



CAPACITAÇÃO EM TECNOLOGIA INTELBRAS

The background of the page is decorated with several clusters of overlapping squares in various shades of green, arranged in a pattern that resembles a stylized globe or a network. A solid green curved band at the bottom of the page serves as a base for the Intelbras logo.

**intelbras**

# Conceitos de Rádio Frequência

## Sumário

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <b>MÓDULO 1 - ONDAS ELETROMAGNÉTICAS .....</b> | <b>4</b>                             |
| FREQUÊNCIA .....                               | 5                                    |
| COMPRIMENTO DE ONDA .....                      | 7                                    |
| POTÊNCIA ABSOLUTA .....                        | 9                                    |
| POTÊNCIA RELATIVA.....                         | 9                                    |
| PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS .....     | 11                                   |
| PERDA NO ESPAÇO LIVRE .....                    | 11                                   |
| REFLEXÃO.....                                  | 13                                   |
| FIGURA 18 - EXEMPLOS DE REFLEXÃO .....         | <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b> |
| DIFRAÇÃO .....                                 | 14                                   |
| ABSORÇÃO OU ATENUAÇÃO .....                    | 16                                   |
| POLARIZAÇÃO DAS ONDAS .....                    | 16                                   |
| ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....                  | 17                                   |
| RELAÇÃO SINAL/RUIDO.....                       | 19                                   |
| <b>MÓDULO 2 - ANTENAS.....</b>                 | <b>21</b>                            |
| DIAGRAMA DE IRRADIAÇÃO.....                    | 22                                   |
| ÂNGULO DE ABERTURA.....                        | 23                                   |
| RELAÇÃO FRENTE COSTAS.....                     | 23                                   |
| RESPOSTA EM FREQUÊNCIA .....                   | 24                                   |
| ANTENAS OMNIDIRECIONAIS.....                   | 24                                   |
| ANTENAS SETORIAIS .....                        | 24                                   |
| ANTENAS DIRECIONAIS.....                       | 25                                   |
| <b>MÓDULO 3 – TRANSMISSÃO DE DADOS .....</b>   | <b>26</b>                            |
| MODULAÇÃO .....                                | 26                                   |
| MODULAÇÕES ANALÓGICAS .....                    | 27                                   |
| MODULAÇÕES DIGITAIS .....                      | 28                                   |
| BITS E BYTES .....                             | 30                                   |
| UNIDADES DE MEDIDA DE TRÁFEGO .....            | 31                                   |
| <b>MÓDULO 4 – O QUE É UM RÁDIO .....</b>       | <b>31</b>                            |
| DIAGRAMA EM BLOCOS .....                       | 31                                   |
| AMPLIFICADOR .....                             | 32                                   |
| BANDA BASE.....                                | 32                                   |
| CANAIS .....                                   | 32                                   |
| MIMO .....                                     | 33                                   |
| EIRP .....                                     | 34                                   |
| PADRÃO IEEE802.11 .....                        | 34                                   |

# Módulo 1 - Ondas eletromagnéticas

É importante tomarmos consciência de como estamos imersos em ondas eletromagnéticas. Iniciando pelo 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 óticos 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).

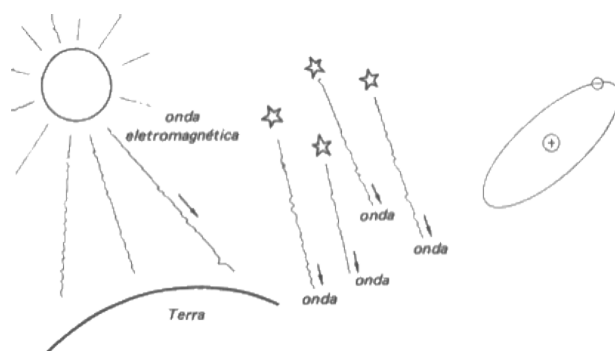


Figura 1 - Onda eletromagnética

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 micro-ondas, lâmpadas artificiais, corpos aquecidos e muitas outras.

Quando um humano fala, suas cordas vocais vibram, o que gera ondas que saem por sua boca e propagam-se pelo ar até o pavilhão auricular de quem escuta. Este por sua vez, recebe essas ondas e as encaminha até o tímpano. Ao vibrar no tímpano do receptor, transforma-se em onda eletromagnética e é conduzida pelo nervo auditivo até o cérebro, em forma de pulsos elétricos.

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, que é de ~300.000 km/s. E a primeira verificação experimental foi feita por Heinrich Hertz, em 1887. Hertz produziu ondas eletromagnéticas por meio de circuitos oscilantes, e após, 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**.



Frequência é uma grandeza que representa a quantidade de ocorrências de um evento em um determinado intervalo.

### Frequência

A frequência é a quantidade de vezes que a onda eletromagnética repete um ciclo em uma unidade de tempo de 1 segundo.

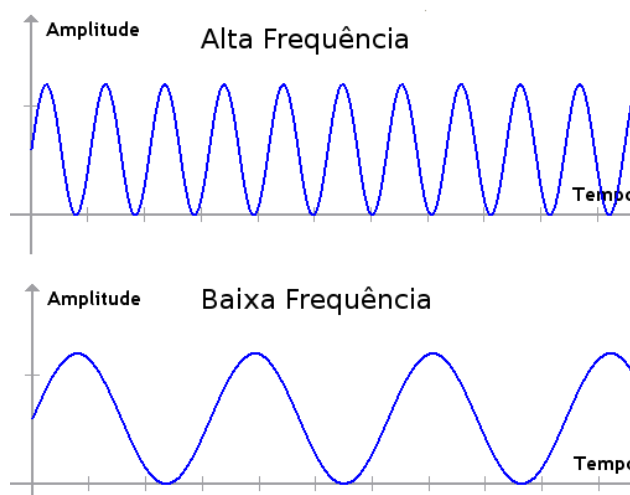


Figura 2 - Frequência da onda eletromagnética

Esta frequência é representada pela unidade Hertz

1 ciclo por segundo = 1 Hertz

1.000 ciclos por segundo = 1000 Hertz = 1 Kilo Hertz = 1 KHz

1.000.000 ciclos por segundo = 1.000.000 Hertz = 1 Mega Hertz = 1 MHz

1.000.000.000 ciclos por segundo = 1.000.000.000 Hertz = 1 Giga Hertz = 1 GHz

2.400.000.000 ciclos por segundo = 2.4 GHz

5.800.000.000 ciclos por segundo = 5.8 GHz

### Geração de ondas eletromagnéticas

Imagine uma antena de uma estação de rádio:

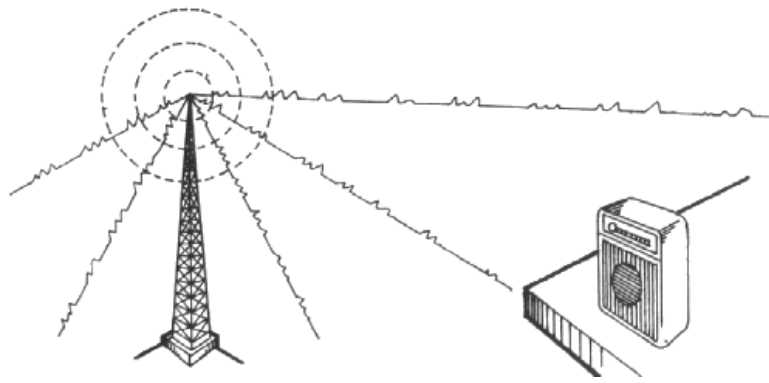


Figura 3 - Propagação da onda eletromagnética

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, após 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:

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

Onde  $\epsilon_0$  é a permissividade elétrica do vácuo e  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo.

Aplicando os valores de  $\epsilon_0$  e de  $\mu_0$  na expressão acima, encontra-se a velocidade:

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

...que é igual à velocidade da luz. Nisso Maxwell se baseou para afirmar que a luz também é uma onda eletromagnética.



A velocidade de propagação das ondas de luz, no vácuo, é de aproximadamente 300.000 km/s. A velocidade de propagação de ondas sonoras é de 340 m/s.

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 ao redor do fio em certo instante estará apontando num sentido, e após, 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.

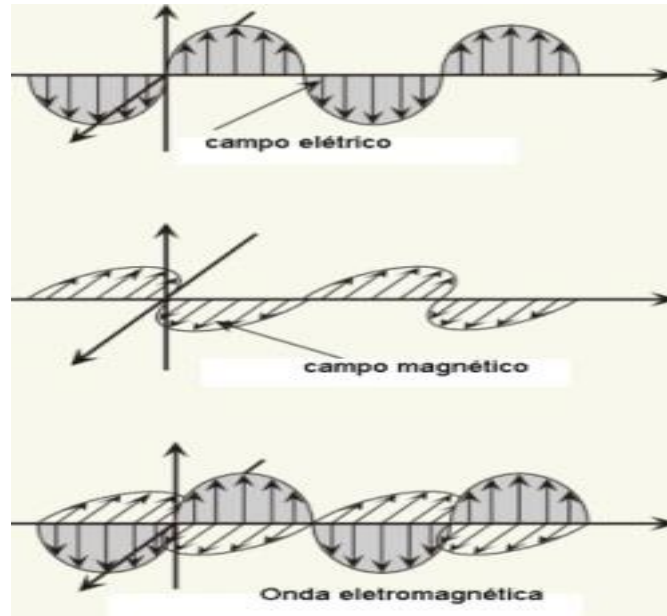


Figura 4 - Campo elétrico e campo magnético

### Comprimento de onda

O comprimento de onda é a distância entre valores repetidos num padrão de onda. É usualmente representado pela letra lambda ( $\lambda$ ) do alfabeto grego.

Numa onda senoidal, o comprimento de onda é a distância entre picos (ou máximos):

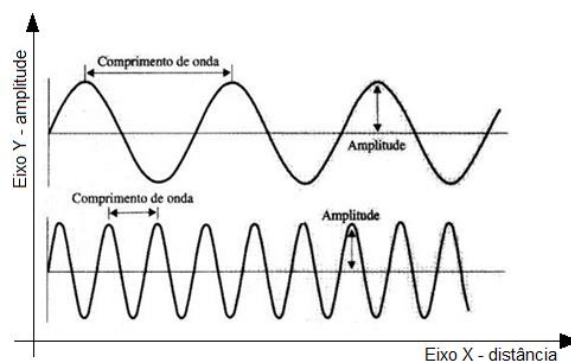


Figura 5 - Comprimento de onda

No gráfico acima, o eixo X representa a distância e o eixo Y representa alguma quantidade periódica. Por exemplo, a pressão, no caso do som ou o campo elétrico para ondas

eletromagnéticas ou a altura da água para uma onda em alto mar. A altura no eixo Y é também chamada de amplitude da onda.

