

# TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES



MÓDULO III  
RÁDIO DIFUSÃO



2025 - INEPROTEC

|                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| Diretor Pedagógico | EDILVO DE SOUSA SANTOS  |
| Diagramação        | MICHEL MARTINS NOGUEIRA |
| Capa               | MICHEL MARTINS NOGUEIRA |
| Elaboração         | INEPROTEC               |

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para [contato@ineprotec.com.br](mailto:contato@ineprotec.com.br).

**VERSÃO 2.0 (01.2025)**

Todos os direitos reservados à  
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli  
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja  
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF  
E-mail: [contato@ineprotec.com.br](mailto:contato@ineprotec.com.br)  
[www.ineprotec.com.br](http://www.ineprotec.com.br)

# Sumário

## ABERTURA

## SOBRE A INSTITUIÇÃO

- Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente
- Missão
- Visão
- Valores

## SOBRE O CURSO

- Perfil profissional de conclusão e suas habilidades
- Quesitos fundamentais para atuação
- Campo de atuação
- Sugestões para Especialização Técnica
- Sugestões para Cursos de Graduação

## SOBRE O MATERIAL

- Divisão do Conteúdo
- Boxes

## BASE TEÓRICA

## INTRODUÇÃO

## RADIODIFUSÃO E RADIOTRANSMISSÃO

- Radiodifusão
- Radiotransmissão

## ONDAS DE RÁDIO

- Definição
- Natureza da onda de rádio
  - ✓ Comprimento de onda ( $\lambda$ )
  - ✓ Frequência ( $f$ )
  - ✓ Relação entre  $\lambda$  e  $f$
  - ✓ Polarização
- Distúrbios específicos de radiocomunicações

### Ondas de multipercurso

- ✓ Desvanecimento
- ✓ Ação da chuva
- ✓ Efeito Doppler

- ✓ Dutos

## MODULAÇÃO DO SINAL DA INFORMAÇÃO

- Modulação em amplitude (AM – *amplitude modulation*)
  - ✓ AM-DSB (amplitude modulation – double side band)
  - ✓ AM-DSB/SC (amplitude modulation – double side band/ supressed carrier)
  - ✓ AM-SSB (amplitude modulation – single side band)
  - ✓ AM-VSB (amplitude modulation – vestigial side band)
- Modulação angular
- Modulação digital
  - ✓ Modulação ASK (amplitude shift keying)
  - ✓ Modulação FSK (frequency shift keying)
  - ✓ Modulação PSK (phase shift keying)
  - ✓ Modulação QAM (quadrature amplitude modulation)

## RADIOPROPAGAÇÃO

- Espectro de frequências
- Modos de propagação
- Características da atmosfera e superfície terrestres
- A superfície terrestre

## ANTENAS

- Definição
- Diagrama de irradiação
- Antena isotrópica
- Polarização
- Largura de feixe  $\alpha$
- Eficiência  $\eta$
- Diretividade
- Ganho da antena
- Relação frente-costas
- EIRP (*effective isotropic radiation power*)
- Tipos de antenas
  - ✓ Antena dipolo
  - ✓ Antena dipolo de meia onda
  - ✓ Antena dipolo dobrado
  - ✓ Antena dipolo de quarto de onda
  - ✓ Antena Yagi-Uda
  - ✓ Antena parabólica

## SESSÕES ESPECIAIS

**MAPA DE ESTUDO**  
**SÍNTESE DIRETA**  
**MOMENTO QUIZ**  
**GABARITO DO QUIZ**  
**REFERÊNCIAS**

Módulo III

# **RADIODIFUSÃO**

## Abertura

### SOBRE A INSTITUIÇÃO

#### Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

#### Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

#### Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

#### Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

### SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES pertence ao Eixo Tecnológico de INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO.

Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES relacionados ao perfil profissional de conclusão e suas habilidades, quesitos fundamentais para atuação, campo de atuação e, também algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por Especializações Técnicas e/ou Cursos de Graduação.

### **Perfil profissional de conclusão e suas habilidades**

- Participar na elaboração de projetos de telecomunicações.
- Instalar, testar e realizar manutenções preventivas e corretivas em sistemas de telecomunicações.
- Configurar equipamentos nas áreas de telefonia, transmissão e redes de comunicação.
- Supervisionar tecnicamente processos e serviços de telecomunicações.
- Elaborar documentação técnica.
- Prestar assistência técnica aos clientes.
- Realizar programação de softwares específicos para equipamentos de telecomunicações.
- Participar na elaboração da documentação técnica.

### **Quesitos fundamentais para atuação**

Conhecimentos e saberes relacionados aos processos técnicos de telecomunicação cabeada ou de transmissão/tráfego de dados móveis, bem como às boas práticas de comunicação e de liderança de equipes.

### **Campo de atuação**

- Empresas de telefonia fixa e móvel.
- Empresas de radiodifusão.
- Indústrias de telecomunicação.
- Agências reguladoras.
- Provedores de acesso a redes.
- Empresas de prestação de serviços.

### Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em TV Digital.
- Especialização Técnica em Sistemas de Comunicação Móvel.
- Especialização Técnica em Convergência Digital.

### Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Redes de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Telemática.
- Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações.
- Bacharelado em Engenharia Elétrica.

## SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, afim de proporcionar subsídios suficientes a todos, no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

### Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.

### 3) SESSÕES ESPECIAIS.

#### Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

#### Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

#### Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

#### Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

Os BOXES são:

#### ▪ VOCÊ SABIA?



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

#### • PAUSA PARA REFLETIR...



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

#### ▪ SE LIGA NA CHARADA!



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

## Base Teórica

### INTRODUÇÃO

Existem conhecimentos básicos sobre a natureza e comportamento das ondas de rádio que precisam estar muito bem estabelecidos na mente do profissional de telecomunicações. Nessa categoria enquadraremos os conhecimentos sobre a natureza e propriedades das ondas. Este assunto também faz parte dos cursos profissionais (técnicos e de engenharia), porém eles nem sempre são abordados com a devida profundidade e sempre existe a necessidade de serem reciclados.

A radiodifusão e a radiotransmissão são termos relacionados, mas com significados ligeiramente diferentes. A radiodifusão refere-se à transmissão de sinais (sons, imagens ou ambos) através de ondas de rádio, geralmente para um público amplo, como no caso da rádio e televisão. A radiotransmissão, por outro lado, é um termo mais amplo que se refere à transmissão de informações via ondas de rádio, independentemente do seu propósito ou público alvo.

### RADIODIFUSÃO E RADIOTRANSMISSÃO

#### Radiodifusão

A Radiodifusão é um tipo específico de radiotransmissão que visa a transmissão de conteúdo (sons, imagens ou ambos) para um público amplo e geral, geralmente através de estações de rádio e televisão.

#### Radiotransmissão

Já a Radiotransmissão é um termo mais genérico que abrange a transmissão de informações via ondas de rádio, incluindo aplicações específicas como radiodifusão, mas também outras formas de comunicação sem fio, como a comunicação entre dispositivos móveis, a transmissão de dados, e outras aplicações de telecomunicações.

#### **OBSERVAÇÕES:**

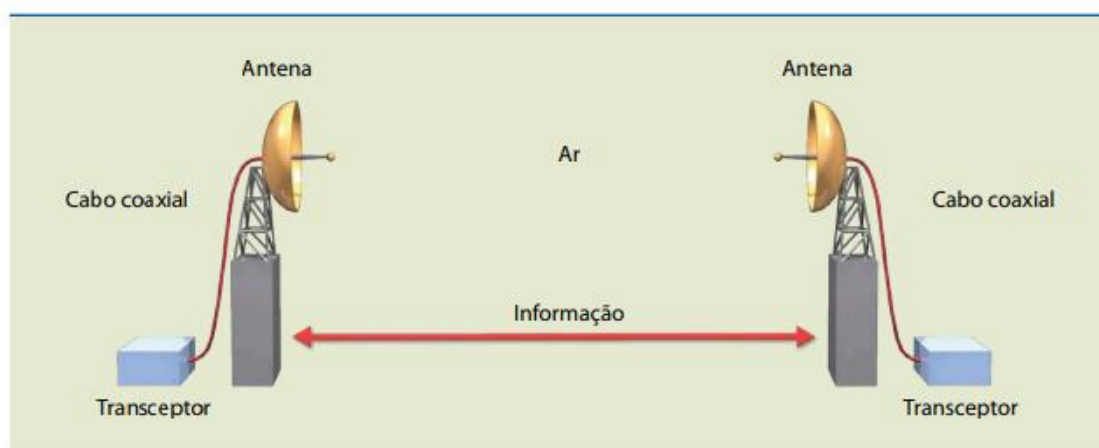
Em resumo, a radiodifusão é um tipo específico de radiotransmissão que visa a comunicação com o público geral, enquanto a radiotransmissão é um termo mais abrangente que inclui a radiodifusão e outras formas de comunicação via ondas de rádio.

## ONDAS DE RÁDIO

### Definição

Onda é a perturbação física de um meio, provocada por uma fonte. Por exemplo, quando jogamos uma pedra em um lago, no momento em que a pedra bate na superfície da água, uma perturbação é gerada, fazendo surgir um movimento circular em torno do ponto de colisão.

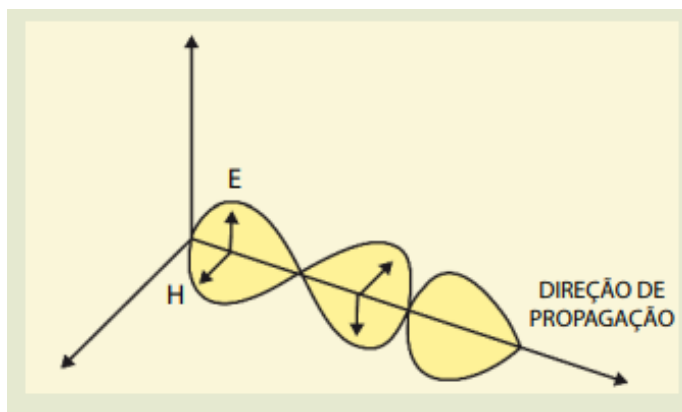
As ondas de rádio ou hertzianas são perturbações físicas causadas pela interação de dois campos: o elétrico (E) e o magnético (H), variáveis no tempo e perpendiculares entre si. Essas ondas são capazes de se propagar no espaço, irradiadas por uma antena. Podem ser geradas em qualquer frequência, mas, em telecomunicações, são utilizadas ondas de frequência superior a 100 kHz, passando por um processo denominado modulação, que será estudado com detalhes mais adiante.



**Figura 1:** Enlace de rádio.

### Natureza da onda de rádio

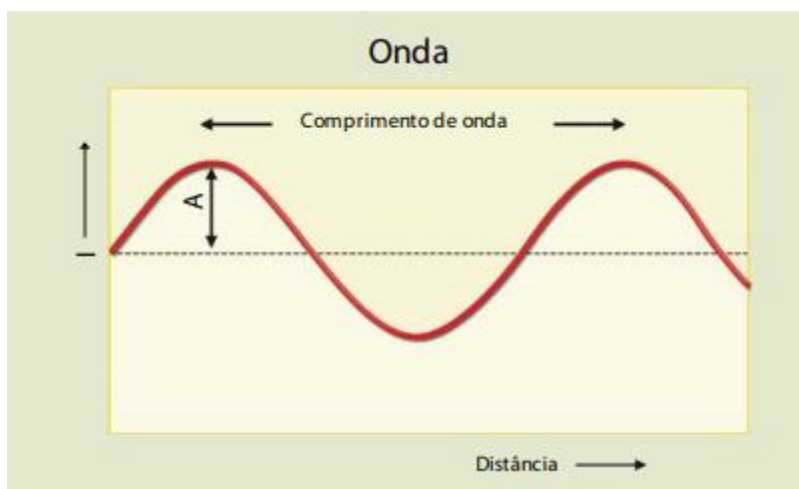
A onda eletromagnética é provocada pela interação de um campo elétrico (E) e de um campo magnético (H), de intensidades variáveis com o tempo e perpendiculares entre si e entre a direção de propagação da onda. É representada graficamente por duas senoides, uma para cada campo, indicando os parâmetros de amplitude, fase, frequência e comprimento de onda, observe a figura 2.



**Figura 2:** Representação gráfica da onda eletromagnética.

### Comprimento de onda ( $\lambda$ )

É a distância percorrida pela onda durante a realização de um ciclo. Para uma onda senoidal, o comprimento de onda é a distância (em metros) entre os picos consecutivos.



**Figura 3:** Representação do comprimento de onda.

### Frequência ( $f$ )

É a velocidade de repetição de qualquer fenômeno periódico, ou seja, o número de ciclos realizados por segundo, em hertz.

### Relação entre $\lambda$ e $f$

O comprimento de onda é igual à velocidade da onda dividida pela frequência da onda. Quando se lida com radiação eletromagnética no vácuo, essa velocidade é igual à velocidade da luz para sinais se propagando no ar.

$$\lambda = c / f$$

Em que:

- $\lambda$  é o comprimento de onda, em metros;
- $c$ , a velocidade da luz no vácuo, igual a  $3 \cdot 10^8$  m/s;
- $f$ , a frequência, em hertz.

Os campos E e H são grandezas vetoriais, com intensidade, direção e sentido. Suas unidades de medida são:

- Campo elétrico  $E = \text{V/m}$ .
- Campo magnético  $H = \text{A/m}$ .

O instrumento utilizado para medir a intensidade de campo elétrico do ponto de emissão chama-se medidor de intensidade de campo.

A potência de emissão, em watts, é calculada pelo produto do quadrado da corrente de radiofrequência que alimenta a antena transmissora pela resistência desta:

$$P = I_{\text{RF}}^2 \cdot R_{\text{ant}}$$

**Figura 4:** Fórmula do cálculo de potência de emissão.

A impedância intrínseca do espaço livre é obtida pela relação E/H, determinada por:

$$Z_0 = E/H = 120\pi = 377 \, \Omega$$

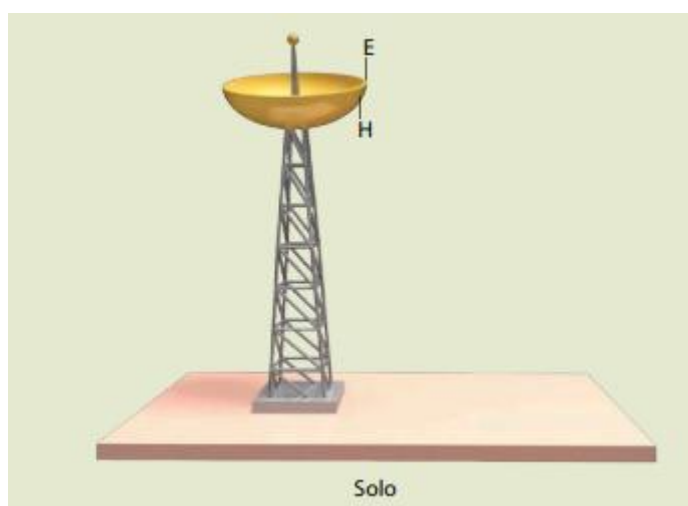
**Figura 5:** Fórmula do cálculo de impedância intrínseca do espaço livre.

O modo como a onda se propaga no espaço vai depender principalmente da faixa em que se enquadra a frequência de transmissão.

### Polarização

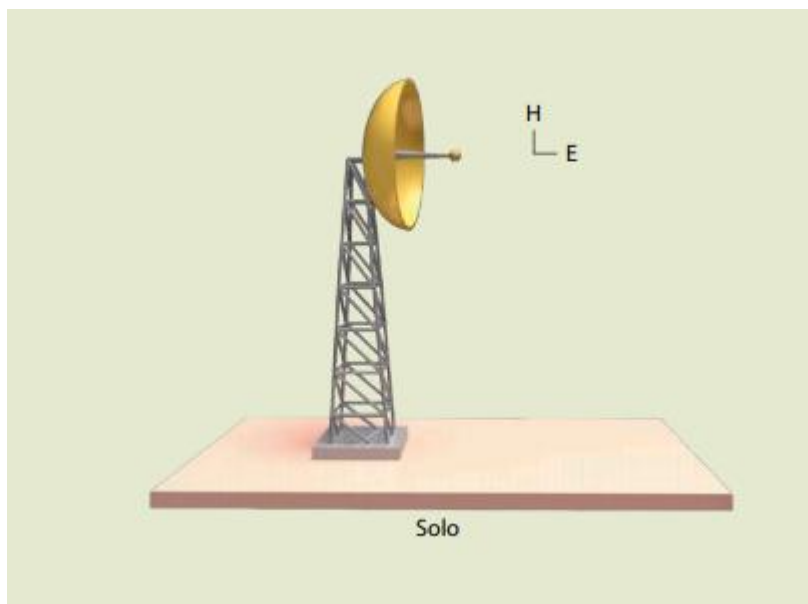
É a maneira como os campos se orientam no espaço, tomada em função da posição do campo elétrico (E) em relação ao solo.

a) Antena com polarização vertical



**Figura 6:** Antena com polarização vertical.

b) Antena com polarização horizontal.



**Figura 7:** Antena com polarização horizontal.

As polarizações horizontal e vertical são chamadas de polarizações lineares.

