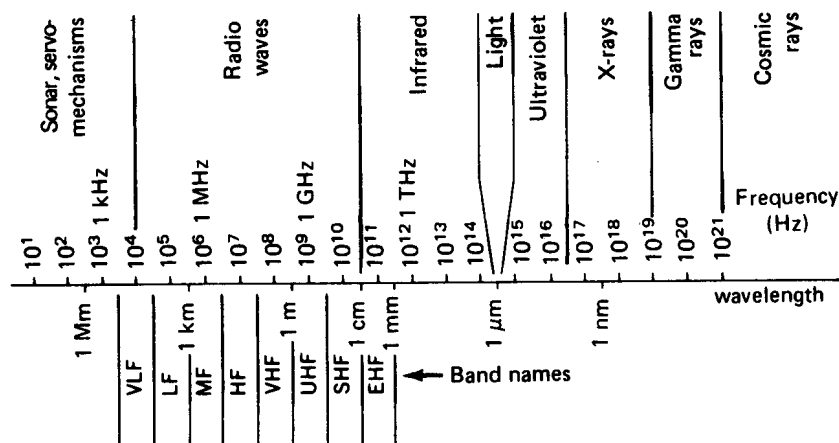


Figura 1.5- Propagação por espalhamento.

1.9- O Espectro de 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 3kHz

Esta faixa não tem aplicações em telecomunicações por ser constituída de frequências muito baixas, não tendo capacidade de alocar banda suficiente para comunicações.

Very low frequency(VLF)

Faixa que vai de 3kHz até 30kHz

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 30kHz até 300kHz

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 3000kHz

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 á noite. É a faixa do espectro mais usado pelas emissoras de rádio difusão AM.

High Frequency(HF)

Faixa que vai de 3 MHz até 30MHz

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 ionoféricas 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 30MHz até 300MHz

Aplicações: televisão em VHF, rádio FM, comunicações militares, comunicações com espaçonaves, telemetria de satélite, comunicações com aeronaves, auxílios á 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 3000MHz

Aplicações: televisão UHF, telefonia celular, auxílios á 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 á 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 freqüência 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