O comprimento de onda  $\lambda$  tem uma relação inversa com a frequência  $f$ , a velocidade de repetição de qualquer fenômeno periódico. O comprimento de onda é igual à velocidade dividida pela frequência. Quando se lida com radiações eletromagnéticas no vácuo, essa velocidade é igual à velocidade da luz 'c'. Para sinais (ondas) no ar, essa velocidade é a velocidade a que a onda viaja. Esta relação é dada por:

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

Onde:

$\lambda$  = comprimento de uma onda sonora ou onda eletromagnética;

$c$  = velocidade da luz no vácuo = 299.792,458 km/s ~ 300.000 km/s ou ~300.000.000 m/s;

$c$  = velocidade do som no ar = 343 m/s a 20 °C (68 °F); (caso esteja calculando som);

$f$  = frequência da onda 1/s = Hz.

A velocidade de uma onda pode, portanto, ser calculada com a seguinte fórmula:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Onde:

$v$  = velocidade da onda;

$\lambda$  = comprimento de uma onda sonora ou onda eletromagnética;

$T$  = o período da onda.

O inverso do período,  $1/T$ , é chamado de frequência da onda, ou frequência de onda:

$$f = \frac{1}{T}$$

### Definição de potência e unidades

Na seção anterior, vimos o que acontece com as ondas eletromagnéticas à medida que se propagam pelo meio.



Afinal quem gerou essa onda eletromagnética?

Em sistemas de Redes Wireless Outdoor, temos dispositivos osciladores, que geram essas ondas. Elas podem ser amplificadas e conduzidas pela linha de transmissão até a antena e então são irradiadas no meio atmosférico. Esses dispositivos que geram as ondas de RF são os que necessitam de potência, conforme figura a seguir:



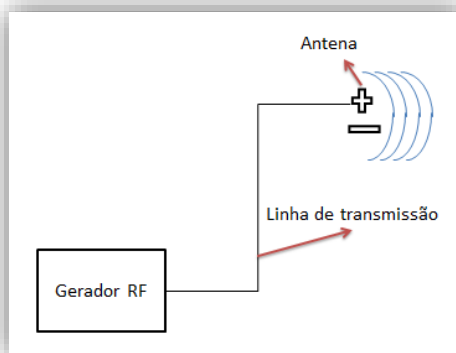


Figura 6 - Gerador de RF

Quem utiliza potência é o rádio, neste caso apresentado como Gerador RF. Logo, sempre que você ver medições de potência ou comentários do tipo “esse equipamento é potente”, lembre-se que estamos nos referindo ao rádio, e não a antena. A linha de transmissão apenas conduz a onda eletromagnética até a antena, que por sua vez, apenas irradia essa onda. Uma das propriedades da antena é seu ganho, que vamos aprofundar um pouco mais a frente. Podemos concluir que rádio tem potência e antena tem ganho, diretividade.

Para melhor entendimento de alguns conceitos e cálculos, é necessário conhecer as unidades de medida. A seguir estão as unidades de medida mais utilizadas quando o assunto são as Redes Wireless Outdoor. Sem dúvida encontrará essas unidades de medidas ao analisar *datasheets* de produtos, na parte de potência de rádio, ganho de antena, nível de sinal recebido, relação frente-costas de antenas, dentre outros.

### Potência absoluta

Podemos definir a potência absoluta como sendo a quantidade de energia fornecida por uma fonte transmissora por uma unidade de tempo. Essa quantidade de energia pode ser expressa em W (*watt*) e a unidade de tempo em S (segundo).

### Potência relativa

Uma potência pode ser considerada relativa pela comparação de uma potência transmitida em relação à potência recebida de um determinado dispositivo.

### Decibel (dB), Decibel Miliwatt (dBm) e Decibel Isotrópico (dBi)

O decibel (dB) é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou intensidade) em relação a um nível de referência específico ou implícito. Um decibel é um décimo de um bel, uma unidade raramente usada. Uma relação em decibéis é igual a dez vezes o logaritmo de base 10 da razão entre duas quantidades de energia, conforme a expressão:

$$(dB) = 10 \log ( P1 / P2 ).$$

**(dBm)**: é uma unidade de medida de potência utilizada para indicar a relação entre duas potências P1 e P2, sendo que P2 é fixada em 1 mW – referência constante.

**(dBi)**: é uma unidade de medida usada para expressar o ganho de uma antena em relação à antena isotrópica. A antena isotrópica é uma referência teórica (sua construção na prática é “impossível”) que tem um diagrama de irradiação esférico, ou seja, irradia igualmente a energia em todas as direções.

Para fazer a conversão de potência medida em **dBm** para a unidade **mW**, usa-se a seguinte equação:

$$mW = 10^{\frac{dBm}{10}}$$

Para fazer a conversão de potência medida em **mW** para a unidade **dBm**, usa-se a seguinte equação:

$$dBm = 10 \cdot \log\left(\frac{P1}{1}\right)$$

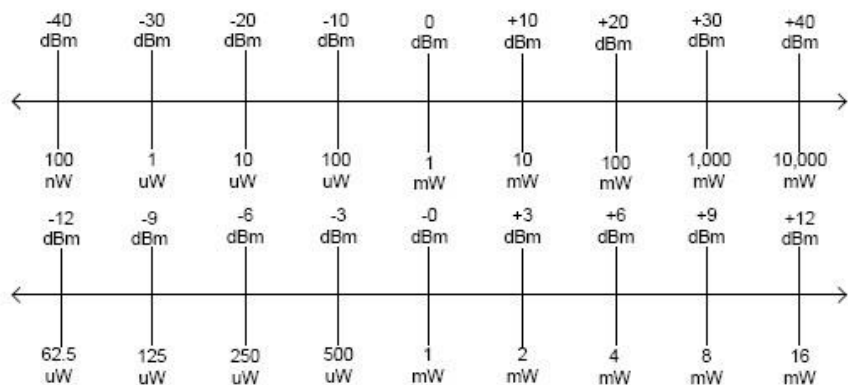


Figura 7 - Relação dBm e mW

+3dB = o dobro da potencia em mW

-3dB = metade da potência em mW

+10dB = 10 vezes a potência

-10dB = 1 décimo da potência em mW

Exemplo:

20dBm = 100mW

20dBm + 3dBm = 23dBm = 200mW

20dBm + 10dBm = 30dBm = 1000mW = 1W

## Propagação de ondas eletromagnéticas

Em nossa aplicação de Redes Wireless Outdoor, as ondas eletromagnéticas utilizam o ar como meio de propagação, mas nosso espaço aéreo é composto por obstáculos. A seguir, veremos como as ondas eletromagnéticas se comportam no momento em que encontram com esses obstáculos.

O estudo da física que existe por trás dessas propagações, lhe ajudará a enfrentar as situações que vai passar quando fizer uso de nossos produtos de Redes Wireless Outdoor.

### Perda no espaço livre

Em um sistema *wireless*, apenas parte da energia transmitida por meio das ondas eletromagnéticas é captada pela antena receptora. Esta energia é tanto menor quanto maior a frequência e a distância entre o emissor do sinal *wireless* e o receptor. Esta perda que ocorre no caminho, também denominada perda no espaço livre, é expressa em dB pela seguinte fórmula:

$$\text{Perda no espaço livre (L)} = 32,5 + 20(\log d) + 20(\log f)$$

Onde:

**d** = distância (Km)

**f** = frequência (MHz)

### Refração

Sempre que uma frente de onda se propaga por um meio com variação de densidade, haverá um encurvamento do feixe. As ondas eletromagnéticas são refratadas na atmosfera devido a pequenas diferenças de velocidade de propagação, em consequência da existência de gradientes de densidade. Este fenômeno ocorre, principalmente, na baixa atmosfera.

Alcances extraordinários nos radares, recepção de sinais de TV oriundos de emissoras de outros estados, ou, algumas vezes, de outros países, são testemunhos do fenômeno da refração.

A atmosfera pode refratar as ondas de rádio e radar. O coeficiente que mede esse poder se designa por “N” (a refração é expressa em unidades N), e é calculado em função da densidade do ar e da velocidade de propagação da energia nessa mesma massa de ar.

Nas camadas mais baixas da atmosfera, a umidade, a pressão e a temperatura decrescem com a altitude nas primeiras centenas de pés de altura. O gradiente nessas camadas é da ordem de 12 unidades N por mil pés. Este valor é denominado refração normal e tem como consequência um suave encurvamento dos feixes de ondas eletromagnéticas, quase acompanhando a curvatura normal da superfície terrestre (a refração da camada inferior da atmosfera estende o horizonte rádio à distância de 15% a mais que o horizonte visual). O efeito é o mesmo que se o raio da Terra fosse cerca de 1/3 maior, e não houvesse refração. Quando o índice de refração

decrece com variações maiores que a normal, por exemplo, 50 unidades “N” por mil pés de ascensão, o encurvamento do feixe de onda eletromagnética é sensivelmente maior.

Como sabemos, a atmosfera não é homogênea. Consequentemente, os gradientes de refração variam, e como resultado, geram zonas onde há refração normal, super-refração ou sub-refração. Tais coeficientes variáveis podem causar os seguintes efeitos a um feixe de ondas eletromagnéticas:

- Encurvamento brusco, reduzindo o alcance;
- Subdivisão de feixe em diversas partes, causando zonas de sombra e dutos, falhas e concentração de energia.

As falhas, ou zonas de sombra, nada mais são que porções do espaço aéreo, dentro de uma região onde se espera propagação normal, mas que devido à existência de camadas de sensível refração, deixam de ser energizadas ou iluminadas pela transmissão eletromagnética. Assim, por exemplo, um alvo situado numa dessas falhas poderá ser detectado visualmente, antes de sê-lo pelos radares.