Existem ainda polarizações:

- Circular.
- Elíptica.
- Ortogonal.
- Cruzada.

### Distúrbios específicos de radiocomunicações

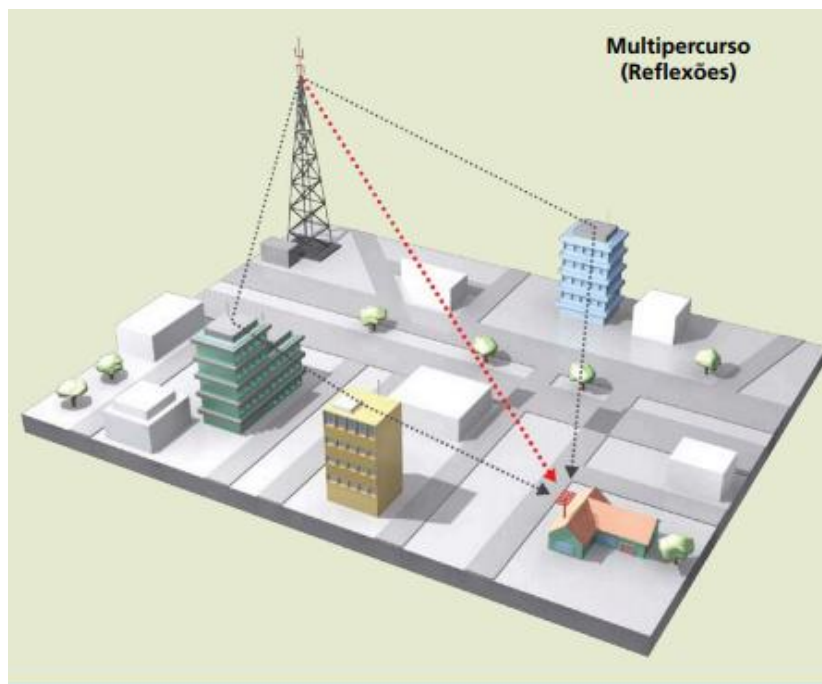
#### Ondas de multipercurso

São ondas secundárias provenientes de distintos percursos (reflexões no solo ou em obstáculos), que resultam da dispersão de energia eletromagnética irradiada na transmissão e que chegam à recepção com diferentes intensidades e defasagens em relação à onda principal ou direta.

O sinal resultante na recepção é a soma vetorial dos sinais secundários com o sinal principal. Um exemplo prático é o efeito “fantasma” que aparece nas transmissões de TV.

#### Desvanecimento

São flutuações do sinal recebido, decorrentes de problemas na transmissão, como as ondas de multipercurso. A intensidade do sinal recebido varia a cada instante, prejudicando a recepção – por exemplo, na recepção de radiodifusão AM durante a noite.



**Figura 8:** Ilustração esquemática do efeito "fantasma".

### Ação da chuva

A chuva causa degradação na recepção, enfraquece e despolariza a onda de rádio, apresentando-se como obstáculo.

### Efeito Doppler

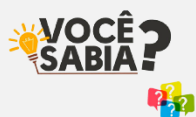
O efeito Doppler, descrito pela primeira vez em 1842 pelo físico Christian Johann Andreas Doppler (1803-1853), é a alteração da frequência de uma onda sonora ou luminosa percebida por um observador em razão de um movimento de aproximação ou afastamento de uma fonte geradora de onda em relação a ele.

No caso de aproximação, a frequência aparente da onda recebida pelo observador fica maior que a frequência original e, no caso de afastamento, a frequência aparente diminui. Um

exemplo do efeito Doppler é a sirene de uma ambulância em uma rua passando por um observador. Ao se aproximar, o som é mais agudo e, ao se afastar, mais grave. Nas comunicações sem fio, como a telefonia celular, esse fenômeno pode causar a perda da comunicação, pois o sinal chega ao receptor em uma frequência diferente, caso o efeito seja acentuado.

## Dutos

São formados por inversões térmicas que ocorrem nas camadas de ar sobre a superfície terrestre, afetando sobretudo os enlaces de rádio em visibilidade ou ponto a ponto. Provocam o desvio da onda de sua direção principal.



### VOCÊ SABIA?

#### *O que são satélites estacionários?*

Os satélites estacionários recebem este nome pelo fato de se apresentarem "parados" em relação à superfície da Terra. Ou seja, para um observador na Terra, o satélite parece parado no céu.

Suas órbitas são circulares, contidas no plano equatorial. Seu período é de 24 horas (igual ao de rotação da Terra) e o raio de sua órbita é de 36.000 km, aproximadamente.

A aplicação mais importante para esses satélites está nas telecomunicações. Um sinal de televisão, por exemplo, é emitido da Terra para o satélite.

Este capta o sinal, amplifica-o e o emite para o local que deve receber a transmissão. Este sinal propaga-se com a velocidade da luz (300.000 km/s), gastando aproximadamente 0,24s para ir até o satélite e voltar à terra.

Assim, ao assistirmos a uma cena de um jogo de futebol na França, por exemplo, estamos vendo esta cena praticamente no mesmo instante em que ela ocorre.



### SE LIGA NA CHARADA!

#### PERGUNTA:

Qual a diferença entre o cavalo e o palhaço?

#### RESPOSTA:

O cavalo gosta de palha crua, enquanto o palhaço gosta de “palhaassada”.

## MODULAÇÃO DO SINAL DA INFORMAÇÃO

Quando transmitimos um sinal de informação por um meio físico, como o ar, utilizamos uma antena, cujo comprimento está associado ao comprimento de onda. Para transmitirmos um sinal de frequência 20 kHz, deveríamos ter uma antena de aproximadamente 3,5 km de comprimento, procedimento que é inviável. Partindo desse princípio, a solução encontrada foi associar o sinal que se deseja transmitir a um sinal de frequência alta (portadora). Dessa maneira, o comprimento final da antena terá dimensões possíveis de serem implementadas.

Modular um sinal é fazer a translação de frequência do sinal de informação para uma frequência de portadora. Para isso, alteramos uma das características do sinal da portadora, que pode ser a amplitude, a frequência ou a fase. Para modulações analógicas, utilizamos como portadora um sinal senoidal.

### Modulação em amplitude (AM – *amplitude modulation*)

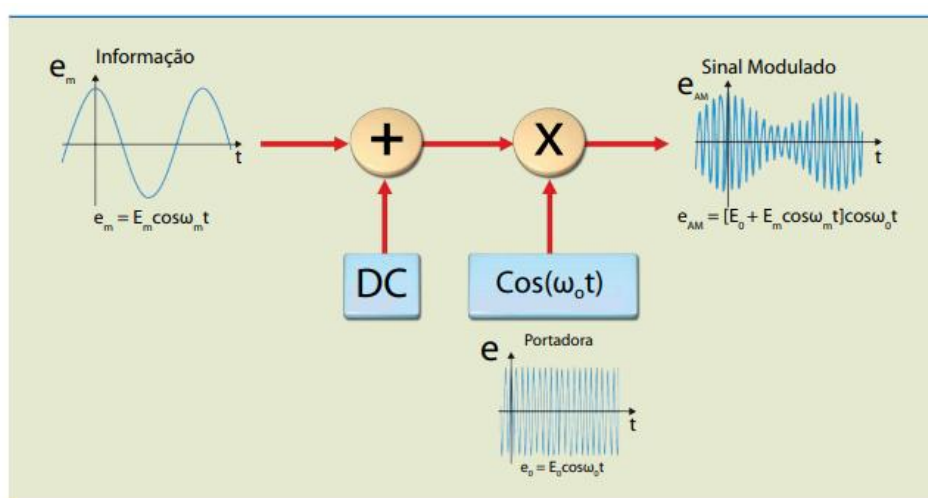
Nesse tipo de modulação, o sinal a ser transmitido (sinal modulante) será somado ao sinal de frequência alta (portadora), modificando sua amplitude. Dentre os tipos de modulação em amplitude encontram-se as tecnologias:

- AM-DSB.
- AM-DSB/SC.

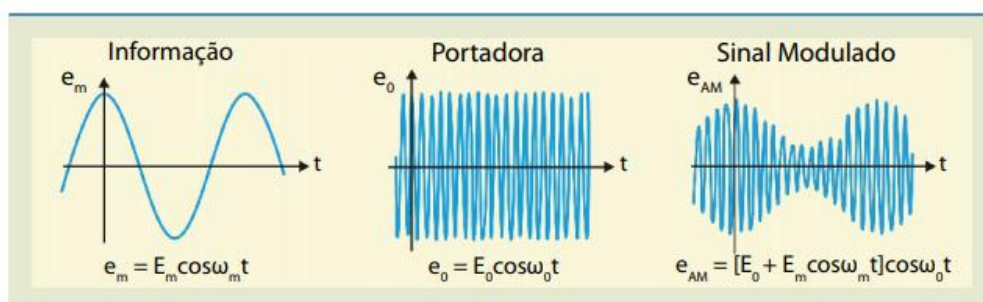
- AM-SSB.
- AM-VSB.

### AM-DSB (amplitude modulation – double side band)

Nesta seção, serão apresentados os conceitos gerais da modulação AM-DSB (sigla em inglês de amplitude modulada com duas bandas laterais). As figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, o diagrama de blocos de um modulador desse tipo e as formas de onda.



**Figura 9:** Diagrama de blocos de um modulador AM-DSB.

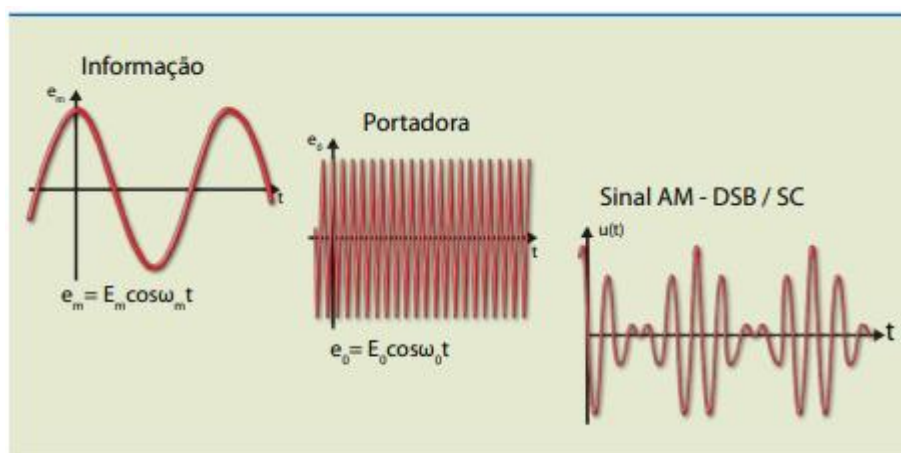


**Figura 10:** Formas de ondas do AM-DSB.

### AM-DSB/SC (amplitude modulation – double side band/ supressed carrier)

Como vimos, o AM-DSB transmite um sinal modulado em amplitude e, na etapa de transmissão, o circuito modulador envia para o espaço livre uma onda portadora mais duas bandas laterais, as quais contêm a informação.

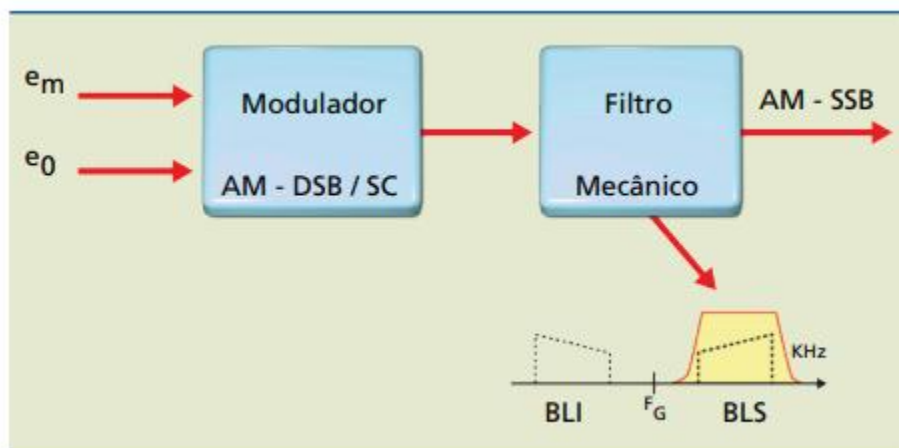
De acordo com o espectro do sinal AM-DSB, a energia interessante se encontra nas bandas laterais (informação) e a energia transmitida pela portadora não contém informação alguma, que não precisaria ser transmitida. É por esse motivo que foi implementado o sistema AM-DSB/SC, que é a modulação em amplitude com duas bandas laterais e portadora suprimida, conforme mostra a figura 11 a seguir.



**Figura 11:** Modulação em amplitude com duas bandas laterais e portadora suprimida.

### AM-SSB (amplitude modulation – single side band)

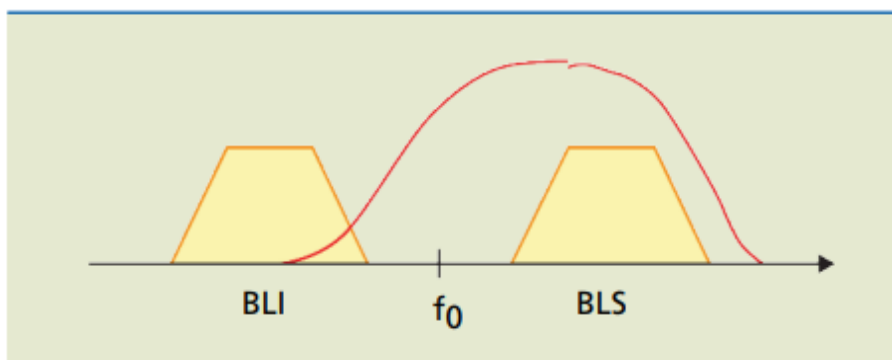
De maneira análoga ao AM-DSB, o AM-DSB/SC transmite duas bandas laterais, porém apenas uma das bandas contém a informação. Portanto, ele não precisa transmitir as duas bandas, ocasionando economia de energia, já que interessa apenas a potência de uma das bandas laterais. Foi, então, implementado o AM-SSB, que contém uma única banda lateral. Uma vez obtido o sinal AM-DSB/SC, ele passa por um filtro mecânico que separa somente uma banda a ser transmitida. Um exemplo de aplicação do AM-SSB é o radioamadorismo.



**Figura 12:** Representação esquemática do modulador e filtro mecânico.

### AM-VSB (amplitude modulation – vestigial side band)

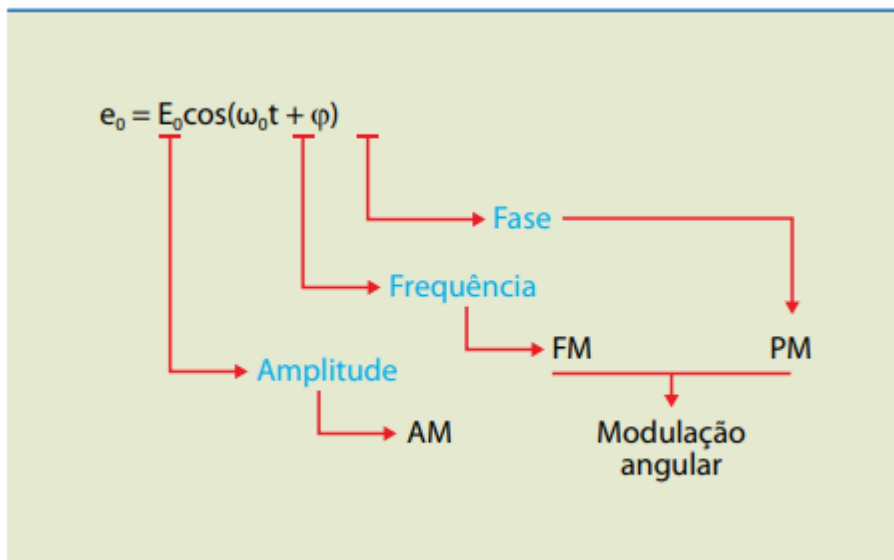
No modulador de amplitude com vestígio de banda lateral, também obtido da modulação AM-DSB/SC, são transmitidos uma banda lateral completa e um vestígio da outra banda lateral. Um exemplo de aplicação do AM-VSB é a transmissão de sinais de televisão



**Figura 13:** Representação esquemática do sinal BLI e BLS.

### Modulação angular

Os métodos de modulação angular consistem em sistemas de modulação em fase (PM – *phase modulation*) e de modulação em frequência (FM – *frequency modulation*). De forma resumida, temos a figura 14.



**Figura 14:** Partes que compõem o sistema de modulação em fase.



### PAUSA PARA REFLETIR...

"O céu estrelado acima de mim e a lei moral dentro de mim."

*Immanuel Kant.*

## Modulação digital

Em se tratando da transmissão de sequências de bits, os processos de modulação são otimizados a fim de reduzir a largura de faixa de frequências ocupada pelo sinal a ser transmitido sem provocar distorções ou deixar a informação suscetível ao ruído. Existem duas maneiras básicas de transmitir dados, os quais podem ser não modulados (sem portadora) ou modulados (com portadora). Os sinais modulados por portadoras de alta frequência são:

- ASK (*amplitude shift keying*).
- FSK (*frequency shift keying*).