Os dutos, como o próprio nome indica, são regiões onde a energia é aprisionada, confinada e concentrada por efeito de refrações sucessivas, de modo a atingir regiões bem além do horizonte normal e, em consequência, possibilitam a detecção de alvos a distâncias, que normalmente, estariam além do alcance nominal dos sensores ou das comunicações.

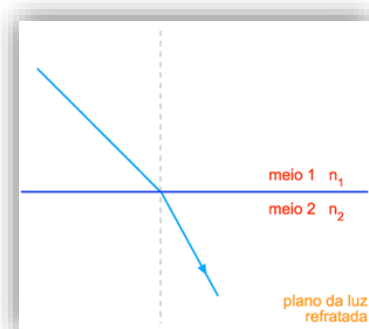


Figura 8 - Refração



Figura 9 - Refração

Existem diversas tabelas que apresentam o índice de refração em diversos meios materiais:

| Meio material  | Índice de refração (n) |
|----------------|------------------------|
| ar             | 1,00                   |
| água           | 1,33                   |
| vidro          | 1,50                   |
| glicerina      | 1,90                   |
| álcool etílico | 1,36                   |
| diamante       | 2,42                   |
| acrílico       | 1,49                   |

Figura 10 - Índice de refração dos materiais

## Reflexão

Quando uma onda encontra a superfície que estabelece o limite entre dois meios de densidades diferentes, uma parte da energia é refletida, outra parte é absorvida pela superfície refletora e uma terceira porção pode penetrar, refratar-se e propagar-se no segundo meio. As quantidades de energia envolvidas nesses três processos irão depender, basicamente, da natureza da superfície, das propriedades do material e da frequência da onda. No caso das ondas eletromagnéticas, a orientação da polarização do campo elétrico em relação à superfície também exercerá influência.



Você sabia que nossos olhos são exemplos de receptores de ondas eletromagnéticas? Essa conclusão é formada levando em conta que, dentro de nossos olhos, no fundo da retina, existem fotorreceptores. São células que captam a luz visível que chega à retina e transmitem para o cérebro um impulso nervoso correspondente à qualidade dessa luz, permitindo assim que o cérebro reconheça imagens, causando a sensação visual. E todo esse processo depende da capacidade de reflexão da onda eletromagnética LUZ, que incide sobre os objetos e reflete pra dentro de seus olhos. Por isso nós enxergamos em cores.

As ondas eletromagnéticas são afetadas pela reflexão e pelo espalhamento. O emprego das ondas eletromagnéticas na detecção pode ser grandemente prejudicado pelos ecos indesejáveis que obscurecem o alvo. Podemos tomar como exemplo grandes massas de terra, retorno do mar, aguaceiros e nevascas, fenômenos estes que influenciam, principalmente, as frequências mais elevadas.



Você sabe por que se chega a essa conclusão? Por que quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e consequentemente menor a amplitude. Ondas a 2.4 GHz possuem comprimento de onda de ~12 cm, ondas a 5 GHz possuem de 5 a 6 cm, já ondas a 24 GHz tem ~1 cm. Para uma onda com 1 cm de tamanho, uma gota de chuva é um obstáculo enorme.

Então, quando uma onda de rádio encontra uma superfície, se as condições forem favoráveis ela será refletida de forma “espelhar” (como em um espelho), da mesma maneira que ocorre com uma onda luminosa, que também é uma onda eletromagnética, cumprindo-se as leis:

- O raio de incidência e o raio de reflexão estão no mesmo plano; e
- O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

A superfície terrestre reflete ondas de todas as frequências. As baixas frequências possuem grande penetração e as ondas são menos refletidas. Em frequências muito baixas, sinais de rádio podem ser recebidos a até alguns metros abaixo da superfície do mar.

Árvores, edifícios, montanhas e outros objetos podem causar reflexões de ondas de rádio. Para as frequências baixas, e mesmo médias essas reflexões podem ser desprezadas.

Já nas altas frequências, elas se tornam importantes, sendo o fenômeno, por vezes, aproveitado como base de sistemas eletrônicos, como o radar. Quando o fenômeno é indesejável, como nas comunicações, costuma-se usar antenas direcionais, que, pelo menos, minimizam os efeitos da reflexão.

Sempre que uma onda é refletida pela superfície terrestre, dá-se uma mudança de fase, que varia com a condutividade do terreno e a polarização da onda, alcançando um máximo de  $180^\circ$  para uma onda polarizada horizontalmente, quando refletida pela água do mar (que se considera como tendo condutividade infinita).

Quando uma onda terrestre e uma onda refletida chegam ao mesmo tempo a um receptor, o sinal total é a soma vetorial das duas ondas. Se os sinais estão em fase, uma onda reforça a outra, produzindo um sinal mais forte. Se há diferença de fase, os sinais tendem a cancelarem-se mutuamente, sendo o cancelamento completo quando a diferença de fase é de  $180^\circ$  e os dois sinais têm a mesma amplitude. Essa interação tem o nome de interferência de ondas. A diminuição de sinal no receptor devido a essa interação de ondas terrestres e refletidas é denominada *fading* (desvanecimento).

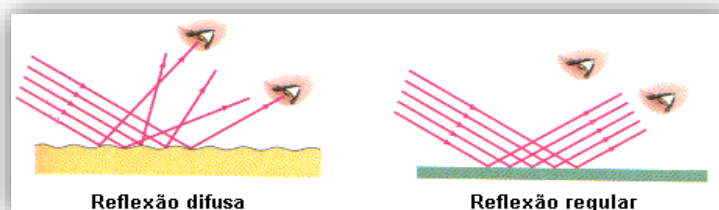


Figura 11 - Reflexão

## Difração

Difração é um fenômeno de dispersão da onda em torno de um obstáculo que ocorre com ondas eletromagnéticas e com partículas que se comportam como ondas.

Por trás do obstáculo se formará uma zona de interferência (onde as ondas se sobrepõem, podendo tanto se reforçarem como se cancelarem), enquanto a parte desobstruída do bordo anterior da onda prossegue em sua direção original. Quando a onda incide nos limites do objeto, curva-se para trás dele, de maneira que uma pequena quantidade de energia é propagada para dentro da zona de sombra (área de interferência). No caso de ondas de luz, os limites do objeto não apresentarão sombra nítida, e sim um borrão ou penumbra, formando atrás da obstrução uma área de pouca luminosidade, porém, certamente, mais clara que a ausência total de luz.

Portanto, difração é a mudança da direção da onda quando ela passa junto a um obstáculo. Seu efeito prático é uma diminuição na potência do sinal na área de sombra, e um padrão perturbado numa curta distância fora dessa área sombreada. A difração tem valor máximo quando o comprimento do obstáculo é igual ao comprimento da onda. A quantidade de difração é inversamente proporcional à frequência, sendo maior nas frequências muito baixas. Uma onda de 900 MHz com  $\sim 30$  cm de comprimento de onda, difrata muito mais que uma de 24 GHz, cujo comprimento de onda é de  $\sim 1$  cm. Na zona de sombra o sinal de rádio somente será recebido de forma fraca e entrecortado.

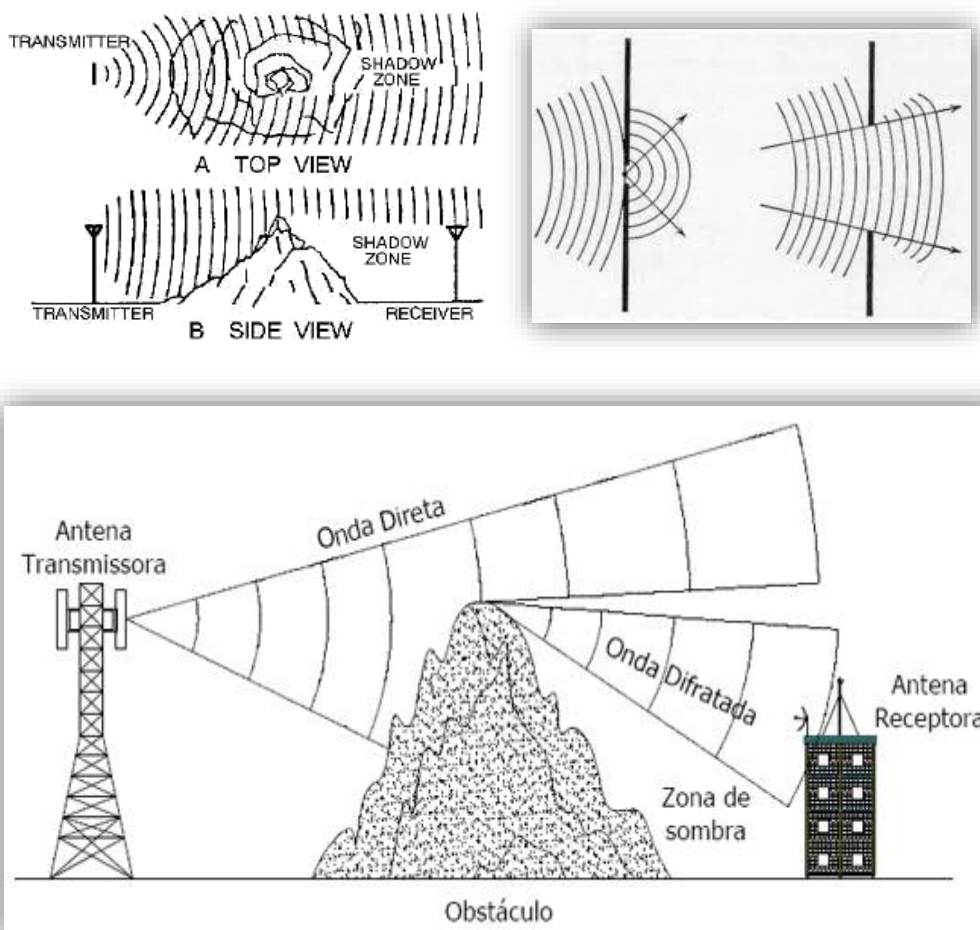


Figura 12 - Difração

## Absorção ou Atenuação

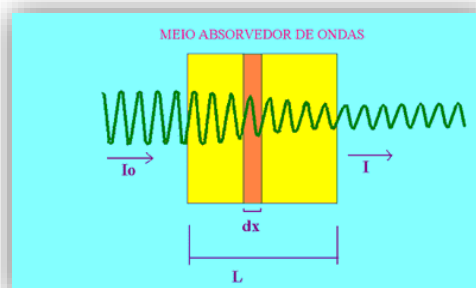
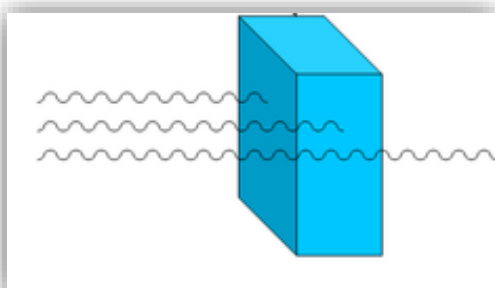
A propagação de ondas através de qualquer meio diferente do vácuo é sempre acompanhada de perdas causadas pela absorção de potência pelas partículas do meio. Assim, apenas as ondas eletromagnéticas ao se propagarem no vácuo não são atenuadas pela absorção.