- PSK (*phase shift keying*).
- QAM (*quadrature amplitude modulation*).

Os sinais digitais podem ser formados por pulsos retangulares, cada um deles com duração finita igual à duração de um bit, impossibilitando interferência entre pulsos subsequentes. Tal fato é desejável na transmissão de dados, visto que um pequeno desvio de sincronismo na demodulação não provocará erros. Essa vantagem, entretanto, tem como custo adicional a ampla largura de faixa de frequências ocupada no espectro, pois, conforme a série de Fourier, todo sinal periódico pode ser decomposto pela somatória de infinitas harmônicas múltiplas da harmônica fundamental que compõe o sinal, acrescido de sua harmônica fundamental.

A partir do momento em que se tenta reduzir a largura de faixa por meio de um filtro passa-baixa, os pulsos retangulares são distorcidos e sua duração aumenta.

Como consequência, ocorre o fenômeno denominado interferência intersimbólica, pela própria decomposição dos bits em infinitas cossenoides, conforme a série de Fourier, em que os pulsos são associados aos bits 0 e 1.

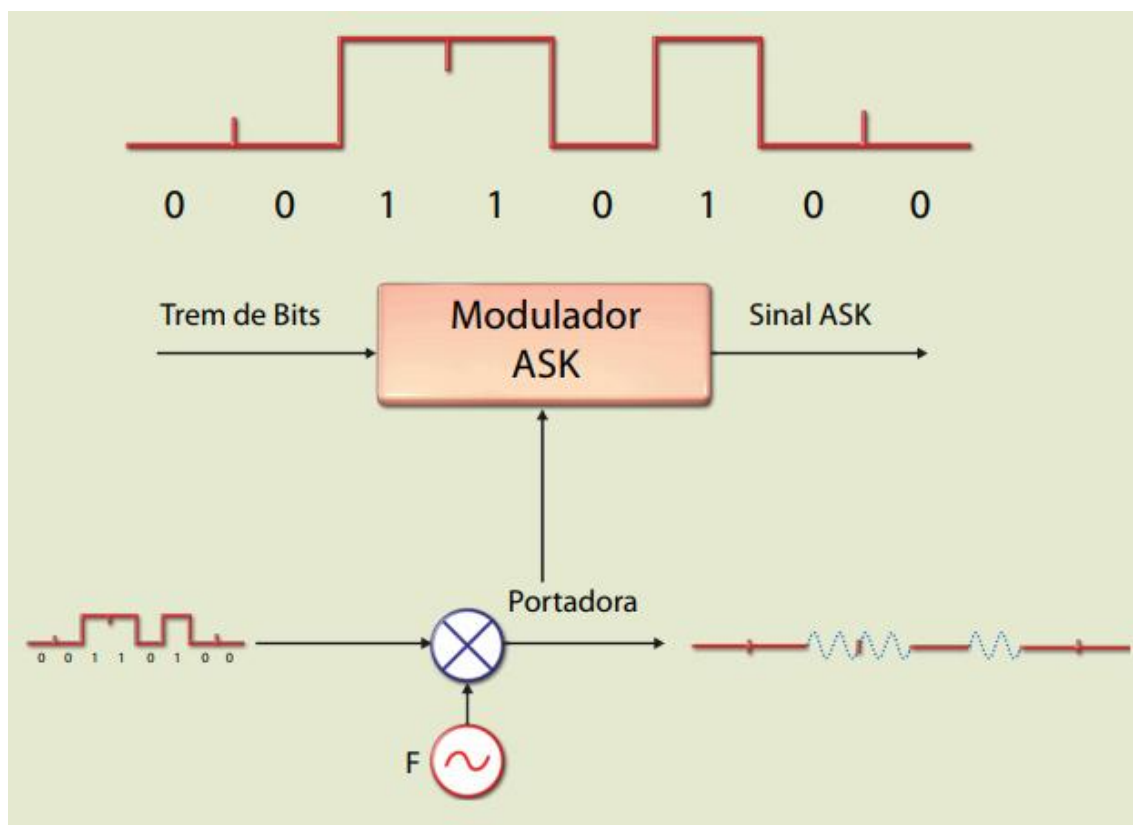
Por esse motivo, foram desenvolvidos os métodos de modulação de trens de bits, apresentados a seguir.

### Modulação ASK (*amplitude shift keying*)

Tomemos como exemplo o trem de bits 0 0 1 1 0 1 0 0. Vimos que a transmissão de bits por meios físicos é difícil, pois tais meios não possuem banda passante infinita, o que gera distorção no sinal recuperado.

Para solucionar essa deficiência, o trem de bits deve ser introduzido em um modulador, o qual modificará o sinal a ser transmitido; onde o nível lógico for 1, será transmitida a frequência cossenoidal da portadora e, onde o nível lógico for 0, será transmitido sinal de amplitude zero.

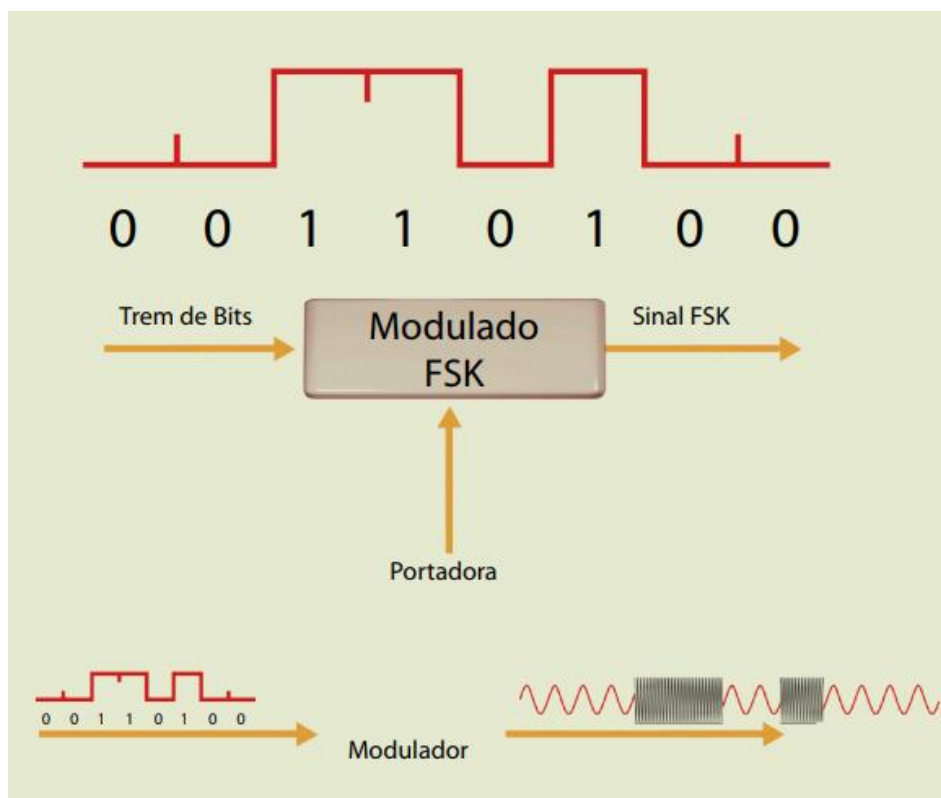
Desse modo, para o trem de bits do exemplo, na saída do circuito de modulador, o sinal a ser transmitido pelo meio físico será obtido conforme mostra a figura 15.



**Figura 15:** Sinal a ser transmitido pelo meio físico.

### Modulação FSK (frequency shift keying)

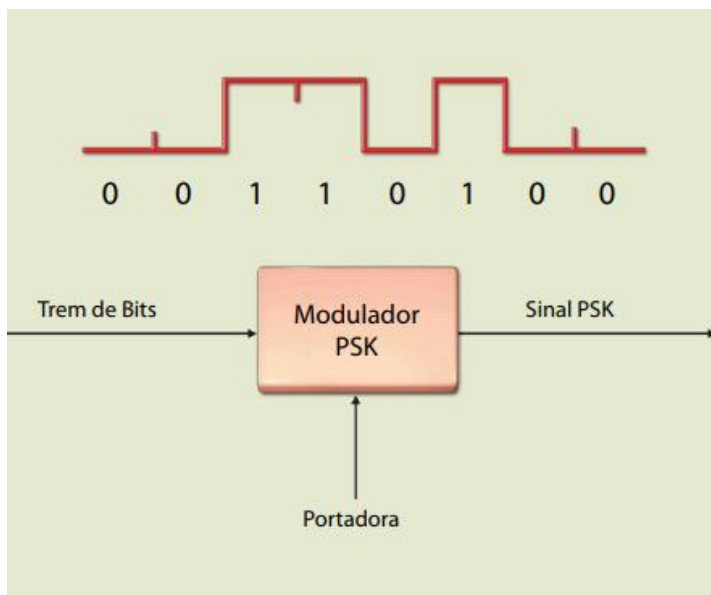
De maneira similar à modulação ASK, a modulação FSK também tem por finalidade inserir no meio de transmissão um sinal cossenoidal de frequência finita e conhecida a fim de garantir uma banda passante finita. Entretanto, em vez de variarmos a amplitude da portadora em função dos bits a serem transmitidos, variamos a frequência do sinal da portadora. A figura 16 ilustra o trem de bits 0 0 1 1 0 1 0 0.



**Figura 16:** Sinal a ser transmitido pelo meio físico.

### Modulação PSK (phase shift keying)

A modulação PSK também transmite um sinal cossenoidal da portadora em função do trem de pulsos da informação. No entanto, a alteração sofrida pela portadora é em relação à fase do sinal de alta frequência em função da variação do nível lógico do trem de bits. A figura 17 apresenta o mesmo trem de bits anterior: 0 0 1 1 0 1 0 0.



**Figura 17:** Sinal a ser transmitido pelo meio físico.

### Modulação QAM (quadrature amplitude modulation)

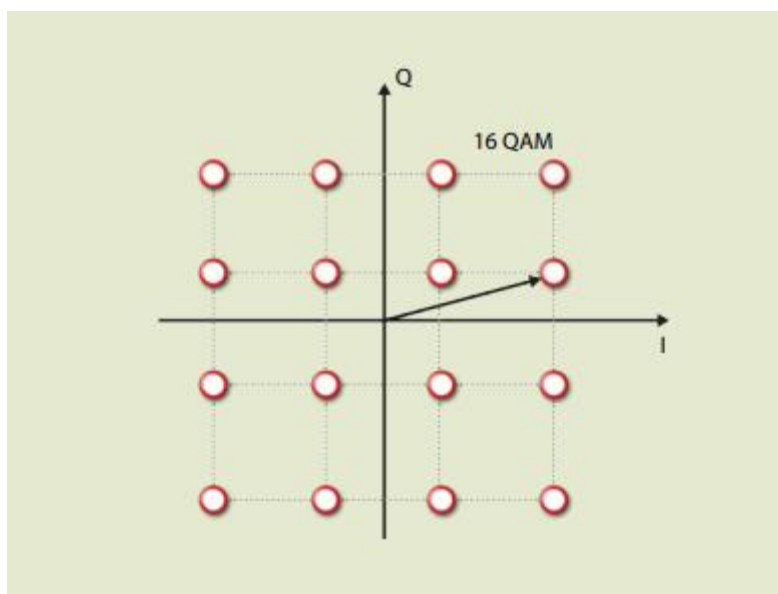
Um dos problemas do rádio digital é a necessidade de utilizar uma faixa de transmissão bem mais larga que a de um sistema analógico de mesma capacidade. Uma solução consiste em aumentar o número de estados possíveis do sinal modulado. Entretanto, para manter determinada qualidade de transmissão, expressa em termos da probabilidade de erro de bit, é necessário aumentar a potência de entrada do receptor.

A modulação em amplitude e fase é uma alternativa que permite uma relação satisfatória entre a qualidade e o nível do sinal de recepção. Em relação ao número de estados possíveis, destacam-se o 16 QAM, o 64 QAM, o 128 QAM e o 256 QAM.

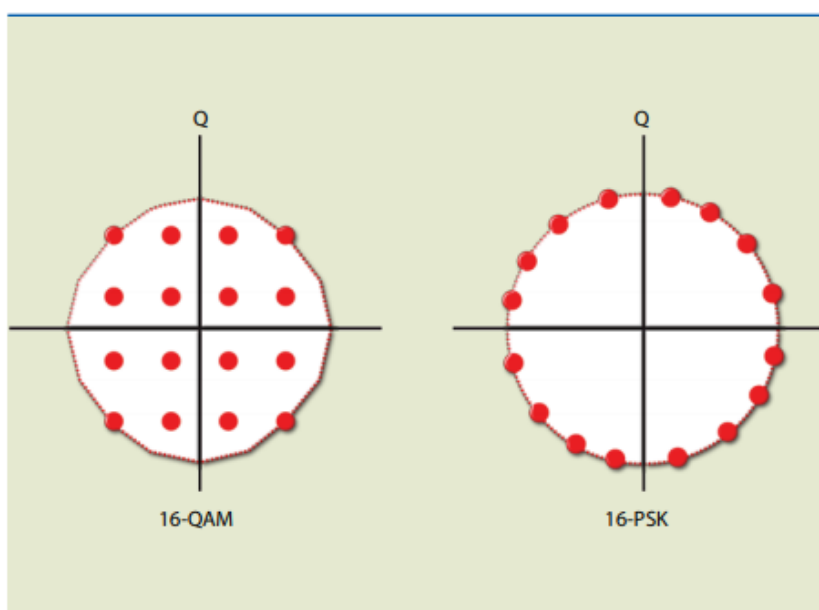
Para melhor utilização do espectro, quanto maior a quantidade de estados, maior a eficiência espectral. Contudo, o emprego de sistemas com número de estados elevados é limitado, pois ocorrem problemas como: dispersão do sinal na faixa de transmissão, em decorrência do desvanecimento multipercurso; maior sensibilidade à interferência; e dificuldades de fabricação de moduladores e demoduladores. A figura 16 ilustra o diagrama fasorial (constelação) da modulação 16 QAM.

O sistema de modulação QAM apresenta a mesma banda e a mesma eficiência de banda do sistema PSK, para um mesmo número de estados do sinal modulado. Entretanto, supera o PSK no desempenho de erro. A comparação das constelações para 16 QAM e 16 PSK, como mostrado na figura 17, revela que a razão para essa diferença no desempenho de erro

está na distância entre pontos do sinal na constelação, pois para o PSK a distância é menor do que a distância entre pontos na constelação QAM.



**Figura 18:** Constelação para a modulação 16 QAM.



**Figura 19:** Comparação entre as constelações dos sinais 16 QAM e 16 PSK com o mesmo pico de potência.



### VOCÊ SABIA?

*Backbone* significa Espinha Dorsal em inglês. Assim como no corpo humano, ele é responsável por interligar servidores que estão distantes. Imagina todas as informações que o cérebro manda para o resto do corpo através da coluna. Sua função no universo das telecons é ligar as centrais das operadoras de internet aos servidores externos, sendo eles nacionais ou internacionais.

É a espinha dorsal da internet por ter a função de identificar a rede por onde passa os dados de cada usuário e possibilitar o envio e recebimento das informações de um servidor para o outro. Ao acessar um site, você está encaminhando uma solicitação para ter acesso aos conteúdos disponíveis naquela página. Seu servidor pode até estar localizado em outro estado ou fora do país.



### SE LIGA NA CHARADA!

#### PERGUNTA:

O que é um pontinho verde na neve?

#### RESPOSTA:

Um “pingreen”.

## RADIOPROPAGAÇÃO

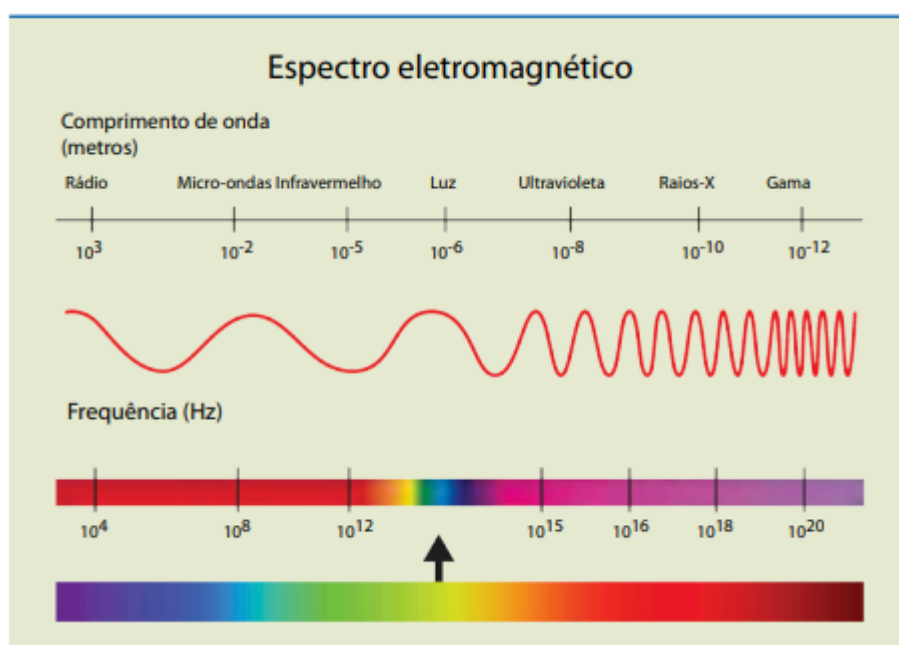
As ondas de rádio são formadas pela interação de um campo magnético e um campo elétrico, originando uma onda eletromagnética irradiada por uma antena. Essa onda é gerada por uma corrente de radiofrequência proveniente de um transmissor, em uma frequência de operação do sistema de comunicação.