As ondas eletromagnéticas, ao se propagarem na atmosfera, são afetadas pela absorção. O vapor d'água e as moléculas de oxigênio existentes na atmosfera são os principais responsáveis pela absorção de energia. Os efeitos da absorção crescem com o aumento da frequência, devido à relação inversamente proporcional da frequência e comprimento de onda.

Perturbações atmosféricas, como chuvas e nuvens, que aumentam muito a densidade de umidade do ar, causam atenuações substanciais nas frequências mais elevadas da faixa de rádio e micro-ondas.

As ondas terrestres, além de perderem energia para o ar, também perdem para o terreno. A onda é refratada para baixo e parte de sua energia é absorvida. Como resultado dessa primeira absorção, a borda anterior da onda é curvada para baixo, resultando numa nova absorção. Com a repetição do processo, a onda vai perdendo energia gradualmente.

A absorção é maior em uma superfície que não seja boa condutora. Relativamente pouca absorção ocorre quando a onda se propaga sobre a superfície do mar, que é uma excelente condutora. Assim, as ondas terrestres de frequência muito baixa, percorrem grandes distâncias sobre os oceanos.



## Polarização das ondas

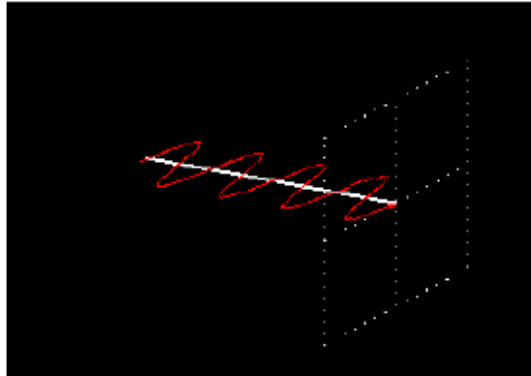
As ondas eletromagnéticas são uma forma de energia oscilatória constituída por campos elétrico e magnético que se propagam no espaço. Se essas ondas estão num mesmo plano, ou seja, se os deslocamentos estão sempre no plano XY, diz-se que o movimento ondulatório é polarizado linearmente (termo linear visto em alguns datasheets). Se o plano estiver na vertical, a polarização será vertical; se estiver na horizontal, será horizontal. Essa classificação sempre toma como referência a superfície terrestre para definir o que é horizontal ou vertical.



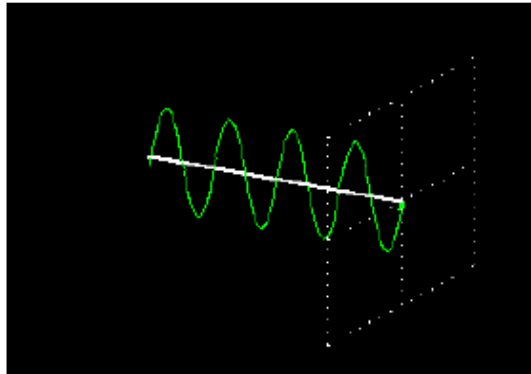
Mais adiante você estudará sobre os tipos de antenas. Uma antena Omnidirecional sempre possui polarização vertical, pois o que manda na polarização é a posição do campo elétrico, ou seja, do dipolo que gera essa onda, que nas Omnis geralmente é posicionado verticalmente.

A polarização de uma onda eletromagnética pode ser expressa das seguintes maneiras:

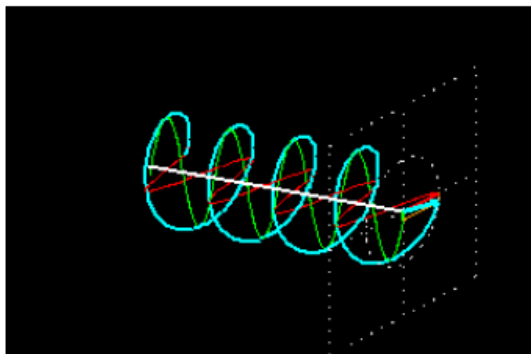
- Polarização horizontal



- Polarização vertical



- Polarização circular



## Espectro Eletromagnético

É o conjunto das frequências conhecidas para as ondas eletromagnéticas. O **espectro eletromagnético** está dividido de acordo as frequências.

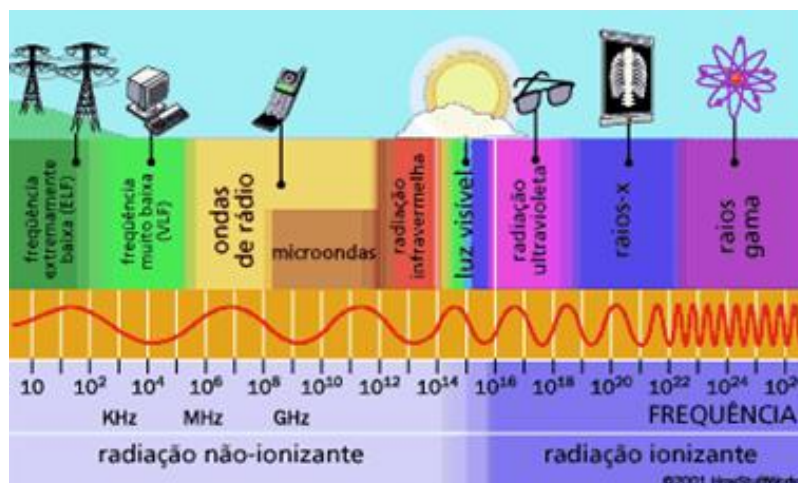


Figura 13 - Espectro eletromagnético



Conheça mais sobre o espectro eletromagnético através do link [http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_eletromagn%C3%A9tico](http://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagn%C3%A9tico)



Para facilidade de referência, o espectro das ondas de rádio é dividido nas oito faixas de frequência vistas na gravura acima, cujas principais aplicações na navegação eletrônica e comunicações marítimas são:

- VLF – (*Very Low Frequency* = frequência muito baixa): nessa faixa estão incluídas todas as frequências de rádio menores que 30 kHz;
- LF – (*Low Frequency* = baixa frequência): nessa faixa, compreendida entre 30 e 300 kHz, situam-se os sistemas DECCA, LORAN-C e a maioria dos radiofaróis;
- MF – (*Medium Frequency* = média frequência): nessa faixa, compreendida entre 300 kHz e 3 MHz, encontramos algumas estações de radiofaróis e as estações de “broadcast”;
- HF – (*High Frequency* = alta frequência): essa faixa, compreendida entre 3 MHz e 30 MHz, é usada, principalmente, para comunicações a longa distância (avisos aos navegantes, previsões meteorológicas);
- VHF – (*Very High Frequency* = frequência muito alta): essa faixa, compreendida entre 30 MHz e 300 MHz, é usada para comunicações de curtas e médias distâncias (navio-navio e navio-terra), além de radiogoniométrica em VHF;
- UHF – (*Ultra High Frequency* = frequência ultra-alta): essa faixa inclui frequências entre 300 MHz e 3.000 MHz, e é usada nas comunicações de curta distância e em algumas transmissões de radar (final da faixa). Além disso, é usada pelo Sistema GPS de navegação por satélite;
- SHF – (*Super High Frequency* = frequência super-alta): essa faixa inclui frequências entre 3.000 MHz e 30.000 MHz, e é usada em TV por satélite;
- EHF – (*Extremely High Frequency* = frequência extra-alta): essa faixa inclui frequências de 30.000 MHz a 300.000 MHz. Tanto essa, quanto a faixa anterior (SHF), são usadas quase que exclusivamente em radares de elevada precisão.

## Impedância

Também conhecida como impedância elétrica, a impedância é uma grandeza que indica a oposição em que um circuito ou material tem em relação à passagem do fluxo de uma corrente elétrica. A impedância é expressa em *Ohms*, assim como a resistência elétrica, porém, a impedância é constituída de uma parte real, a resistência propriamente dita e uma parte imaginária, dada pela **reatância**.



**Reatância (português brasileiro) ou reactância (português europeu) é a resistência oferecida à passagem de corrente alternada por um indutor ou capacitor num circuito. É dada em Ohms que constitui juntamente com a resistência elétrica a grandeza impedância.**

Quando enviamos um sinal, o ideal é que todo este sinal seja transmitido e que chegue ao receptor, correto? Uma preocupação que devemos ter é com o casamento de impedância, ou seja, a adaptação de impedâncias dentro de um sistema de transmissão. Sendo assim, temos que “ajustar” a impedância dos meios em que o sinal irá trafegar, deixando-os iguais e não permitindo que uma parte deste sinal seja refletida e retorne.

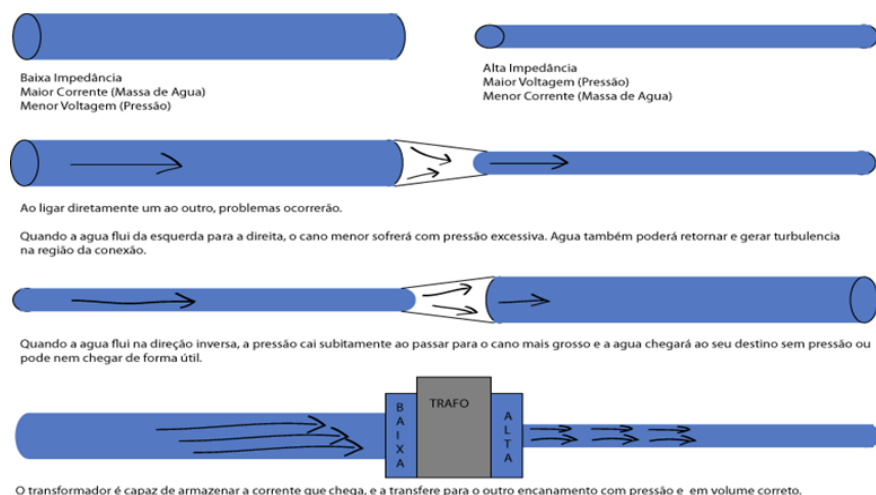


Figura 14 - Impedância

## Relação Sinal/Ruído

A relação sinal ruído é a diferença entre o sinal recebido e o ruído recebido pelo rádio.

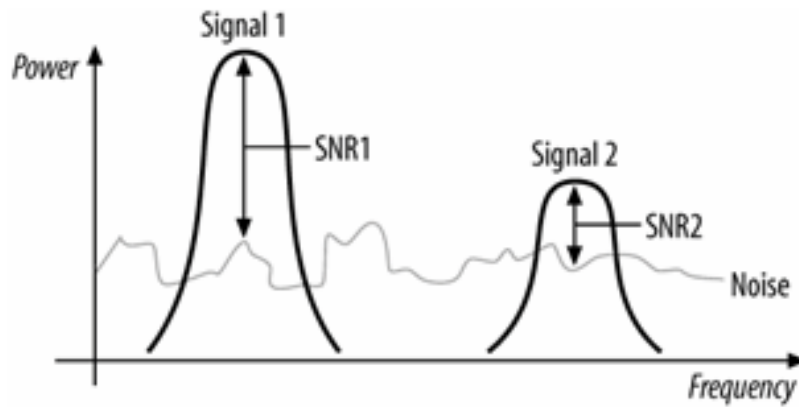


Figura 15 - Relação Sinal Ruído

Um rádio que recebe um sinal de -50dBm e detecta um ruído de -85dBm, está com SNR de 35dB.

Quanto maior esta diferença, mais fácil para o receptor “entender” a informação transmitida.

Existem duas formas de melhorar o SNR em um enlace:

Atenuar o ruído ou aumentar a potência do transmissor, no entanto é preciso analisar qual a melhor alternativa para cada caso.

## Instrumentos que medem as frequências

### Frequencímetro

Apresenta numericamente a frequência da OEM. Este instrumento é utilizado em medições simples



Figura 16 - Frequencímetro

### Osciloscópio

Opera no que chamados de domínio do tempo, ou seja, ele pode exibir o tempo que cada onda completa um ciclo, ou a frequência dela.

Mede também a amplitude da onda eletromagnética

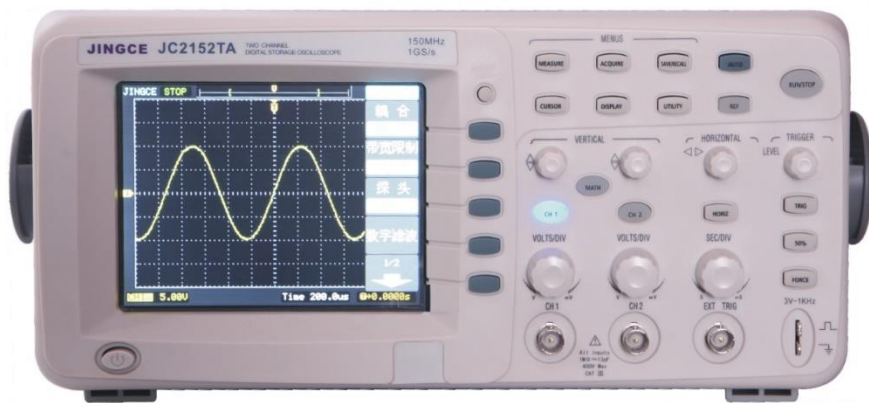


Figura 17 - Osciloscópio

Osciloscópios não servem para medir precisamente sinais WiFi que usam modulações complexas, estes sinais devem ser analisados com o Analisador de Espectro.

### Analizador de Espectro

Este instrumento opera no domínio das frequências, ou seja, como o nome diz, exibe o espectro de frequências nas quais ele está configurado.

O Analisador de Espectro, fornece medidas precisas de densidade espectral de potência, largura de canais, harmônicas, relação sinal/ruído, além de permitir visualizar sinais interferentes.



Figura 18 - Analisador de Espectro

## Módulo 2 - Antenas

Definimos antena como um equipamento que transfere energia eletromagnética guiada pelo

cabo de transmissão (meio físico) em energia eletromagnética irradiada (meio atmosférico) e vice-versa.

Toda antena possui seu parâmetro de ganho.

O parâmetro de ganho está relacionado com a capacidade que a antena possui para direcionar a potência irradiada em uma dada direção. O ganho de uma determinada antena é representado pela unidade dBi. Esta unidade descreve a capacidade da antena irradiar o sinal em uma direção em relação a um modelo matemático chamado de antena isotrópica.

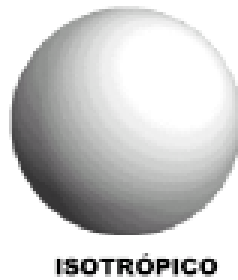


Figura 19 - Modelo isotrópico

Quando dizemos que uma antena possui ganho de 18dBi, significa que esta antena irradia 18dB a mais para uma determinada direção, que uma antena isotrópica irradiaria.

### Diagrama de Irradiação

Para melhor entendimento de cada tipo de antena, ela está sempre vinculada a um diagrama de irradiação. Podemos definir um diagrama de irradiação como sendo uma representação gráfica que exhibe as propriedades de radiação ou recepção de uma antena.

O diagrama de irradiação de uma antena, para ser melhor visualizado, é normalmente representado pela distribuição de energia nos planos elétrico e magnético, ditos Plano E e Plano H, respectivamente. Repare que existem diversos nomes para esses planos. Conheça os nomes, evite confusões:

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Horizontal (vista de cima)   | Vertical (vista de lado ou frente)        |
| Também conhecido por Azimute | Também conhecido por Elevação (ou Zenith) |

Podemos verificar as seguintes formas de demonstrar um diagrama de irradiação conforme imagem a seguir:

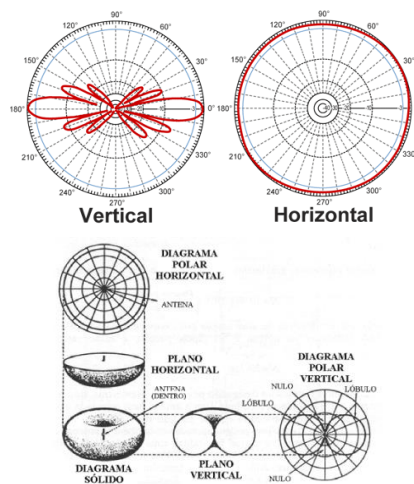


Figura 20 - Diagrama de irradiação polar

### Ângulo de abertura

As antenas possuem outra característica muito importante que define a qual tipo pertence o ângulo de meia potência. O ângulo de meia potência ou abertura angular é definido pelos feixes nos quais a potência radiada é metade do valor de potência na direção de máxima radiação. É também conhecida como largura de feixe de -3 dB. Quanto menor for a largura de feixe a -3 dB (ângulo de meia potência), maior será a diretividade da antena..

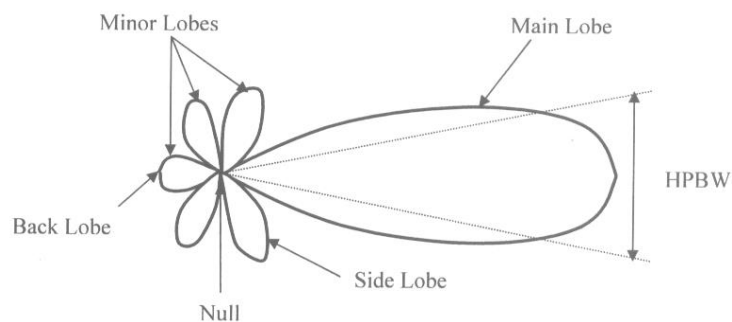


Figura 21 - Ângulo de meia potência

Por exemplo:

Uma antena de 18dBi e 90° alimentada com um transmissor de 0dBm irradiará no seu ângulo de máxima potência 18dBm. A 45° à direita ou à esquerda, esta antena irradiará 15dBm

### Relação Frente Costas

Uma característica a se notar na qualidade de uma antena é a sua relação frente-costas (representada em dB). A relação frente-costa é definida pela razão entre a quantidade de energia irradiada para frente da antena e a quantidade de energia irradiada para trás. À medida que esta relação aumenta, aumentará a diretividade da antena e seu ganho.

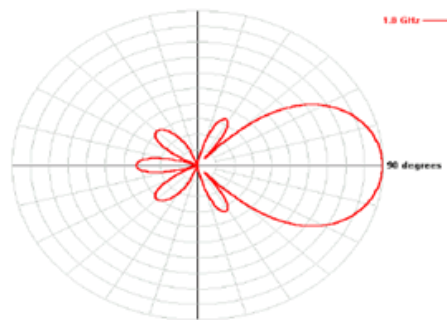


Figura 22 - Relação Frente Costas

## Resposta em frequência

A resposta em frequência descreve o ganho de um dispositivo, em função da frequência de operação.

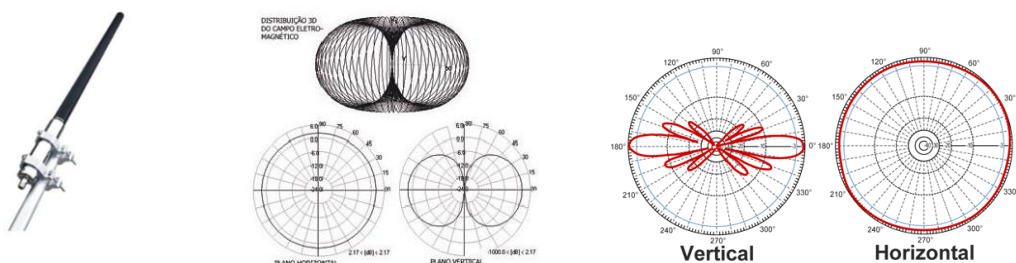
Em uma antena, o gráfico de resposta em frequência ajuda na análise do canal no qual o sistema transmitirá o máximo de potência.