A propagação das ondas de rádio pelo espaço livre, chamada radiopropagação, é a maneira como elas percorrem o caminho entre o transmissor e o receptor e se dá de tal modo que a direção de propagação do vetor campo elétrico é sempre perpendicular à do campo magnético.

Durante o percurso, as ondas de rádio podem sofrer reflexão, difração ou refração, dependendo de fatores como tipo de enlace, frequência de operação e distância percorrida. Os efeitos desses fenômenos resultam em perda de energia e de atenuação.

### Espectro de frequências

Cada sistema de comunicação opera dentro de uma faixa de frequências predefinida, a qual está incluída no espectro de frequências que engloba todas as faixas de irradiação eletromagnética, entre elas as faixas utilizadas em comunicações via rádio, as frequências de infravermelho, a faixa de luz visível, os raios ultravioleta, os raios X e a radiação gama. Essas divisões do espectro são apresentadas na figura 20.



**Figura 20:** Espectro eletromagnético de frequências.

A tabela 1 mostra a parte do espectro de frequências destinado às comunicações via rádio, dividida em faixas.

| faixa de    | até         | serviço                                      | observação                        | faixa de   | até        | serviço                                                       | observação     | faixa de  | até       | serviço                                 | observação |
|-------------|-------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|---------------------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------------------------------------|------------|
| 20 Hz       | 20 000 Hz   | Sons audíveis                                |                                   | 121,5 MHz  | 121,5 MHz  | Comunicação de socorro                                        |                | 845 MHz   | 869 MHz   | Diversos serviços                       |            |
| 20 kHz      | 30 kHz      | Ultrassom                                    |                                   | 121,5 MHz  | 136 MHz    | Comunicação móvel para aeronáutica                            |                | 869 MHz   | 880 MHz   | Telefonia celular banda "A"             |            |
| 530 kHz     | 1 600 kHz   | Rádio AM                                     | 107 emissoras com 10 kHz de banda | 136 MHz    | 138 MHz    | Satélites Meteorológicos Internacionais                       |                | 880 MHz   | 880,6 MHz | Outros serviços                         |            |
| 34,48 MHz   | 34,82 MHz   | Rádiorádio                                   |                                   | 138 MHz    | 143,6 MHz  | Comunicações fixas e móveis                                   |                | 880,6 MHz | 890 MHz   | Telefonia celular banda "B"             |            |
| 38 MHz      | 40,6 MHz    | Telemedicina biomédica                       |                                   | 143,6 MHz  | 143,65 MHz | Pesquisas espaciais                                           |                | 890 MHz   | 891,5 MHz | Telefonia celular banda "A"             |            |
| 40,6 MHz    | 40,7 MHz    | Telemedicina de características de materiais |                                   | 143,65 MHz | 144 MHz    | Radioamador                                                   |                | 891,5 MHz | 894 MHz   | Telefonia celular banda "B"             |            |
| 40,7 MHz    | 41,0 MHz    | Telemedicina biomédica                       |                                   | 144 MHz    | 146 MHz    | Radioamador por satélite                                      |                | 894 MHz   | 896 MHz   | Telefonia celular aeronáutico           |            |
| 41,0 MHz    | 49,6 MHz    | Diversos serviços                            |                                   | 146 MHz    | 148 MHz    | Radioamador                                                   |                | 896 MHz   | 3 000 MHz | Outros serviços                         |            |
| 49,6 MHz    | 49,9 MHz    | Telefonia sem fio                            |                                   | 148 MHz    | 149,17 MHz | Reservado ao Serviço Especial de Supervisão e Controle (Sesc) |                | 3 GHz     | 3,1 GHz   | Radionavegação e radiolocalização       |            |
| 49,9 MHz    | 54 MHz      | Diversos serviços                            |                                   | 149,17 MHz | 174 MHz    | Diversos serviços                                             |                | 3,7 GHz   | 4,2 GHz   | Descida de sinal de satélite banda "C"  |            |
| 54 MHz      | 60 MHz      | Televisão VHF                                | Canal 2                           | 174 MHz    | 180 MHz    | Televisão VHF                                                 | Canal 7        | 5,925 GHz | 6,425 GHz | Subida de sinal de satélite banda "C"   |            |
| 60 MHz      | 66 MHz      | Televisão VHF                                | Canal 3                           | 180 MHz    | 186 MHz    | Televisão VHF                                                 | Canal 8        | 6,425 GHz | 7,125 GHz | Sistema digital                         |            |
| 66 MHz      | 70 MHz      | Televisão VHF                                | Canal 4                           | 186 MHz    | 192 MHz    | Televisão VHF                                                 | Canal 9        | 10,7 GHz  | 11,7 GHz  | Rádio digital                           |            |
| 70 MHz      | 72 MHz      | Radioastronomia                              |                                   | 192 MHz    | 198 MHz    | Televisão VHF                                                 | Canal 10       | 10,7 GHz  | 12,2 GHz  | Descida de sinal de satélite banda "Ku" |            |
| 72 MHz      | 73 MHz      | Telecomando                                  |                                   | 198 MHz    | 204 MHz    | Televisão VHF                                                 | Canal 11       | 13,75 GHz | 14,8 GHz  | Subida de sinal de satélite banda "Ku"  |            |
| 73 MHz      | 75,4 MHz    | Radionavegação para aeronáutica              |                                   | 204 MHz    | 210 MHz    | Televisão VHF                                                 | Canal 12       | 14,5 GHz  | 15,35 GHz | Rádio digital                           |            |
| 75,4 MHz    | 76 MHz      | Telecomando                                  |                                   | 210 MHz    | 216 MHz    | Televisão VHF                                                 | Canal 13       |           |           |                                         |            |
| 76 MHz      | 82 MHz      | Televisão VHF                                | Canal 5                           | 216 MHz    | 470 MHz    | Diversos Serviços                                             |                |           |           |                                         |            |
| 82 MHz      | 88 MHz      | Televisão VHF                                | Canal 6                           | 470 MHz    | 476 MHz    | Televisão UHF                                                 | Canal 14       |           |           |                                         |            |
| 88 MHz      | 108 MHz     | Radiodifusão rádio FM                        | 99 canais em faixas de 200 kHz    | 476 MHz    | 482 MHz    | Televisão UHF                                                 | Canal 15       |           |           |                                         |            |
| 88 MHz      | 108 MHz     | Microfone sem fio de alcance restrito        |                                   | 482 MHz    | 806 MHz    | Televisão UHF                                                 | Canais 16 a 69 |           |           |                                         |            |
| 108 MHz     | 117,975 MHz | Radionavegação para aeronáutica              |                                   | 806 MHz    | 824 MHz    | Diversos serviços                                             |                |           |           |                                         |            |
| 117,975 MHz | 121,5 MHz   | Comunicação móvel para aeronáutica           |                                   | 824 MHz    | 834,4 MHz  | Telefonia celular banda "A"                                   |                |           |           |                                         |            |
|             |             |                                              |                                   | 834,4 MHz  | 845 MHz    | Telefonia celular banda "B"                                   |                |           |           |                                         |            |

**Tabela 1:** Espectro de frequências e alguns dos serviços atribuídos.

As faixas de frequências em que se concentram os principais serviços de telecomunicações são:

- VHF (*very high frequency* ou frequência muito alta) – Faixa entre 30 MHz e 300 MHz, na qual estão os serviços de radiodifusão comercial FM e os canais 2 a 13 de TV.
- UHF (*ultra high frequency* ou frequência ultra-alta) – Faixa entre 300 MHz e 3 GHz, com destaque para os canais de TV transmitidos por UHF e de telefonia celular.
- SHF (*super high frequency* ou frequência superalta) – Faixa entre 3 GHz e 30 GHz, destinada às transmissões via satélite nas bandas “C” (TV aberta, telefonia e dados) e “Ku” (TV por assinatura), além de frequências para rádio digital.

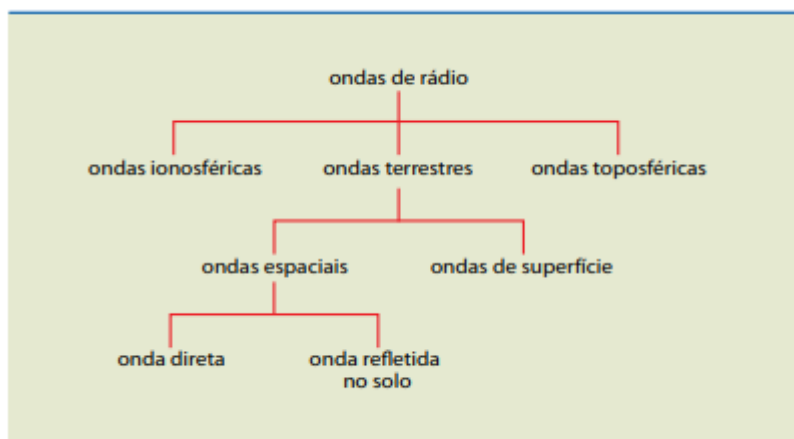
## Modos de propagação

As ondas de rádio podem se propagar no espaço de diferentes modos, dependendo de sua faixa de frequências de operação (figura 19). Basicamente, há três modos:

a) Propagação por onda terrestre: as ondas de rádio se propagam próximo à superfície da Terra, possibilitando comunicações além do horizonte, para transmissões nas faixas de LF e MF.

b) Propagação por onda celeste: conhecida também como propagação ionosférica. As ondas de rádio sofrem refrações na ionosfera e retornam à Terra, favorecendo as comunicações a longa distância. As transmissões em HF (ondas curtas) propagam-se desse modo.

c) Propagação por visibilidade: as antenas transmissora e receptora estão visíveis entre si, com alta diretividade, ou seja, o feixe se propaga praticamente em linha reta. Os obstáculos entre as antenas de transmissão e recepção podem interromper a comunicação. As transmissões de rádio nas faixas de VHF e UHF (FM, TV VHF e TV UHF) propagam-se por visibilidade (ou linha de visada).

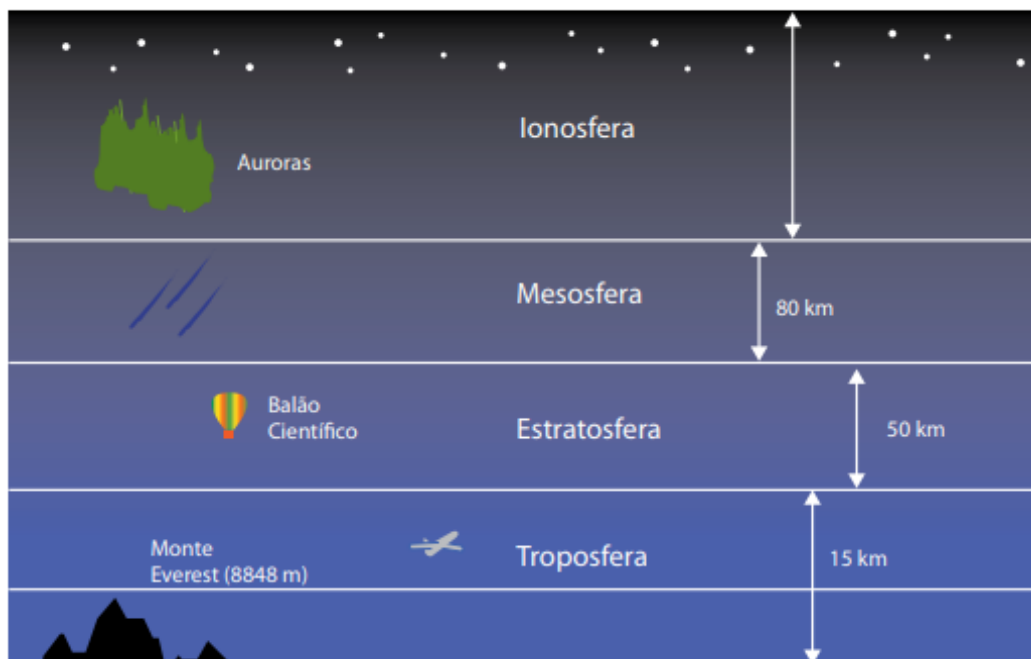


**Figura 21:** Modos de propagação das ondas.

### Características da atmosfera e superfície terrestres

Para ampliar o entendimento da radiopropagação, é necessário conhecer a composição das camadas da atmosfera terrestre e os fatores que a afetam, além das características de relevo e condutividade da região na qual se deseja implantar um enlace.

A atmosfera terrestre é dividida em cinco camadas, de acordo com a altitude, densidade, concentração de gases e ionização: troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera e exosfera. Aqui nos interessa as quatro primeiras (figura 22).



**Figura 22:** Quatro camadas da atmosfera terrestre.

A troposfera é a camada mais baixa, estendendo-se do solo até cerca de 15 km de altitude. Com alta concentração de gases, nela ocorrem praticamente todos os fenômenos climáticos (chuva, neve etc.) do planeta. Por causa desses fenômenos, a propagação de ondas se dá por meio de atenuações. Na troposfera observam-se turbulências decorrentes do aquecimento desigual da superfície, o que influencia a eficiência em sistemas de comunicação que utilizam essa camada. Um bom exemplo são as inversões térmicas, que criam dutos troposféricos, prejudicando a propagação a longas distâncias.

A estratosfera é uma região isotérmica, ou seja, apresenta temperatura praticamente constante; portanto, não está sujeita a inversões térmicas e, por consequência, não há refrações significativas. Na propagação das ondas de rádio, é considerada uma camada inerte.

A ionosfera é uma região de constituição não homogênea e de grande ionização, devido à baixa concentração de gases e da intensa radiação. O grau de ionização varia no decorrer do dia, sendo menos intenso no período noturno, por causa da ausência de radiação solar, o que permite maior recombinação de partículas. A ionosfera é dividida em três camadas – D, E e F –, de acordo com a altitude em relação à superfície terrestre.

A camada D ocupa uma faixa entre 50 e 90 km de altitude em relação à superfície terrestre e apresenta fraca densidade de ionização. Ela se forma durante algumas horas do dia e

inexiste à noite, pois depende da posição do Sol. A refração das ondas acontece apenas nas faixas de VLF e HF.

A camada E está situada entre 100 km e 140 km de altitude, com maior ionização, porém de volume irregular. Chamada de esporádica E, pode se formar a qualquer instante, com duração e dimensão imprevisíveis. Aparece também no período noturno, alterando o percurso das ondas transmitidas, que seriam refratadas a uma altura inferior. Nessa camada são feitas comunicações em HF a longas distâncias (até 2 000 km) durante o dia e em MF durante a noite, atingindo no máximo 200 km.

A camada F é dividida em duas subcamadas: F1, de 180 km a 240 km, que existe somente durante o dia, e F2, de 240 km a 400 km, que é a principal camada para reflexões a longa distância.

A ionosfera apresenta variações de comportamento a intervalos de tempo determinados:

- **Variações ao longo do dia:** ocorrem porque a ionização varia de acordo com a posição do Sol, aumentando progressivamente pela manhã até alcançar grau máximo no início da tarde e diminuir substancialmente à noite, devido à ausência de atividade solar.
- **Variações sazonais:** provocam alterações nas frequências máximas de operação, em função das estações do ano. Essa é uma das razões pelas quais ocorre o câmbio de frequências pelas emissoras de ondas curtas pelo menos duas vezes por ano, próximo aos equinócios da primavera e do outono.
- **Variações causadas pelo ciclo solar:** a atividade solar obedece a um ciclo que se renova cada 11 anos, aproximadamente, chamado ciclo solar. Esse ciclo pode ser observado pela atividade solar, mais precisamente pela atividade das manchas solares (regiões de temperaturas relativamente baixas localizadas na superfície do Sol). Quando o número de manchas solares é elevado, a ionosfera apresenta maior densidade de elétrons; consequentemente, a propagação melhora para as frequências mais altas.
- **Variações em função da latitude:** um exemplo é a região dos polos terrestres, que têm baixa ionização por causa da pouca incidência de radiação solar.

## A superfície terrestre

Sabemos que a Terra tem formato próximo ao de uma esfera, com ligeiro achatamento nos polos, e que três quartos de sua superfície são ocupados por água e um quarto por terra. Tanto o solo como a água são capazes de conduzir as ondas de rádio.

Cada tipo de solo, o mar, os rios e os lagos possuem diferentes características de condutividade das ondas. Enquanto as florestas absorvem as ondas de maneira considerável, a água do mar, devido à salinidade, favorece a radiopropagação de superfície.