## Tipos de antenas

Existem diversos tipos de antenas disponíveis no mercado, algumas delas até mesmo de fabricação caseira, o que não é recomendado. Prepare-se para ver algumas das mais utilizadas em aplicações *Wireless Outdoor*.

### Antenas Omnidirecionais

Existem diversos tipos de antenas omnidirecionais. Contudo, em sua maioria são antenas que irradiam uniformemente no plano de azimuth (horizontal, vista de cima). Antenas omni de maior ganho podem ser formadas por vários elementos radiantes alimentados em fase. Acompanhe na figura a seguir, à esquerda, um diagrama de irradiação de menor ganho, e em vermelho à direita um diagrama omnidirecional de maior ganho.



### Antenas Setoriais

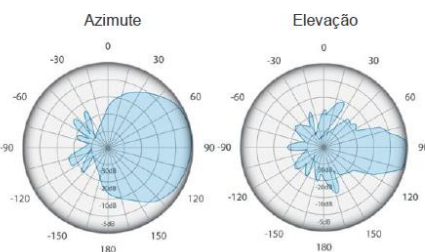
Uma das maneiras de compor antenas setoriais é formar um conjunto de dipolos alimentados



em fase, e uma chapa refletora. Mas também existem antenas do tipo patch, também conhecidas como antenas *microstrip*, que seria uma camada retangular de metal montada sobre um painel de base liso. Esse arranjo, por ser um tanto quanto sensível, usualmente é acomodado dentro de um *housing* plástico para protegê-lo. Antenas setoriais geralmente são utilizadas para enlaces ponto – multiponto, onde o ângulo de abertura da antena atende a uma determinada região geográfica.

O ganho e o ângulo de abertura de um painel dependem das dimensões da chapa refletora, da quantidade de elementos radiantes e também da distância e eficiência na alimentação dos mesmos. Essa alimentação geralmente é bastante complexa.

Podem ser construídas com elementos radiantes na polarização vertical, horizontal ou 45 graus. O refletor em uma antena setorial serve tanto para transmissão quanto para recepção das ondas eletromagnéticas.



## Antenas Direcionais

Esse tipo de antena tem o mesmo princípio de funcionamento das setoriais que você acabou de conhecer. Contudo, direcionam ainda mais a energia, fechando assim seu diagrama de irradiação.

A Intelbras oferece diversos equipamentos de rádio, alguns deles possuem antena integrada direcional. Um exemplo de rádio com antena direcional integrada é o equipamento PTP-5-23 MiMo PRO.

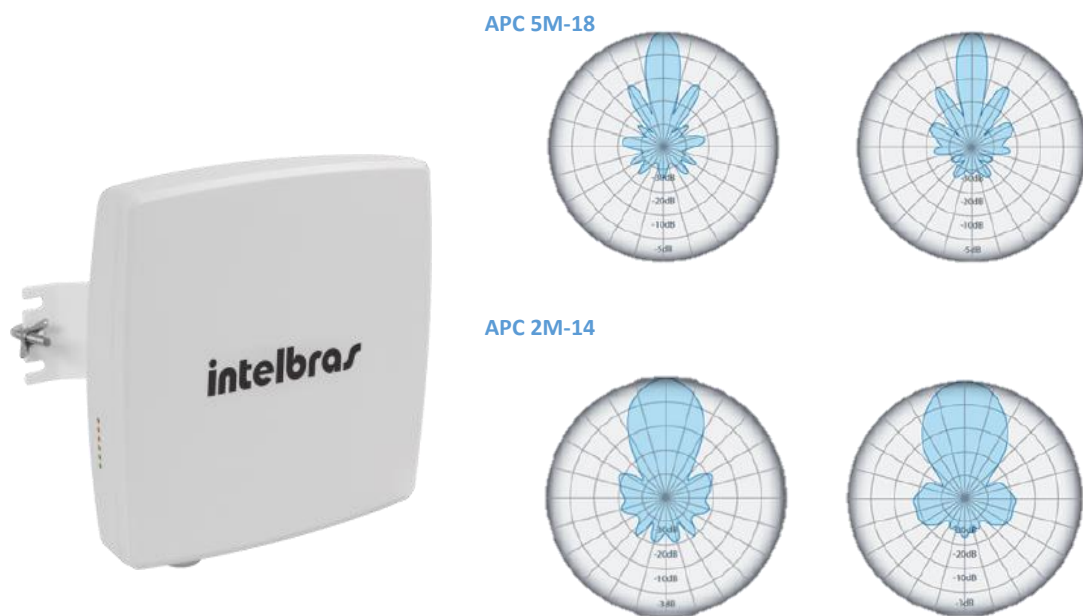


Outros rádios podem ter uma antena (alimentador) que ilumina um refletor parabólico, como é o caso do APC 5M usando antena externa. Este refletor, por sua vez, irradia essa energia na direção de máximo ganho. O refletor em uma antena direcional serve tanto para transmissão quanto para recepção das ondas eletromagnéticas.

Seu ganho é elevado, logo, apresenta pequeno ângulo de abertura e exige certo cuidado na hora de fazer o alinhamento. São utilizados para enlaces PTP ou PTMP de grandes distâncias. Sua polarização em geral é linear e o ajuste é obtido através do giro de 90 graus do alimentador e do refletor. Em alguns modelos esse ajuste é feito pelo software.

Nas parabólicas sólidas, gira-se apenas o alimentador. As antenas parabólicas podem ter refletores do tipo sólido ou vazado. Quanto à posição de alimentação, pode ser do tipo focal *point* ou *offset*.

Existem vários tipos de alimentação, mas o fundamental é que o diagrama de irradiação do alimentador coincida com as bordas do refletor.



## Módulo 3 – Transmissão de dados

### Modulação

Modulação é o processo de variação de altura (amplitude), intensidade, frequência, comprimento e/ou da fase de onda numa onda de transporte, ou onda portadora, de modo que transporte características de um sinal à transmitir (amplitude, fase ou frequência). Estes aspectos da onda portadora variam proporcionalmente ao sinal à transmitir.

Em telecomunicações, é a modificação de um sinal eletromagnético antes de ser irradiado, de forma que este transporte informe através de uma onda portadora. Sempre que estivermos estudando sobre modulação, estamos nos referindo ao processo **de transmissão**.

Algumas obras de referência definem modulação como sendo o processo na qual a informação é adicionada em ondas eletromagnéticas. É assim que qualquer tipo de informação, tais como a voz humana, transação de dados numa aplicação interativa, até mesmo as imagens de uma câmera de vídeo são transmitidas em ondas eletromagnéticas. O transmissor adiciona a informação numa onda básica, também conhecida por onda portadora (do inglês *carrier*), de tal forma que poderá ser recuperada no dispositivo receptor, através de um processo reverso, conhecido por demodulação.

O dispositivo que realiza a modulação é chamado modulador. Basicamente, a modulação consiste em fazer com que um parâmetro da onda portadora mude de valor de acordo com a variação do sinal modulante, que é a informação que se deseja transmitir. Desse processo surgiu o nome MODEM – que nada mais é que um dispositivo capaz de modular e demodular sinais.

### Modulações analógicas

Dentre as modulações analógicas destacam-se:

#### Modulação em Amplitude (AM)

A amplitude de uma portadora varia de forma diretamente proporcional à amplitude do sinal a transmitir (sinal modulante). Este tipo de modulação é muito utilizado na radiodifusão de áudio e de sinais de televisão.

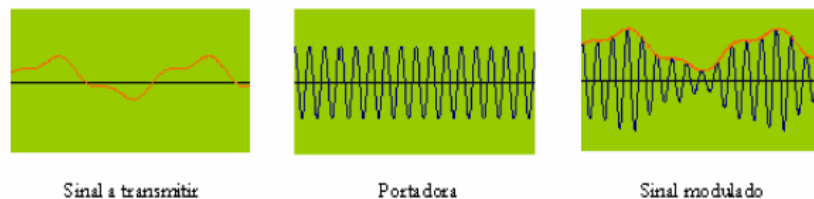


Figura 23 - Modulação AM

#### Modulação em Frequência (FM)

Consiste na variação da frequência de uma portadora de forma diretamente proporcional à amplitude do sinal a transmitir (sinal modulante). Assim, os sinais modulados em FM são mais imunes a ruídos e a interferências que os sinais AM, pois a informação é transportada pela frequência do sinal modulado e não pela amplitude da portadora.

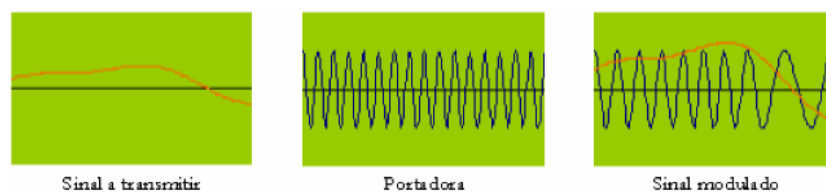


Figura 24 - Modulação FM

## **Modulações digitais**

Usando técnicas de modulação digital, é possível transmitir informações digitais (zero e um) usando ondas portadoras analógicas. Os métodos são semelhantes às modulações analógicas que acabamos de estudar. Veja mais a seguir.

Dentre as modulações digitais destacam-se:

### **Amplitude Shift Keying (ASK)**

Nesta técnica de modulação, varia-se a amplitude da onda portadora analógica, permitindo assim que uma determinada amplitude represente o dígito binário ZERO (0) e outra amplitude menor represente o dígito binário UM (1). A frequência e a fase da onda permanecem sem alteração, ou seja, são constantes.

As características que se destacam nesta técnica de modulação são: a simplicidade de implantação e a reduzida largura de banda necessária para transmissão. Porém, este tipo de modulação é mais sujeita a interferências, em comparação com as demais modulações digitais. Essas interferências podem acontecer devido ao ruído atmosférico, distorções, dentre outros.