A tabela 2 apresenta alguns valores típicos de condutividade, cuja unidade de medida é o siemens (S), de acordo com o tipo de superfície.

| Tipo de superfície   | Condutividade, em mS/m |
|----------------------|------------------------|
| Água salgada         | 5 000                  |
| Água doce            | 1                      |
| Solo úmido           | 20                     |
| Solo médio           | 10                     |
| Solo seco ou arenoso | 1                      |

**Tabela 2:** Condutividade da superfície terrestre.

O tipo de solo e sua condutividade são fatores fundamentais em propagação por onda terrestre. Quanto menor a frequência, maior será a profundidade de penetração da onda no solo e, quanto mais condutivo o solo, maior alcance terá a comunicação.

### **OBSERVAÇÕES:**

A luz ultravioleta é largamente produzida pelo Sol. É uma radiação não visível e ionizante, já que esse tipo de onda eletromagnética é capaz de produzir alterações nas cadeias de DNA, podendo causar danos celulares irreversíveis.

Alguns insetos, como as abelhas, são capazes de enxergar os raios ultravioletas. Isso ocorre porque as flores refletem uma parte dos raios provenientes do Sol, tornando sua

localização mais fácil. Além disso, sabe-se que algumas aranhas conhecem esse mecanismo e produzem teias capazes de refletir a luz ultravioleta, enganando os insetos.

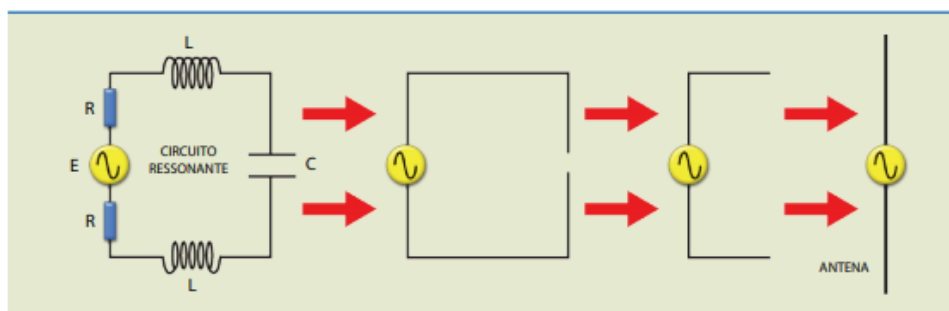
## ANTENAS

### Definição

A antena é um dispositivo que transforma corrente elétrica de radiofrequência oriunda do transmissor em energia eletromagnética irradiada. Na recepção, a antena realiza o inverso, ou seja, transforma a energia eletromagnética irradiada em corrente de RF para ser entregue ao receptor. Portanto, sua função é primordial em qualquer comunicação em que exista radiofrequência.

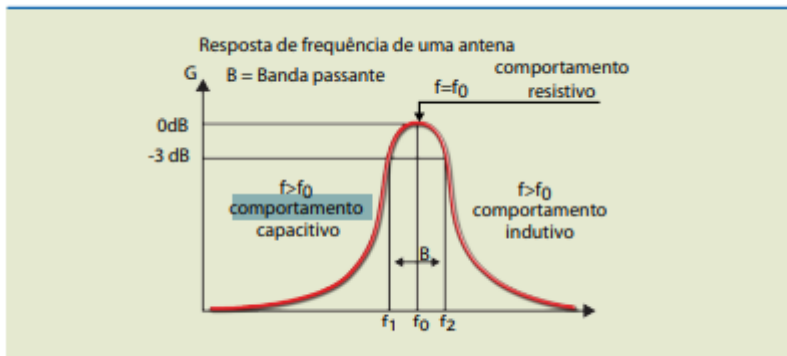
Seu dimensionamento é feito em função do comprimento de onda  $\lambda$ , que é definido de acordo com a frequência ou faixa de frequências de operação do sistema rádio.

Uma antena funciona da seguinte maneira: o transmissor produz o sinal da informação na forma de corrente alternada (corrente de radiofrequência). Ao circular na antena de transmissão, a corrente de RF produz uma onda eletromagnética a seu redor, que se irradia pelo ar. Ao atingir uma antena receptora, a onda eletromagnética induz nela uma pequena corrente elétrica, cujas oscilações acompanham o movimento da onda. Essa corrente é muito mais fraca do que a presente na antena transmissora, sendo amplificada no receptor. A antena tem o comportamento de um circuito ressonante em série, conforme mostra a figura 23.



**Figura 23:** Circuito ressonante em série.

A faixa de operação da antena ou largura de banda é definida quando ela opera próximo à frequência de ressonância, apresentando comportamento praticamente resistivo, com anulação das impedâncias capacitiva e indutiva do circuito equivalente ressonante. A figura 24 apresenta sua curva de resposta de frequência.

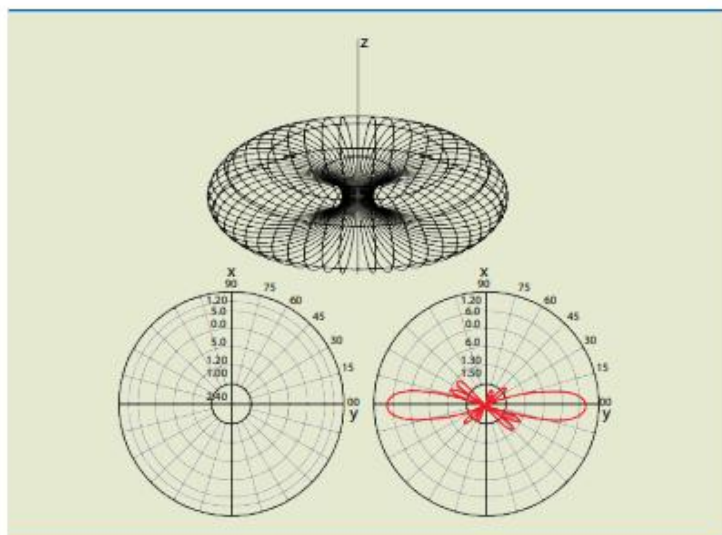


**Figura 24:** Curva de resposta de frequência de uma antena.

Do ponto de vista elétrico, a antena pode ser vista como impedância, com componentes resistivos, capacitivos e indutivos. A impedância da antena na faixa de operação deve ter o mesmo valor apresentado pela linha de transmissão à qual a antena está ligada. Caso contrário, ocorrerá descasamento de impedâncias entre a linha de transmissão e a antena, provocando perdas de energia, devido a reflexões. Essa energia refletida, somada com a energia incidente, gera na linha de transmissão uma onda estacionária, prejudicando a comunicação.

### Diagrama de irradiação

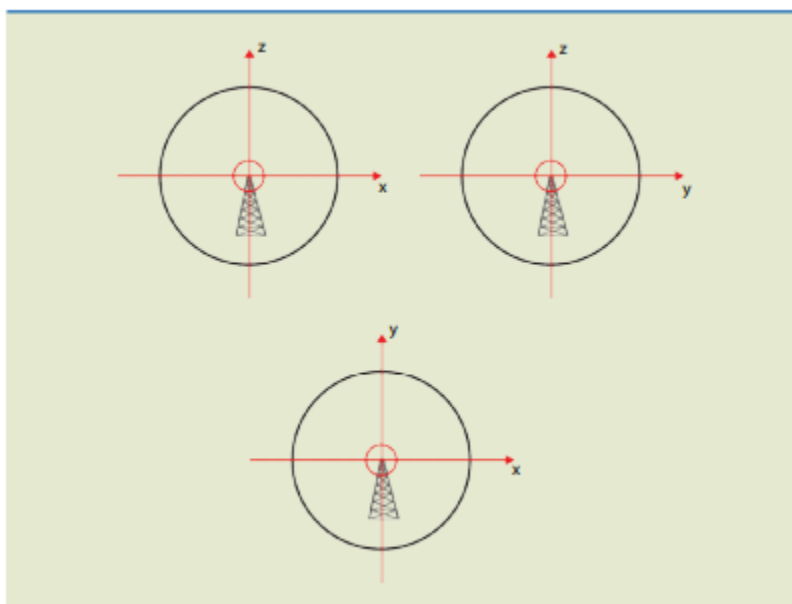
A representação em coordenadas polares da intensidade de campo irradiada ou recebida por uma antena em todas as direções do espaço é chamada de diagrama de irradiação, definido em dois planos: horizontal e vertical.



**Figura 25:** Diagramas de irradiação horizontal e vertical de uma antena.

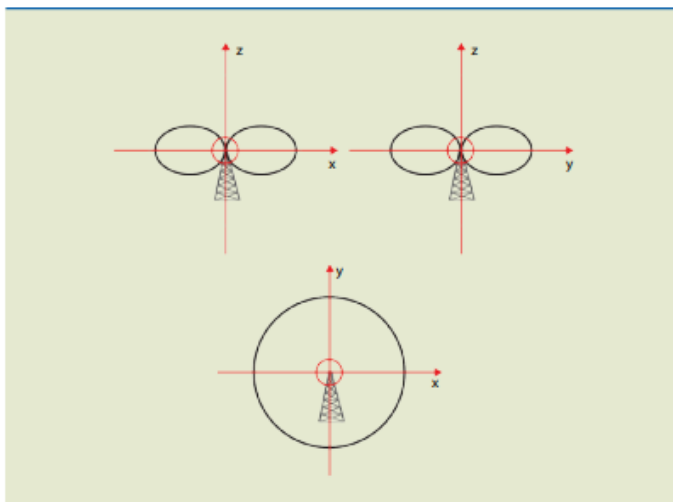
### Antena isotrópica

É uma antena ideal, portanto sem perdas, capaz de captar ou irradiar campos eletromagnéticos igualmente em todas as direções. Seu diagrama de irradiação é ilustrado na figura 26.



**Figura 26:** Diagrama de irradiação da antena isotrópica.

Na prática, a antenna que mais se aproxima da antenna isotrópica é a omnidirecional, cujo diagrama de irradiação é mostrado na figura 27.



**Figura 27:** Diagrama de irradiação de uma antena omnidirecional real.

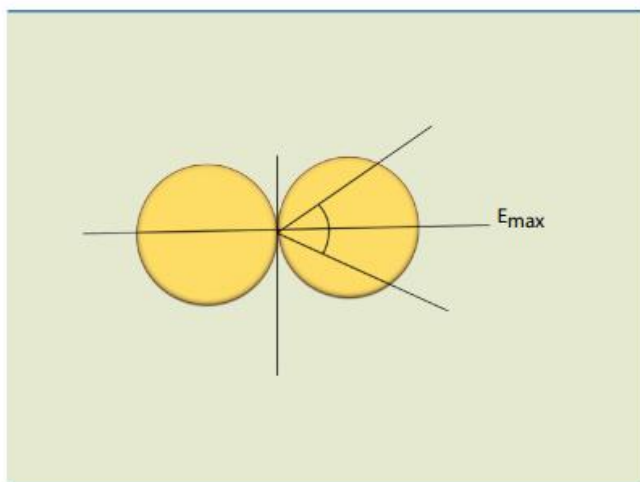
## Polarização

Vimos anteriormente que a direção do vetor campo elétrico define a polarização de uma onda:

- ✓ Se o vetor está na vertical, a onda está polarizada verticalmente.
- ✓ Se o vetor está na horizontal, a onda está polarizada horizontalmente. Se o vetor gira no sentido horário, a polarização é circular direita.
- ✓ Se o vetor gira no sentido anti-horário, a polarização é circular esquerda.

## Largura de feixe $\alpha$

É o ângulo formado pelos dois pontos em que o campo máximo reduz seu valor em 0,707, ou seja,  $-3$  dB (figura 28).



**Figura 28:** Largura de feixe da antena.

### Eficiência $\eta$

É a relação entre a potência realmente irradiada por uma antena e a potência a ela entregue pelo transmissor. A parte de potência não irradiada corresponde a perdas por dissipação térmica, fugas de RF nos conectores e isoladores, descasamento de impedâncias e despolarização da onda.

A eficiência  $\eta$  pode ser determinada por:

$$\eta\% = \frac{P_{ir}}{P_{tx}} \cdot 100$$

**Figura 29:** Fórmula da chamada Eficiência  $\eta$ .

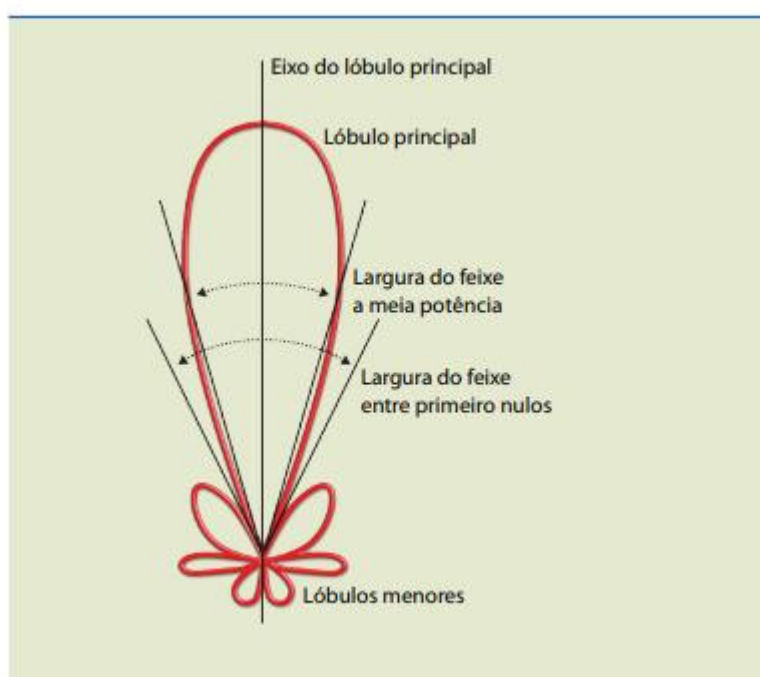
### Diretividade

Direção de maior incidência de irradiação de sinal pela antena, definida pela relação entre o campo irradiado por essa antena em determinada direção e o campo irradiado pela antena isotrópica em determinada potência:

$$D = \frac{E}{E_{\text{iso}}}$$

**Figura 30:** Fórmula da Diretividade.

O diagrama de irradiação da antena pode indicar sua diretividade (figura 31).



**Figura 31:** Diretividade de uma antena.

Quanto maior for o valor de  $D$ , mais diretiva será a antena.

Para a antena isotrópica,  $D = 1$ .

A intensidade de campo irradiado pela antena pode ser determinada pela expressão:

$$E = P_r \cdot r^2$$

**Figura 32:** Intensidade de campo irradiado pela antena.

Em que:

- $P_r$  é a densidade de potência, em watts.
- $r$ , o raio do lóbulo de maior irradiação, em metros.

Para a antena isotrópica, que irradia igualmente em todas as direções, o volume de energia terá o formato de uma esfera, portanto teremos a seguinte relação:

$$P_r = \frac{P}{4\pi r^2}$$

**Figura 33:** Fórmula para a antena isotrópica.

### Ganho da antena

É o produto da eficiência pela diretividade da antena, em dBi:

$$G = \eta \cdot D$$

**Figura 34:** Ganho da antena.

### Relação frente-costas

É a relação entre a potência irradiada em uma direção predominante e a potência irradiada no mesmo eixo, mas no sentido oposto, expressa em dB:

$$R_{fc} = 10 \cdot \log \frac{P_f}{P_c}$$

**Figura 35:** Relação frente-costas.

### EIRP (effective isotropic radiation power)

É a potência da transmissão aplicada na antena isotrópica que proporciona o mesmo resultado da antena direcional em uso. Muito utilizada em comunicações na faixa de micro-ondas, principalmente em sistemas via satélite, é determinada por:

$$\text{EIRP (dBW)} = P_t \text{ (dBW)} + G \text{ (dBi)}$$

**Figura 36:** EIRP.

Em que:

- $P_t$  é a potência de transmissão, em dBW;
- $G$ , o ganho da antena, em dBi.

### Tipos de antenas

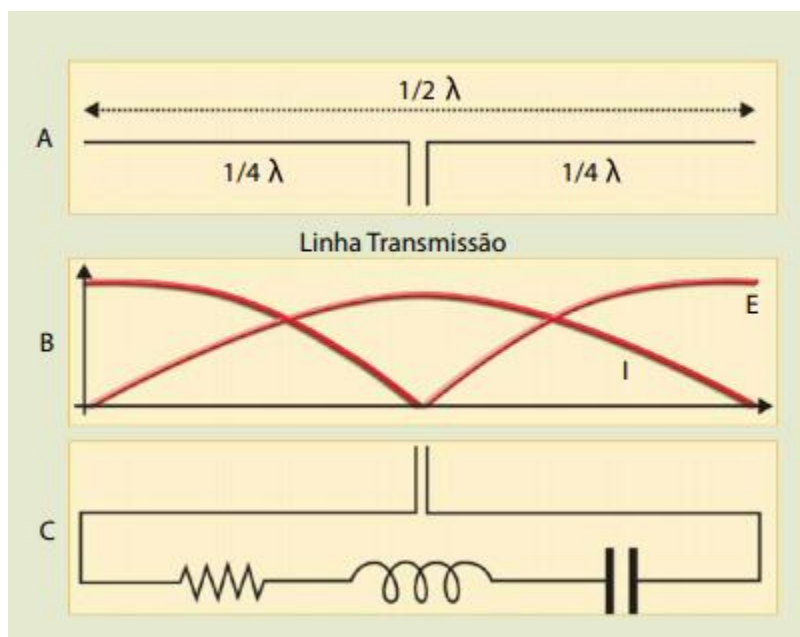
Os principais tipos de antenas são: dipolo, dipolo de meia onda, dipolo dobrado, dipolo de quarto de onda, Yagi-Uda e parabólica.