### **Frequency Shift Keying (FSK)**

Nessa técnica de modulação, varia-se a frequência da onda portadora analógica, permitindo assim que uma determinada frequência represente o dígito binário ZERO (0) e outra frequência represente o dígito binário UM (1). Essa técnica anteriormente utilizava apenas duas frequências, uma para cada dígito (zero ou um). Com o progresso dos estudos, esse método que usa apenas duas frequências passou a ser chamado de BFSK (*Binary Frequency Shift Keying*), e a FSK passou a modular mais de um dígito binário por valor usando diferentes frequências. Por exemplo:

Frequência X representa 00

Frequência Y representa 01

Frequência Z representa 10

Frequência W representa 11

Esta técnica de modulação possui uma robustez maior em relação à interferência, contudo, necessita de uma largura de banda maior para seu bom desenvolvimento.

### **Phase Shift Keying (PSK)**

A técnica de modulação PSK é o processo pelo qual se altera a fase da onda portadora analógica em função do sinal digital a ser transmitido. A frequência e a amplitude da onda permanecem sem alteração, ou seja, são constantes.

Quando ocorrer uma transição de nível lógico do sinal digital a ser transmitido (sinal modulante), haverá uma mudança de 180 graus em relação ao ângulo anterior, fisicamente falando, na fase da onda portadora analógica. A transição observada pode ser tanto de nível lógico "0" para "1" como de nível lógico "1" para "0". Em algumas fontes vemos essa técnica sendo chamada de BPSK (*Binary Phase Shift Keying*).

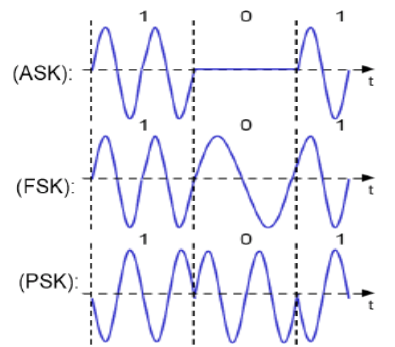


Figura 25 - Modulação Digital em Fase

### Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

Neste método de modulação são combinadas as características da modulação por **fase** e da modulação por **amplitude**. Assim, mediante a combinação de duas modulações, são transmitidas muito mais informações pela mesma onda portadora analógica.

É importante ressaltar que M corresponde à quantidade de símbolos (M-QAM), ou seja, em uma modulação 16-QAM são transmitidos 4 *bits* em cada símbolo.

#### DIGITAL QAM (8QAM)

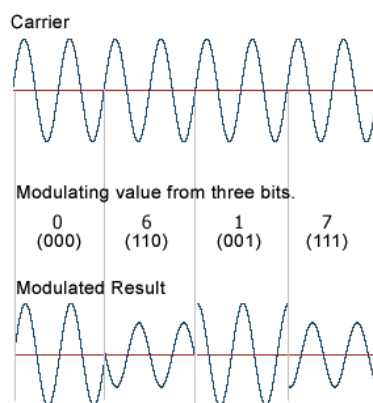


Figura 26 - Modulação digital em fase e amplitude

Em modulação QAM quanto maior a quantidade de símbolos utilizados, maior será a velocidade de transmissão de informações. Atualmente existem equipamentos tanto SiSo quanto MiMo

equipados com modulação na ordem de até **64-QAM**. Essas tecnologias estão em constante evolução.

### Zona de Fresnel

É uma das elipsoides que definem a forma ou o padrão de irradiação do sinal sem fio.

Zona de Fresnel determina a área em torno da linha de visada que não pode ser obstruída para que o sinal transmitido não seja prejudicado antes de alcançar o receptor.

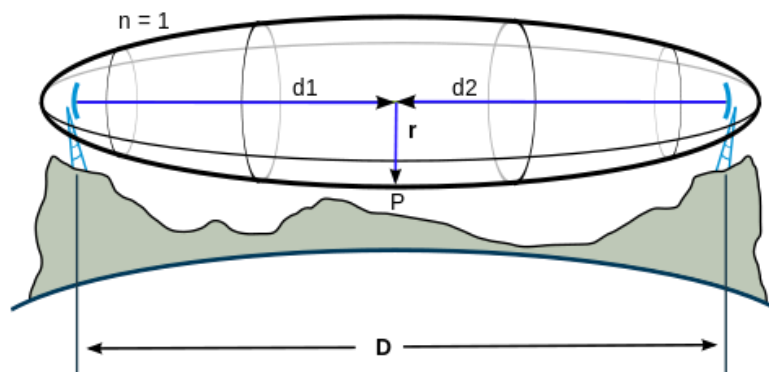


Figura 27 - Zona de Fresnel

A dimensão desta zona pode ser calculada à partir da distância do enlace e da frequência.

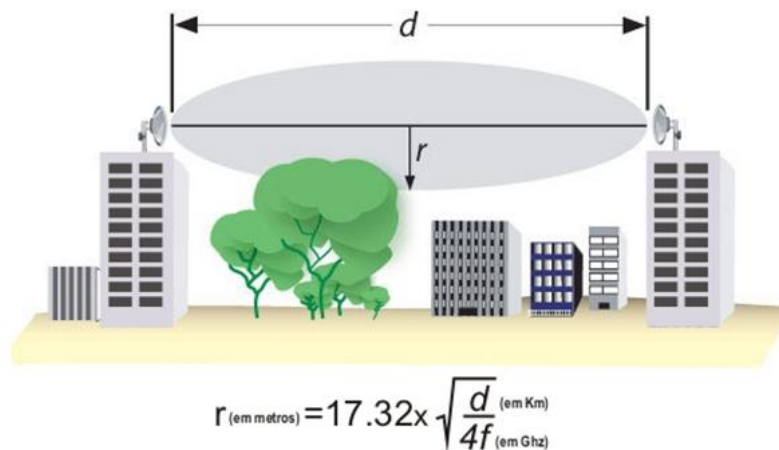


Figura 28 - Cálculo da Zona de Fresnel

Para que um enlace não tenha sua visada prejudicada, é fundamental que pelo menos, 60% da zona de Fresnel esteja desobstruída.

### Cálculo de Friis

### Bits e Bytes

Toda comunicação digital é baseada na transmissão e recepção dos dígitos 0 e 1, é daí que vem o nome “Digital”.

### **Unidades de medida de tráfego**

A contagem de bits enviados de um transmissor para um receptor, em um segundo é chamada de tráfego ou bit rate.

Este tráfego pode ser representado por diversas unidades de medida, dependendo do seu volume ex.

100 bits em 1 segundo = 100bps

1 000 bits em 1 segundo = 1 Kilobit por segundo = 1Kbps

1 000 000 em 1 segundo = 1 Megabit por segundo = 1Mbps

1 000 000 000 em 1 segundo = 1 Gigabit por segundo = 1Gbps

\*\*\*\* na medida de bits por segundo, a letra b sempre é minúscula\*\*\*\*

Em alguns casos, a unidade de medida pode ser feita por um agrupamento de 8 bits. Este agrupamento é chamado de Byte.

1 Byte = 8 bits

1 000 Bytes em 1 segundo = 1KBps = 8Kbps

\*\*\*\*Quando a medida é feita em Bytes, a letra B sempre será maiúscula\*\*\*\*

\*\*\*\*\*Aqui abordamos unidades de medida baseadas no SI (Sistema Internacional)\*\*\*\*\*

## Módulo 4 – O que é um Rádio

### **Diagrama em blocos**

Rádio “Transceptor” um equipamento desenvolvido para converter, modular e transmitir e receber uma informação por meio de ondas eletromagnéticas.

O diagrama abaixo descreve os blocos que compõem o circuito de um rádio WiFi

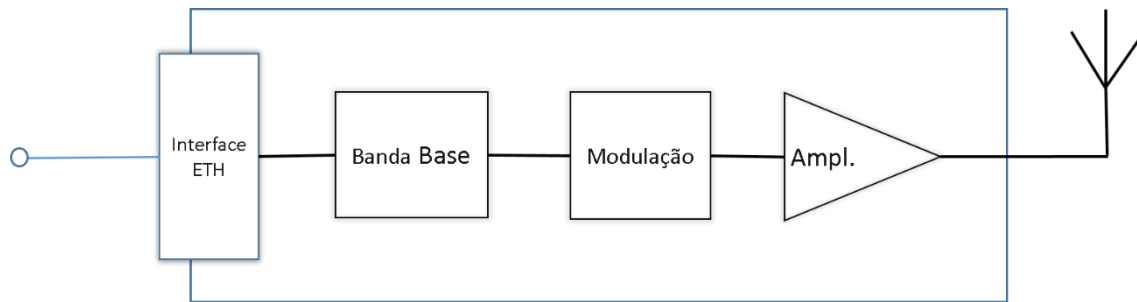


Figura 29 -Diagrama em blocos de um radiotransmissor

## Amplificador

Circuito responsável por receber o sinal modulado do bloco anterior, e amplificá-lo até um nível de potência que possa ser transmitido pela antena.

A especificação de “Potencia de Transmissão “ de um rádio, é definida pela potência deste amplificador.

## Banda Base

É a parte lógica do circuito, é nesta etapa, que a informação a ser transmitida é convertida nos protocolos e padrões WiFi definidos pelo IEEE, e enviados ao bloco de modulação.

## Canais

O espectro de frequência é dividido em faixas já vistas anteriormente. Estas faixas, por sua vez, são subdivididas e distribuídas dentro de uma banda. Essas pequenas divisões são conhecidas como canais. Os canais correspondem a um valor de 20-22 MHz, mas a distância entre si corresponde a 5 MHz. Consequentemente, um canal interfere no outro.

A frequência 2.4 GHz trabalha dentro da banda 2.412 – 2.484.

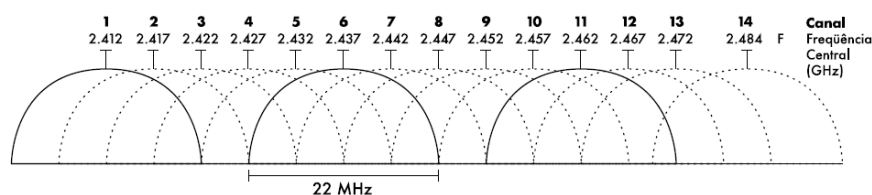


Figura 30 - Canais da frequência 2,4 GHz

Se repararmos na figura acima, a frequência 2,4 GHz utilizando 20-22 MHz (varia dependendo do protocolo utilizado) de largura de canal oferece 13-14 canais (dependendo do país e do protocolo) e permite apenas 3 opções possíveis de canal sem interferência entre si (canais não sobrepostos). São eles os canais 1, 6 e 11. Essa limitação, somada ao número crescente de equipamentos, é o que torna sua utilização, em âmbito outdoor, um processo que exige cuidados especiais, como a escolha do melhor canal a ser utilizado em seus enlaces, evitando assim interferências indesejadas.

Para expandir a utilização de equipamentos que utilizam o espectro de frequências, houve a necessidade de adotar uma nova frequência, no caso a 5 GHz. A frequência 5 GHz oferece muito



mais canais do que os 13 canais disponíveis na 2,4 GHz. Em 5 GHz a banda de frequência é 5.151 - 5.825. A maior limitação da frequência 5 GHz nos dias de hoje é a não compatibilidade com os padrões adotados para equipamentos de consumo, tais como *smartphones*, *tablets* e *notebooks*. Mas a tendência é que em breve tenhamos este suporte mais difundido.

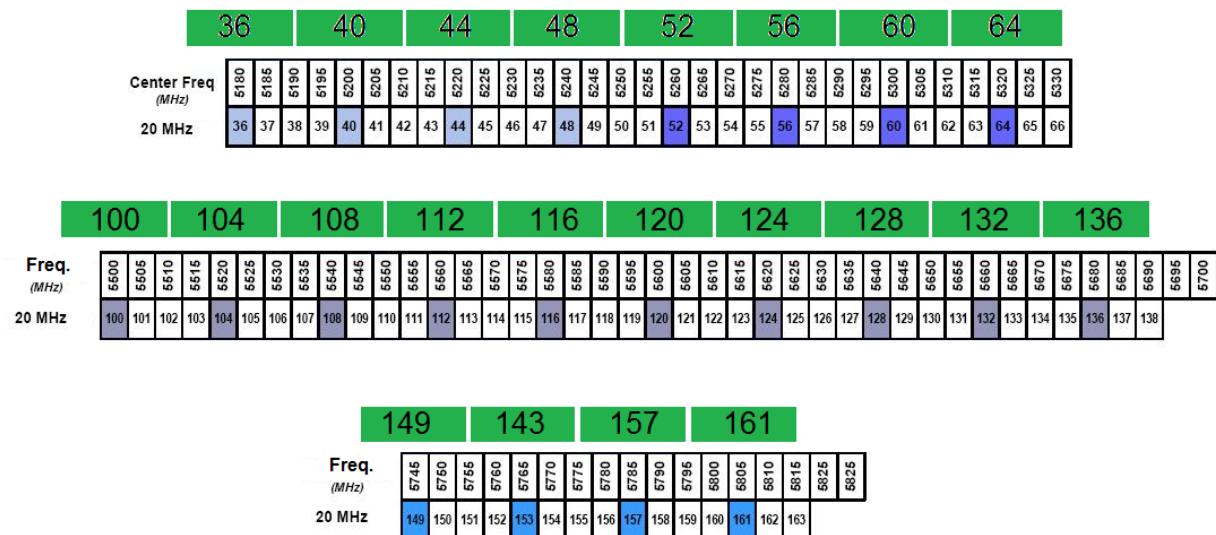


Figura 31 - Canais da frequência 5 GHz

Os canais grifados em verde na figura acima, são os canais não sobrepostos da frequência 5 GHz usando largura de canal de 20 MHz. Existe alguma variação entre 22 a 24 canais não sobrepostos, dependendo da legislação do país em que se está trabalhando.

Perceba que ora fala-se em 20 MHz, ora 22 MHz. Afinal são 20 ou 22 MHz? Essa definição varia de acordo com protocolo que está sendo utilizado. Por exemplo:

- 802.11b - 11 Mbps, 22 MHz
- 802.11g - 54 Mbps, 20 MHz
- 802.11n - 65-260/150-600 Mbps, 20/40 MHz

## MIMO

MIMO = Multiple Input Multiple Output é um mecanismo implementado em alguns dispositivos que tem como objetivo aumentar o tráfego de dados entre um transmissor e um receptor.

Dispositivos com este recurso, possuem múltiplos transmissores e receptores que transmitem múltiplos fluxos de informação simultaneamente.

Por exemplo:

Um rádio 802.11n com uma antena SISO, pode transmitir dados à uma velocidade máxima de 150 mbps, já um rádio 802.11n com MIMO, terá duas antenas e conseguirá um tráfego máximo de até 300 mbps

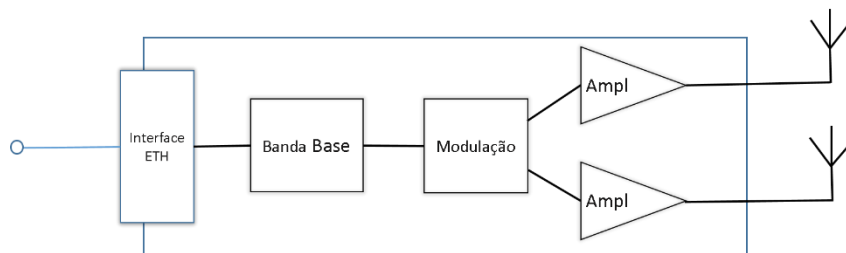


Figura 32 - Diagrama em blocos de radiotransmissor MIMO

Para que esta velocidade seja alcançada, o receptor também deve possuir o recurso MIMO, caso contrário, a velocidade será limitada pelo menor.

### EIRP

Effective Isotropic Radiated Power é a potência total irradiada pelo conjunto Rádio + Antena.

Comumente, lemos especificações de rádios com antena integrada, que descrevem somente a potência de saída do transmissor, no entanto, em uma comunicação de rádio, somente a medida de potência não significa muita coisa, é importante conhecermos a potência total irradiada pelo equipamento.

No cálculo de Friis descrito anteriormente, para calcular o nível de sinal recebido em um enlace, é preciso considerar a potência de saída do transmissor e o ganho da antena.

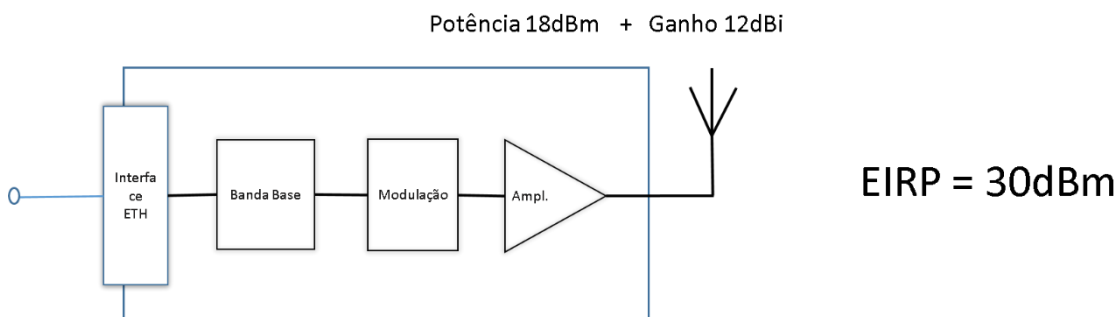


Figura 33 - EIRP

### Padrão IEEE802.11

Com o crescente interesse pela tecnologia *wireless*, o **IEEE** (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) constituiu um grupo de pesquisa para criar padrões de comunicações abertos a fim de fomentar ainda mais a utilização desta tecnologia no mundo.



Se você quiser conhecer mais sobre o IEEE, acesse: [www.ieee.org.br](http://www.ieee.org.br)



Conheça a seguir os padrões IEEE802.11 mais utilizados:

### IEEE802.11b

O primeiro padrão fomentado pelo grupo de pesquisa do IEEE foi o padrão IEEE802.11b, também conhecido como *Wi-Fi* ou *Wireless Fidelity*. Foi criado para alcançar um grande escritório. Para a operação deste padrão, foi utilizada a frequência 2,4 GHz (ISM - *Industrial, Scientific & Medical*). Este padrão entrega taxa de transmissão igual ou superior a 11 Mbit/s.

### IEEE802.11a

O padrão IEEE802.11a traz duas grandes vantagens frente ao padrão IEEE802.11b: sua taxa de transmissão de 54 Mbit/s e a utilização de frequência 5 GHz. No entanto, na prática, seu valor efetivo de transmissão é tipicamente 25 Mbit/s.

### IEEE802.11g

A maior taxa de transmissão virou um atrativo para o padrão IEEE802.11a. Mas a incompatibilidade com a frequência de funcionamento do já adotado padrão IEEE802.11b trouxe a necessidade de um novo padrão com taxa de transmissão maior e compatível com padrão já adotado. Assim, nasceu o padrão **IEEE802.11g**, com taxa nominal equivalente ao IEEE802.11a, 54 Mbit/s, e atuando com frequência 2,4 GHz.



O protocolo IEEE802.11g, apesar de ser compatível com o padrão IEEE802.11b, quando ambos se encontram no mesmo sistema, o padrão 802.11b é mandatório limitando o sistema a uma taxa de 11 Mbps.

### IEEE802.11n

Em 2004 o IEEE percebeu a necessidade de um padrão de comunicação que se igualasse à taxa nominal em redes cabeadas (100 Mbit/s). Com isso, nasceu o padrão de comunicação IEEE802.11n, finalizado em 2010, que entrega taxas nominais de 150 Mbit/s e oferece a possibilidade de utilizar equipamentos MiMo. Com a utilização de MIMO 2x2, tanto em nível lógico como em nível físico (arranjo de antenas que será estudado posteriormente), temos taxas nominais de 300 Mbit/s. Em equipamentos MiMo 4x4 é possível entregar taxa de transmissão de 600 Mbit/s. Outra vantagem do padrão 802.11n é a possibilidade de se adequar tanto para a frequência 2,4 GHz quanto para a 5 GHz, lembrando que essas frequências são incompatíveis entre si. O padrão 802.11n em 2,4 GHz é totalmente compatível aos padrões anteriores (802.11b e 802.11g passando a se chamar de *legacy*) e em 5 GHz é compatível com o padrão 802.11a.

© Intelbras S/A – Indústria de Telecomunicação Eletrônica Brasileira

Este material foi desenvolvido pelo Centro de Capacitação em Tecnologia Intelbras – iTEC – exclusivamente para o Treinamento EAD – Conceitos de Radiofrequência.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização expressa da Intelbras.