#### Antena dipolo

Formada basicamente por duas hastes condutoras, alimentadas pelo centro, por meio de uma linha de transmissão (par de fios ou cabo coaxial), por gerador de corrente de radiofrequência. O comprimento físico das hastes é igual ao comprimento de onda do sinal irradiado, de acordo com sua faixa de frequências de operação.

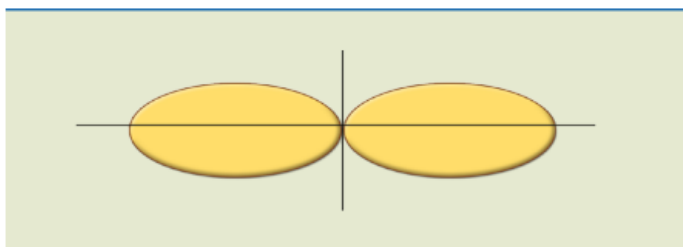
#### Antena dipolo de meia onda

Formada por dois condutores retilíneos, cada um com comprimento de  $1/4$  do comprimento de onda da radiação a ser emitida ou recebida.



**Figura 37:** Dipolo de meia onda.

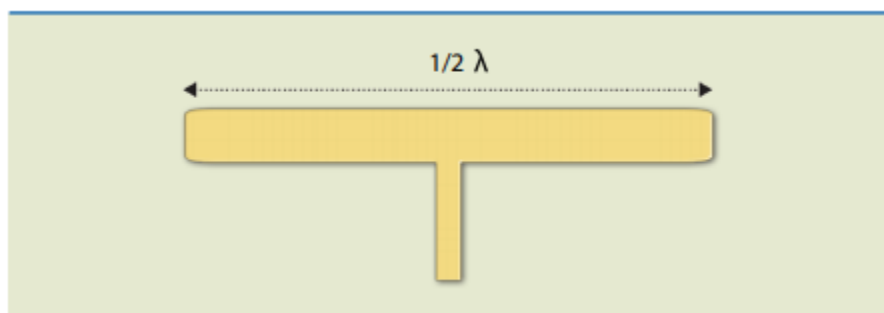
A impedância da antena dipolo de meia onda é de aproximadamente  $75 \Omega$ . Em relação à largura de feixe,  $\alpha = 78^\circ$ . Sua relação frente-costas é de 1:1 e o ganho é de 2,15 dBi. O diagrama de irradiação dessa antena é mostrado na próxima figura.



**Figura 38:** Diagrama de irradiação da antena dipolo de meia onda.

### Antena dipolo dobrado

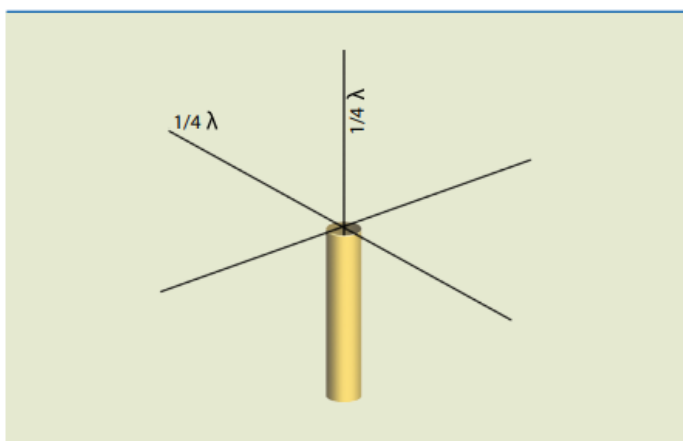
Formada por dois dipolos de meia onda em paralelo. Nessa situação, a impedância é multiplicada por  $2^2 = 4$ . Portanto,  $Z = 4 \cdot 72 = 288 \Omega$ . Tem valor de impedância próximo ao das linhas de transmissão bifilares de  $300 \Omega$  e é bastante recomendada em sinais de VHF, como nas transmissões de TV.



**Figura 39:** Dipolo dobrado.

### Antena dipolo de quarto de onda

Muito utilizada em comunicações móveis, tem funcionamento omnidirecional no plano horizontal (figura 40). O elemento excitador é um condutor vertical retilíneo de comprimento igual a  $1/4$  do comprimento de onda do sinal, que é ligado ao condutor central da linha de transmissão (cabo coaxial). Os elementos auxiliares fazem o plano de terra horizontal e as ondas refletidas interagem com a incidente, resultando em distribuição uniforme no plano horizontal. A impedância característica está na faixa dos  $36 \Omega$ .

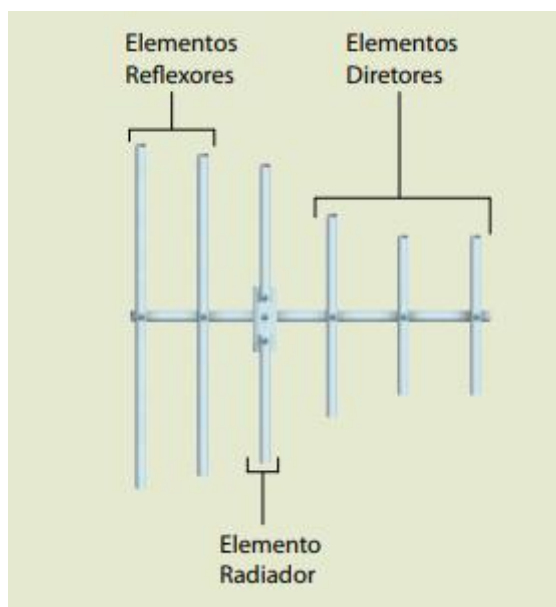


**Figura 40:** Dipolo de quarto de onda.

### Antena Yagi-Uda

Formada por dipolos em paralelo sobre um mesmo eixo, o principal deles chamado excitador, e elementos parasitas, denominados refletores e diretores, com a função de elevar o ganho da antena e sua relação frente-costas, diminuindo a largura do feixe.

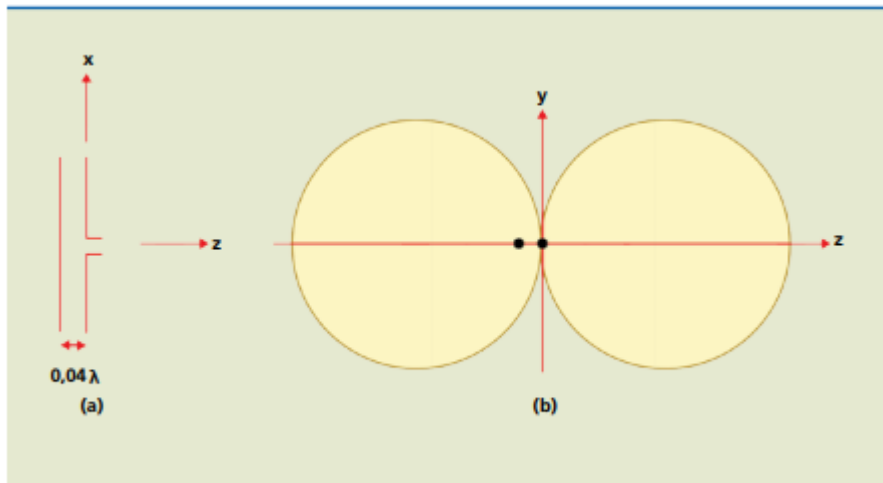
Os refletores ficam posicionados atrás do dipolo principal, funcionando como atenuadores das ondas incidentes pelas costas. Os diretores são posicionados na frente do dipolo principal, com o propósito de aumentar a diretividade da antena. Sua configuração é apresentada na figura 41.



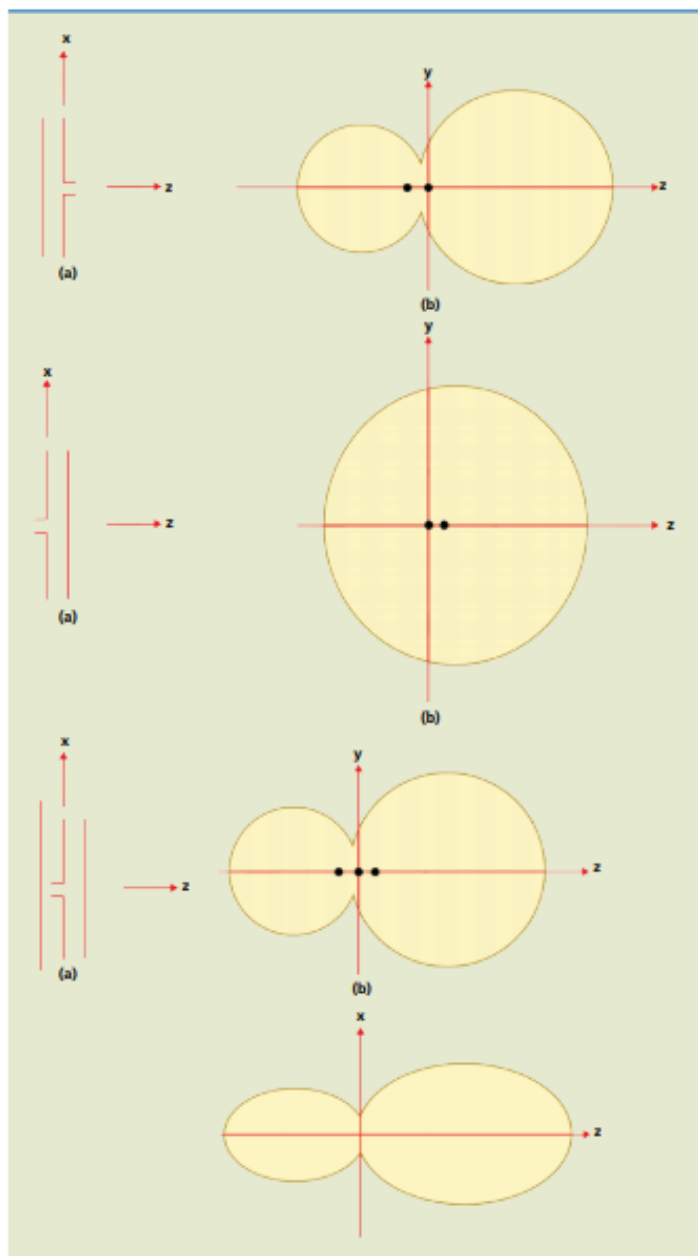
**Figura 41:** Elementos de uma antena Yagi-Uda.

Em sua configuração mais simples, esse tipo de antena possui dipolo radiador, além de um dipolo refletor. O grande número de dipolos refletores e diretores ajuda a aumentar o ganho da antena projetada, em relação a outra com menos dipolos.

A antena Yagi-Uda funciona da seguinte maneira: a alimentação é feita no dipolo principal, o excitador. Essa corrente excita os diretores e os refletores. A reirradiação resulta em uma superposição do campo elétrico no elemento ativo, provocando aumento de ganho. Na figura 42 é possível ter uma ideia dos diagramas de irradiação da antena Yagi-Uda, de acordo com o número de elementos que a compõem.



**Figura 42:** Diagramas de irradiação de uma antena Yagi-Uda.



**Figura 43:** Diagramas de irradiação de uma antena Yagi-Uda.

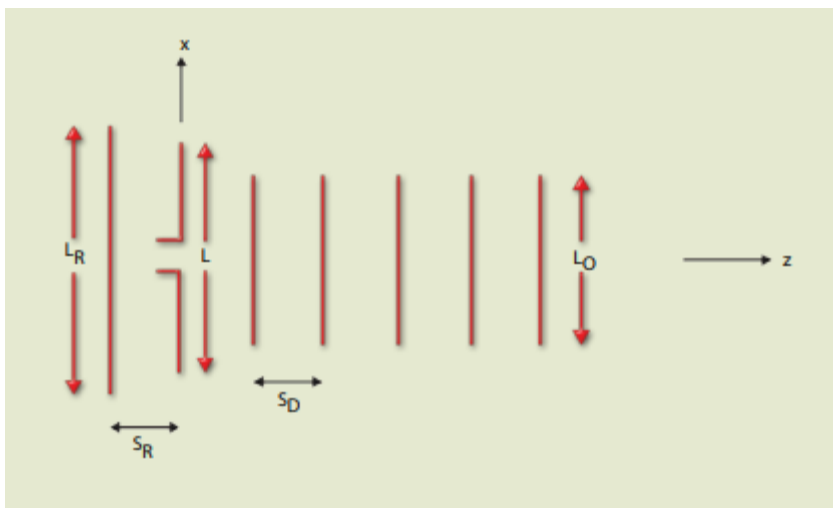
Podemos observar que, à medida que são inseridos elementos parasitas, o diagrama de irradiação da antena é alterado. Os espaçamentos entre os elementos diretor, refletor e ativo e as dimensões desses elementos determinam as características de irradiação e impedância de entrada da antena, como mostram a tabela 3 e a figura 44, em que:

- $N$  é o número de elementos;
- $LR$ , o tamanho do refletor;
- $L$ , o tamanho do elemento ativo;

- LD é o tamanho do diretor.

| N, nº de Elem. | Espaçamento | LR    | L     | LD    | ganho | relação frente/costa | Impedância entrada | HPH | HPE |
|----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|--------------------|-----|-----|
| 3              | 0,25        | 0,479 | 0,453 | 0,451 | 9,4   | 5,6                  | $22,3 + j15,0$     | 84  | 66  |
| 4              | 0,15        | 0,486 | 0,456 | 0,453 | 9,7   | 8,2                  | $36,7 + j9,6$      | 84  | 66  |
| 4              | 0,20        | 0,503 | 0,474 | 0,463 | 9,3   | 7,5                  | $5,6 + j20,7$      | 64  | 54  |
| 4              | 0,25        | 0,486 | 0,463 | 0,456 | 10,4  | 6,0                  | $10,3 + j23,5$     | 60  | 52  |
| 4              | 0,30        | 0,475 | 0,453 | 0,446 | 10,7  | 5,2                  | $25,8 + j23,2$     | 64  | 56  |
| 5              | 0,15        | 0,505 | 0,476 | 0,456 | 10,0  | 13,1                 | $9,6 + j13,0$      | 76  | 62  |
| 5              | 0,20        | 0,486 | 0,462 | 0,449 | 11,0  | 9,4                  | $18,4 + j17,6$     | 68  | 58  |
| 5              | 0,25        | 0,477 | 0,451 | 0,442 | 11,0  | 7,4                  | $53,3 + j6,2$      | 66  | 58  |
| 5              | 0,30        | 0,482 | 0,459 | 0,451 | 9,3   | 2,9                  | $19,3 + j39,4$     | 42  | 40  |
| 6              | 0,20        | 0,482 | 0,456 | 0,437 | 11,2  | 9,2                  | $51,3 + j1,9$      | 68  | 58  |
| 6              | 0,25        | 0,484 | 0,459 | 0,446 | 11,9  | 9,4                  | $23,2 + j21$       | 56  | 50  |
| 6              | 0,30        | 0,472 | 0,449 | 0,437 | 11,6  | 6,7                  | $61,2 + j7,7$      | 56  | 52  |
| 7              | 0,20        | 0,489 | 0,463 | 0,444 | 11,8  | 12,6                 | $20,6 + j16,8$     | 58  | 52  |
| 7              | 0,25        | 0,477 | 0,454 | 0,434 | 12,0  | 8,7                  | $57,2 + j1,9$      | 58  | 52  |
| 7              | 0,30        | 0,475 | 0,455 | 0,439 | 12,7  | 8,7                  | $35,9 + j21,7$     | 50  | 46  |

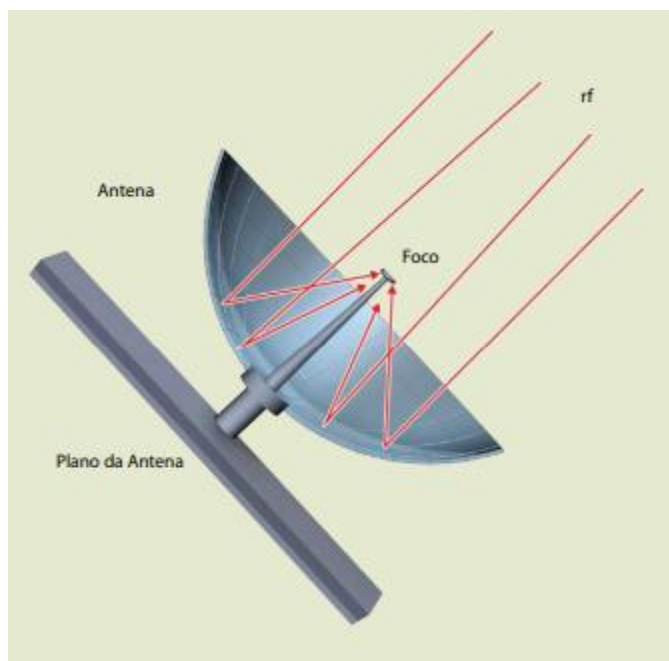
**Tabela 3:** Características da antena Yagi-Uda



**Figura 44:** Relação entre as características técnicas da antena Yagi-Uda.

## Antena parabólica

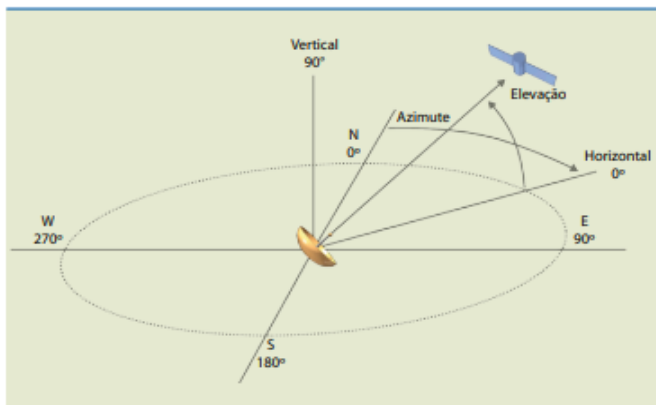
Vimos que, à medida que a frequência do sinal aumenta, seu comprimento de onda diminui, refletindo diretamente no comprimento da antena de transmissão ou de recepção. Desse modo, a antena necessita de um elemento capaz de melhorar a concentração de feixes de onda, ou seja, um refletor. Com tal elemento, a diretividade e o ganho da antena aumentam. As antenas que operam na faixa de micro-ondas possuem um refletor parabólico, capaz de concentrar os feixes de onda perpendiculares ao plano da antena em um ponto específico, chamado foco, exatamente onde a antena é posicionada.



**Figura 45:** Sinais perpendiculares incidindo na parábola.

Para o correto posicionamento de uma antena parabólica, é preciso levar em consideração dois aspectos (figura 46):

- Ângulo de elevação: Inclinação da antena (em graus) em relação ao solo.
- Azimute: Posicionamento da antena em relação ao Norte (direita/esquerda). Por exemplo, um azimute de  $15^\circ$  significa que a antena ficará apontada  $15^\circ$  à direita do norte; um azimute de  $345^\circ$ , que a antena ficará  $15^\circ$  à esquerda do norte ( $345^\circ - 360^\circ = -15^\circ$ ).



**Figura 46:** Posicionamento de uma antena parabólica.

Como a antena parabólica possui diretividade alta, qualquer ângulo de elevação (vertical) ou azimute (horizontal) fora de posição pode causar perda de recepção de um sinal de satélite.

O ganho de uma antena parabólica varia entre 20 e 35 dBi. Entretanto, não apresenta rendimento muito elevado, da ordem de 55%, devido a perdas de energia.

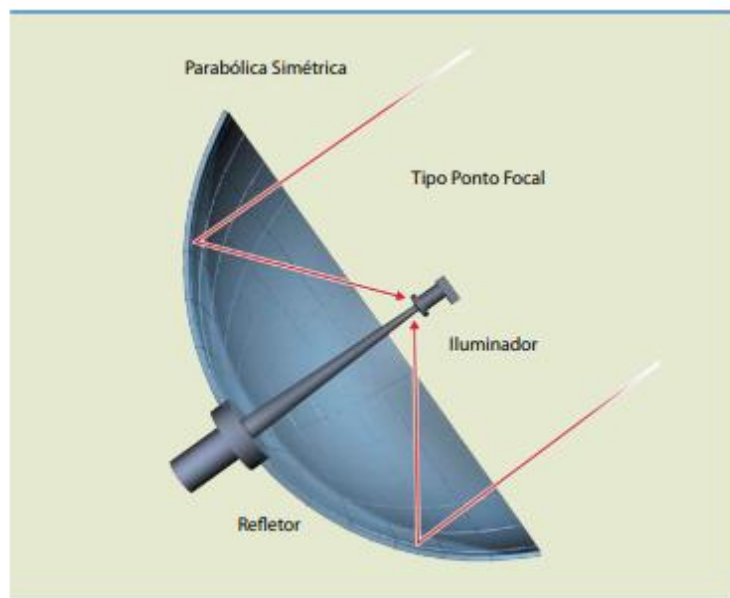
Uma antena parabólica típica para recepção de sinais de satélite é formada por (figura 47):

- Refletor parabólico – Direciona todo o sinal recebido para o foco.
- Iluminador – Segura a corneta corrugada.
- Corneta corrugada ou *feedhorn* – Guia os sinais emitidos pelo refletor até o dipolo que fica em seu interior.
- Polo rotor – Coloca o dipolo na polarização vertical ou horizontal.
- Elemento amplificador (LNA, LNB, LNC) – Amplifica os sinais recebidos. O LNB e o LNC também convertem o sinal recebido para uma frequência mais baixa.

Tipos e diferenças entre os elementos amplificadores:

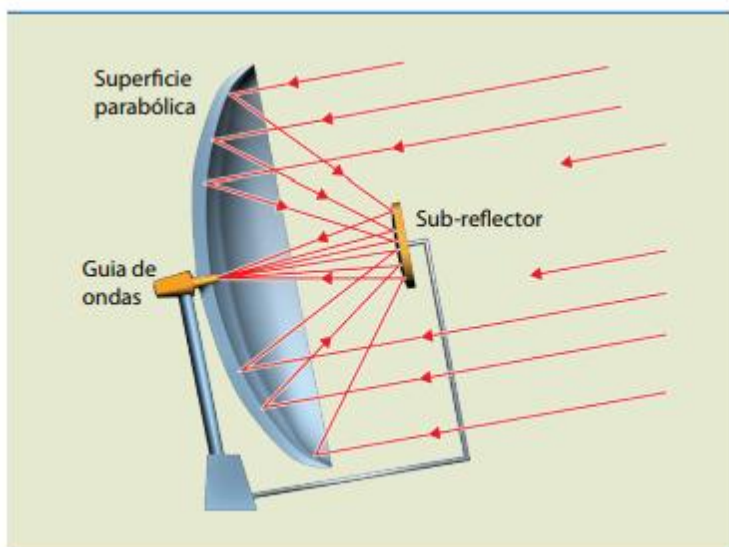
- LNA (*low noise amplifier* – amplificador de baixo ruído) – Faz apenas a amplificação do sinal. Foi o primeiro tipo a ser utilizado, operando na banda C de recepção via satélite, na faixa de 3,7 a 4,2 GHz.
- LNB (*low noise blockconverter* – conversor de baixo ruído) – Amplifica o sinal recebido na faixa de 3,7 a 4,2 GHz e o converte para a faixa de 950 a 1 450 MHz. Atualmente é o mais empregado.

- LNC (*low noise block downconverter* – conversor “abaixador” de baixo ruído) – Amplifica o sinal recebido e o converte para a frequência de 70 MHz. É usado principalmente na recepção de dados via satélite.



**Figura 47:** Elementos de uma antena parabólica.

Outro tipo de antena parabólica é a Cassegrain, de duplo refletor. Seu diferencial é o telescópio desenvolvido por William Cassegrain no século XVII. Nessa antena, o sinal recebido é refletido duas vezes, uma pelo receptor principal e outra pelo sub-refletor, de forma hiperbólica, chegando ao elemento amplificador, posicionado atrás da antena. Para que o elemento amplificador possa receber o sinal, o centro da antena é vazado. A antena Cassegrain apresenta melhor ganho do que a parabólica com um único refletor (figuras 48 e 49).



**Figura 48:** Incidência de ondas na antena Cassegrain.



**Figura 49:** Antena cassegrain.



**VOCÊ SABIA?**

***Cinco argumentos contra esse papo maluco da Terra plana***

**ECLIPSES DA LUA**

O único jeito de explicar os eclipses lunares é o alinhamento entre Sol, Terra e Lua, de tal maneira que a sombra da Terra é projetada sobre o satélite natural. Essa sombra, veja você, é redonda - o que só é possível se a Terra for uma esfera, não uma tábua de frios.

### **CIRCUNAVEGAÇÃO**

Desde o começo do século 16 os navegadores – e, desde o século passado, os aviadores – sabem que dá para sair de um ponto do planeta e avançar em linha reta toda vida até retornar ao mesmo lugar de onde vieram. Isso só é possível num planeta redondo.

### **FUSOS HORÁRIOS**

O único jeito de explicar as diferenças de horário entre lugares distantes na Terra é por meio da rotação e do formato esférico do planeta. Se o Sol iluminasse alguns lugares primeiro e outros depois, feito um holofote, seria possível vê-lo num canto do céu mesmo à noite.

### **OUTROS PLANETAS**

Não é só foto da Nasa: desde o século 17 até a mais humilde luneta mostra que outros planetas e satélites costumam ser esféricos. Por que só a Terra seria a exceção?

### **ESTRELAS NO CÉU**

Se estivéssemos todos em cima de um tampo de mesa de proporções planetárias, todos veríamos as mesmas constelações no céu. Como a Terra é um globo, quem mora em Nova York não consegue ver nosso Cruzeiro do Sul, enquanto os moradores não conseguem ver a estrela Polar, da constelação da Ursa Menor.



### **VOCÊ SABIA?**

***Comunicação wireless – principais barreiras que interferem no sinal***

As ondas emitidas pelas antenas dos componentes da rede sem fios são muito sensíveis a barreiras, por isso, o ideal é que não exista nenhum obstáculo físico entre elas.

Mas, na prática, é muito difícil que isso não ocorra, podendo sempre haver perda de sinal. Isso irá interferir, principalmente, no alcance do sinal e na velocidade de transmissão dos dados.

Interferências causam danos aos usuários:

- Quanto mais longe da central sem fio, menor é a taxa de transferência de dados;
- Há uma perda intermitente ou até mesmo perda total de conexão;
- Dificuldade de estabelecer uma conexão entre dispositivos sem fio.

Fontes de interferência mais comuns:

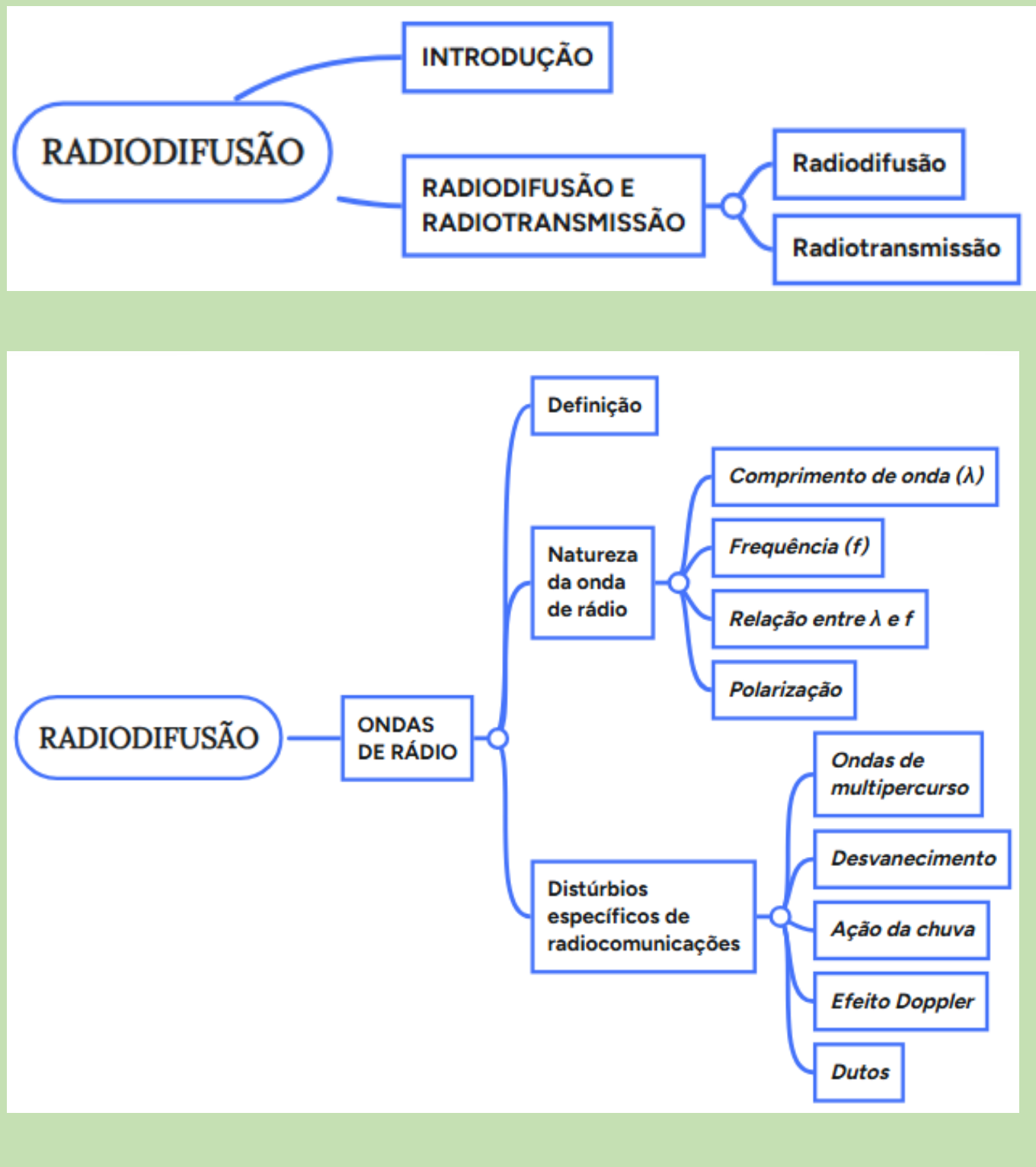
- Telefones sem fio de 2,4 ou 5 GHz: esses telefones que operam na mesma frequência dos aparelhos sem fio causam interferência no sinal, causando perda de dados ou perda de conexão entre cliente e estação base.
- Fontes elétricas externas: como estação de energia elétrica e linhas de alimentação.
- Fontes micro-ondas: utilizar o forno micro-ondas perto de computadores e roteadores wi-fi pode causar interferência.
- Espelho d'água: rios e lagoas refletem muito o sinal, podendo causar severa perda no sinal.

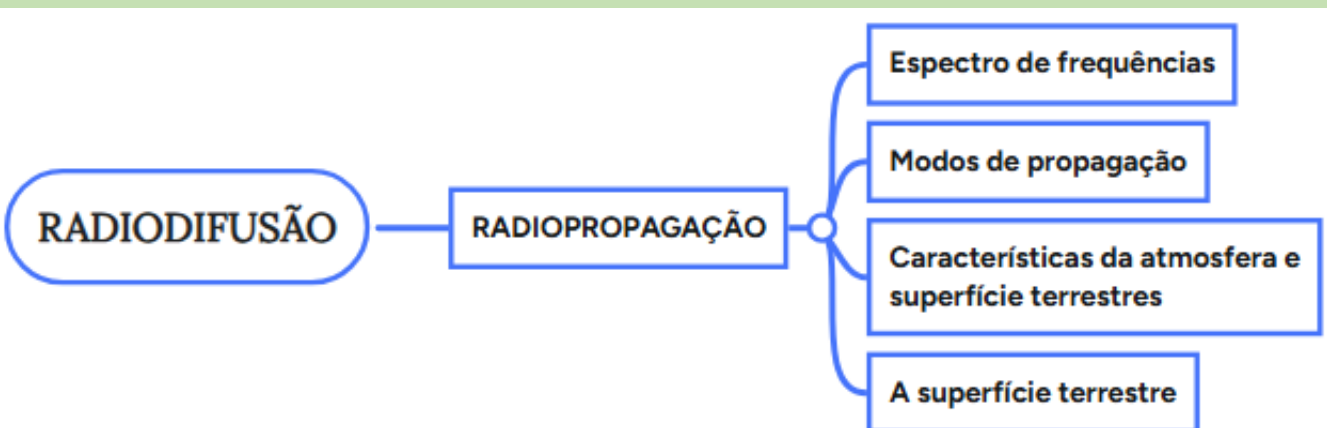
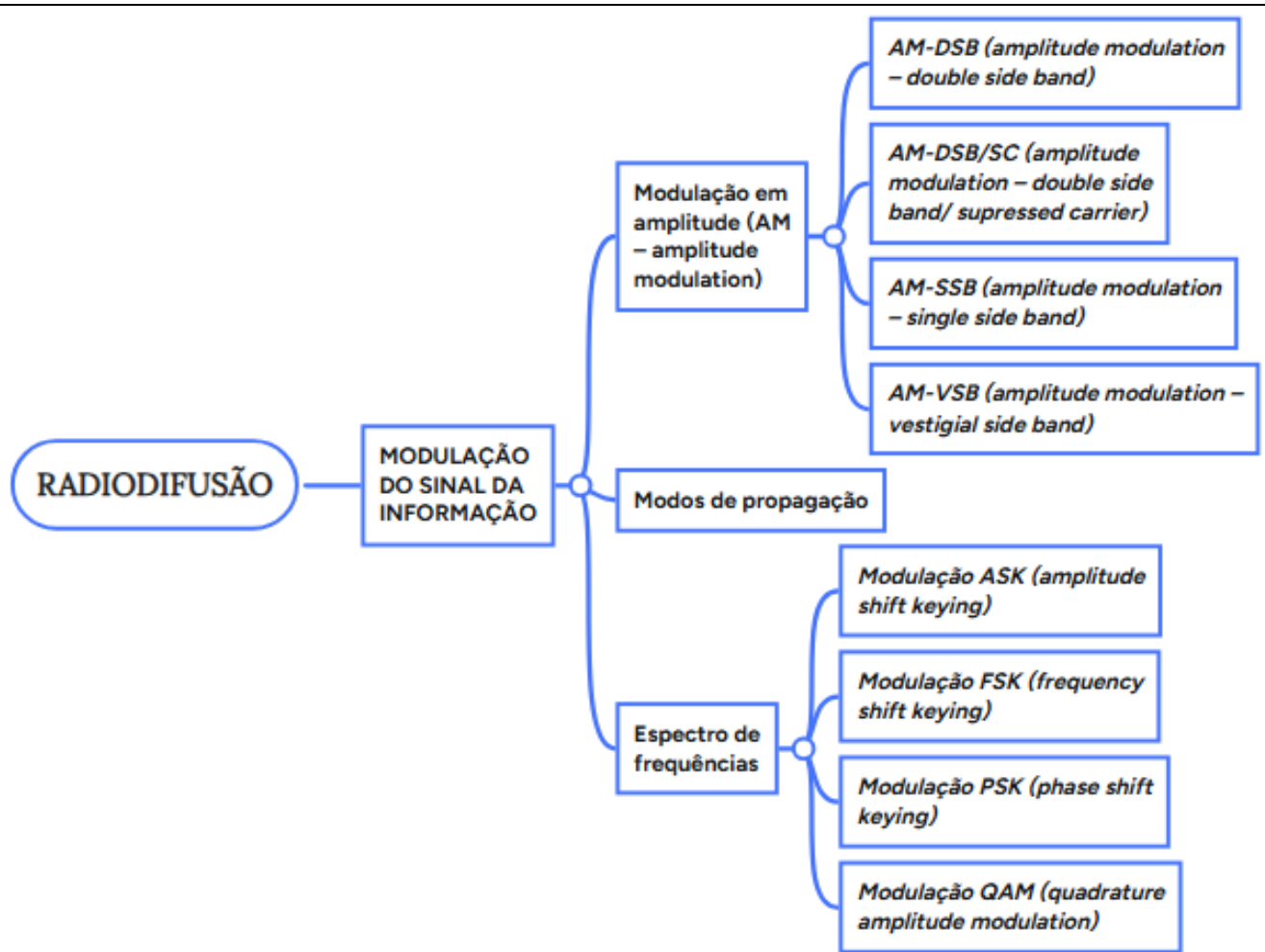
Potencial de interferência de certos materiais

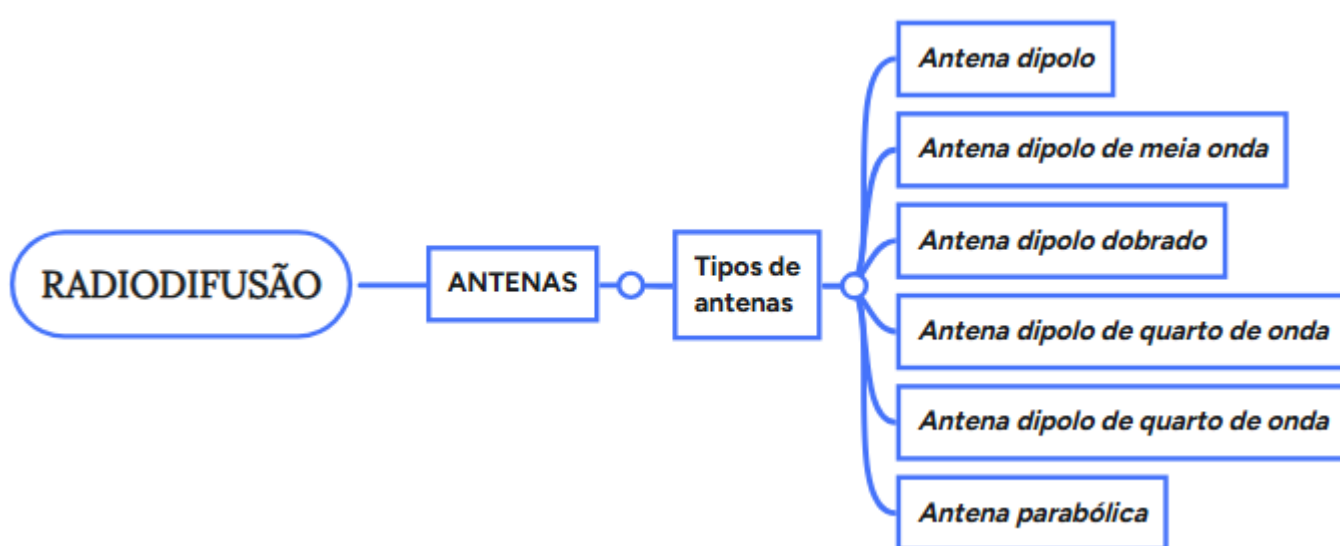
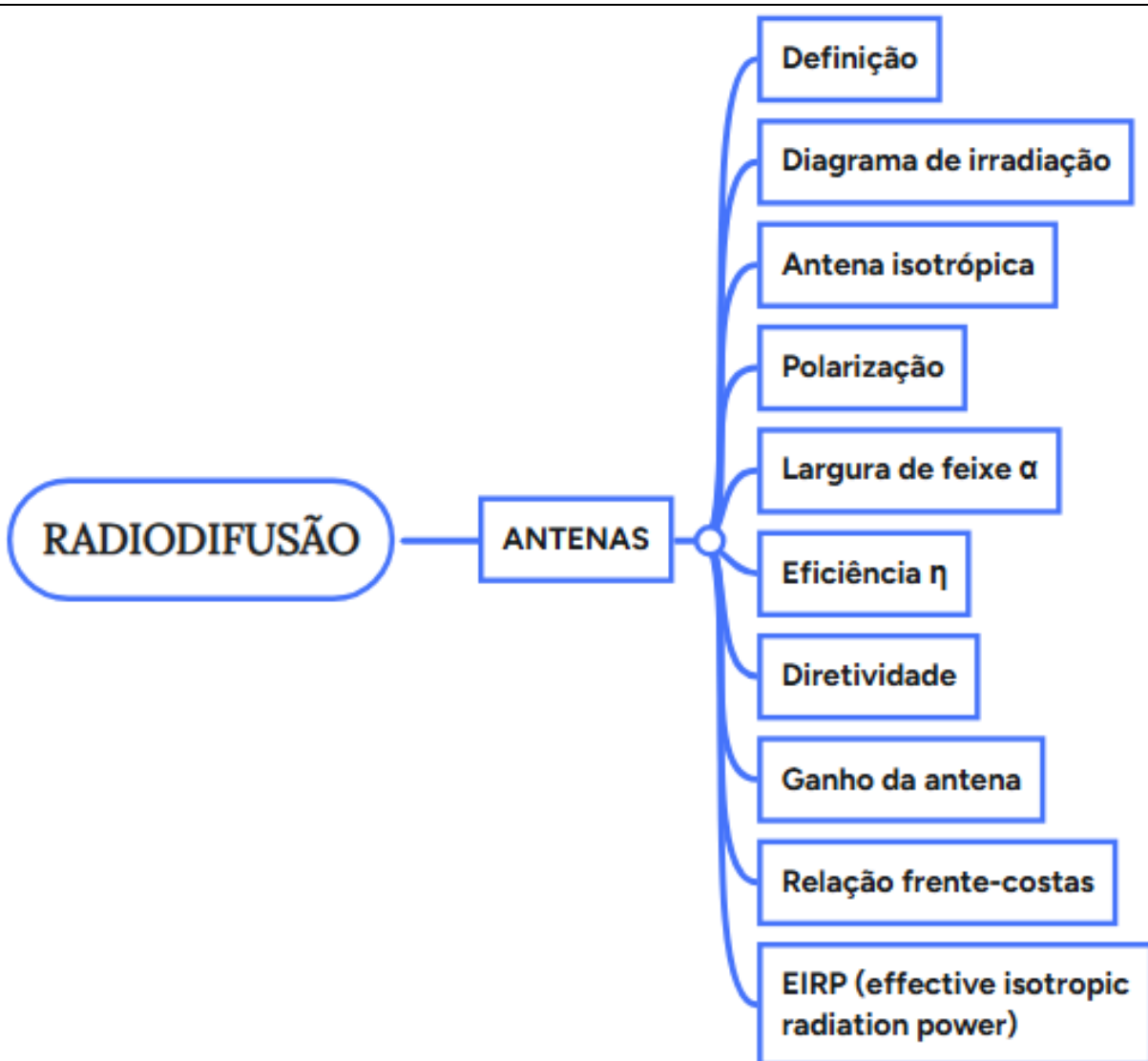
- Madeira, gesso, vidro e resina: baixo potencial de interferência.
- Tijolo e mármore: médio potencial de interferência.
- Concreto e vidro blindado: alto potencial de interferência.
- Metal: o mais alto potencial de interferência.

## SESSÕES ESPECIAIS

## MAPA DE ESTUDO







## SÍNTESE DIRETA

### 1. INTRODUÇÃO

A introdução apresenta os conceitos iniciais sobre a importância da radiodifusão e seus impactos na sociedade moderna.

### 2. RADIODIFUSÃO E RADIOTRANSMISSÃO

- **Radiodifusão:** transmissão de sinais (áudio, vídeo) para o público em geral via rádio e TV.
- **Radiotransmissão:** envio de sinais por meio de ondas eletromagnéticas entre dois pontos definidos.

### 3. ONDAS DE RÁDIO

- **Definição:** ondas eletromagnéticas utilizadas na comunicação sem fio.
- **Natureza da onda de rádio:** características fundamentais como comprimento de onda ( $\lambda$ ), frequência ( $f$ ), e polarização.
- ✓ **Comprimento de onda ( $\lambda$ ):** distância entre dois picos consecutivos da onda.
- ✓ **Frequência ( $f$ ):** número de oscilações por segundo da onda.
- ✓ **Relação entre  $\lambda$  e  $f$ :** aumentando uma, diminui-se a outra.
- ✓ **Polarização:** orientação da onda no espaço.
- **Distúrbios específicos de radiocomunicações:** fatores que afetam a propagação do sinal.
- ✓ **Ondas de multipercurso:** reflexões que causam interferência.
- ✓ **Desvanecimento:** perda de intensidade do sinal.
- ✓ **Ação da chuva:** atenuação de sinais de alta frequência.
- ✓ **Efeito Doppler:** variação de frequência percebida com movimento.
- ✓ **Dutos:** canalizações atmosféricas que afetam a propagação.

#### 4. MODULAÇÃO DO SINAL DA INFORMAÇÃO

- **Modulação em amplitude (AM):** varia a amplitude da onda para transmitir dados.
- ✓ **AM-DSB:** banda lateral dupla.
- ✓ **AM-DSB/SC:** banda dupla com portadora suprimida.
- ✓ **AM-SSB:** banda lateral única.
- ✓ **AM-VSB:** banda lateral vestigial.
- **Modulação angular:** baseada na variação de fase ou frequência.
- **Modulação digital:** transmissão de dados binários por variações no sinal.
- ✓ **ASK:** modulação por chaveamento de amplitude.
- ✓ **FSK:** modulação por chaveamento de frequência.
- ✓ **PSK:** modulação por chaveamento de fase.
- ✓ **QAM:** combinação entre modulação em amplitude e fase.

#### 5. RADIOPROPAÇÃO

- **Espectro de frequências:** faixas usadas para diferentes aplicações de telecomunicação.
- **Modos de propagação:** formas pelas quais as ondas se propagam (direta, refletida, refratada, etc.).
- **Características da atmosfera e superfície terrestres:** influências naturais na propagação das ondas.
- **A superfície terrestre:** papel do relevo e composição do solo na recepção dos sinais.

#### 6. ANTENAS

- **Definição:** dispositivos que transmitem ou recebem ondas eletromagnéticas.
- **Diagrama de irradiação:** representação gráfica da emissão da antena.
- **Antena isotrópica:** modelo ideal que irradia igualmente em todas as direções.
- **Polarização:** direção do campo elétrico da onda.
- **Largura de feixe  $\alpha$ :** abertura angular do feixe principal de radiação.
- **Eficiência  $\eta$ :** relação entre energia irradiada e fornecida à antena.

- **Diretividade:** capacidade da antena em concentrar energia numa direção.
- **Ganho da antena:** medida de amplificação da radiação em determinada direção.
- **Relação frente-costas:** diferença de intensidade entre frente e verso da antena.
- **EIRP:** potência irradiada equivalente de uma antena isotrópica.
- **Tipos de antenas:**
  - ✓ **Dipolo:** Simples e usado como referência.
  - ✓ **Dipolo de meia onda:** Muito comum em sistemas de rádio.
  - ✓ **Dipolo dobrado:** Apresenta melhor adaptação de impedância.
  - ✓ **Dipolo de  $\frac{1}{4}$  de onda:** Compacta, usada em dispositivos móveis.
  - ✓ **Yagi-Uda:** Direcional, com grande ganho.
  - ✓ **Parabólica:** Alta diretividade e foco em micro-ondas.

### MOMENTO QUIZ

1. Nossa pele possui células que reagem à incidência de luz ultravioleta e produzem uma substância chamada melanina, responsável pela pigmentação da pele. Pensando em se bronzear, uma garota vestiu um biquíni, acendeu a luz de seu quarto e deitou-se exatamente abaixo da lâmpada incandescente. Após várias horas ela percebeu que não conseguiu resultado algum. O bronzeamento não ocorreu porque a luz emitida pela lâmpada incandescente é de:
  - a) Baixa intensidade.
  - b) Um espectro contínuo.
  - c) Amplitude inadequada.
  - d) Baixa frequência.
  - e) Curto comprimento de onda.
2. Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.

A luz é uma onda eletromagnética formada por campos elétricos e magnéticos que variam no tempo e no espaço e que, no vácuo, são ..... entre si. Em um feixe de luz polarizada, a direção da polarização é definida como a direção ..... da onda.

- a) Paralelos – do campo elétrico.
- b) Perpendiculares – do campo elétrico.
- c) Perpendiculares – do campo magnético.
- d) Perpendiculares – de propagação
- e) Paralelos – do campo magnético.

**3. Marque M para ondas do tipo mecânica e E para ondas do tipo eletromagnéticas.**

- ( ) Ondas do mar.
- ( ) Ondas sonoras.
- ( ) Ondas de radiofrequência.
- ( ) Ondas nas cordas de um piano.
- ( ) Bluetooth.
- ( ) Raios X.
- ( ) Ondas produzidas pelo aparelho de ultrassonografia.

- a) M,M,M,E,M,E,M.
- b) M,M,E,M,E,E,M.
- c) M,M,M,M,E,E,E.
- d) E,E,E,E,E,E,E.
- e) E,E,E,M,M,M,M.

**4. As antenas das emissoras de rádio emitem ondas eletromagnéticas que se propagam na atmosfera com a velocidade da luz ( $3,0 \cdot 10^8$  km/s) e com frequências que variam de uma estação para a outra. A rádio CBN emite uma onda de frequência 90,5 MHz e comprimento de onda aproximadamente igual a:**

- a) 4,9 m.
- b) 5,2 m.
- c) 4,2 m.
- d) 2,8 m.
- e) 3,3 m.

**5. Sobre as ondas eletromagnéticas, assinale a alternativa INCORRETA:**

- a) As ondas eletromagnéticas não podem ser polarizadas.
- b) As ondas eletromagnéticas são longitudinais.
- c) As ondas eletromagnéticas são produzidas pela oscilação dos campos elétrico e magnético.
- d) Ondas eletromagnéticas não são capazes de carregar matéria, somente energia.
- e) Podem existir ondas eletromagnéticas de polarização vertical, horizontal e circular.

## GABARITO QUIZ

| QUESTÃO | ALTERNATIVA |
|---------|-------------|
| 1       | D           |
| 2       | B           |
| 3       | B           |
| 4       | E           |
| 5       | A           |

## REFERÊNCIAS

GOMES, Alcides Tadeu. Telecomunicações: transmissão e recepção. São Paulo: Erica. 1995.

MIYOSHI, Edson Mitsugo; SANCHES, Carlos Alberto. Projetos de sistemas rádio. 1a ed. São Paulo: Erica. 2002.

MORAES, Alexandre Fernandes de. Redes de Computadores: fundamentos. 1a ed. São Paulo: Erica. 2004.

RIBEIRO, Justino José Antônio. Comunicações ópticas. 4a ed. São Paulo: Érica. 2011.

SAMPAIO, Marcelo Alencar de; QUEIROZ, Wamberto José Lira de. Ondas eletromagnéticas e teoria de antenas. 1a ed. São Paulo: Erica. 2010.

SOARES NETO, Vicente. Telecomunicações: sistemas de modulação. 1a ed. São Paulo: Erica 2005.

SVERZUT, José Umberto. Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: evolução a caminho da quarta geração (4G). 2a ed. São Paulo: Érica. 2007.



**OBRIGADO!**  
CONTINUE ESTUDANDO.