

0.1 *Transmissão Eletromagnética*

A comunicação através do rádio está relacionada com a existência de uma onda eletromagnética interligando uma estação transmissora a uma ou mais estações receptoras, como mostra a figura 1. A estação transmissora é normalmente composta por um transmissor, que gera a energia de radiofrequência, uma linha de transmissão, que serve para conduzir a energia de RF produzida pelo transmissor, e uma antena, que transforma essa energia em uma onda eletromagnética. A estação receptora é composta por uma antena, uma linha de transmissão e um receptor. A finalidade da antena receptora é extrair uma parte da energia da onda eletromagnética até o receptor, onde é devidamente processada.

Uma OEM (Onda Eletromagnética) é composta por um campo elétrico \vec{E} e um campo magnético \vec{H}

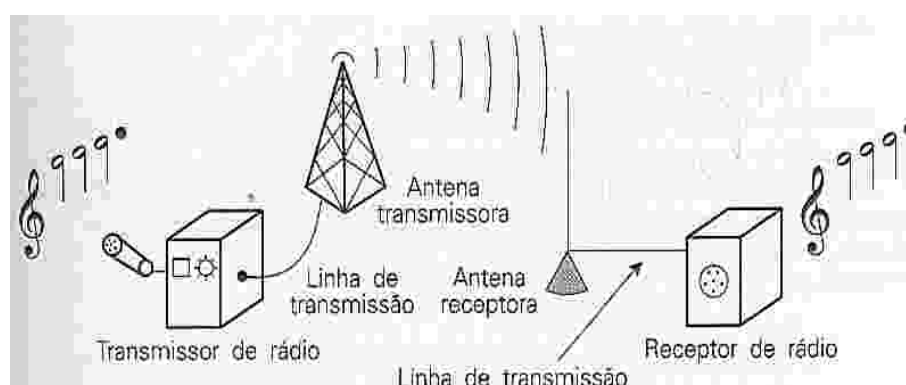


Figura 1: Sistema de comunicação via rádio

perpendiculares entre si e ao sentido de propagação \vec{P} , como mostra a figura 2. A OEM propaga-se

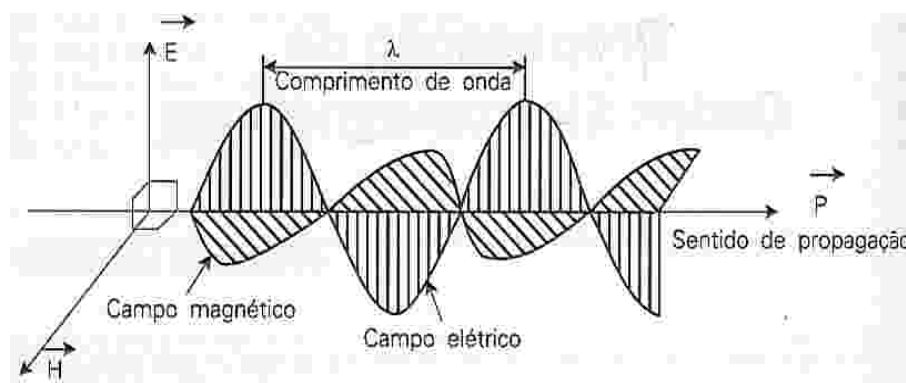


Figura 2: Onda eletromagnética polarizada verticalmente

no vácuo à velocidade da luz. Duas cristas consecutivas do campo elétrico estarão separadas por uma distância igual ao seu comprimento de onda, dado por:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

onde:

$\lambda \Rightarrow$ comprimento de onda, em m

$c \Rightarrow$ velocidade da luz, igual a 3×10^8 m/s

$f \Rightarrow$ frequência da OEM, em Hz

A direção do campo elétrico de uma OEM é paralela ao eixo longitudinal do elemento irradiante da antena e determina sua polarização, como mostra a figura 3.

No espaço, as OEM espalham-se uniformemente em todas as direções a partir do ponto de origem,

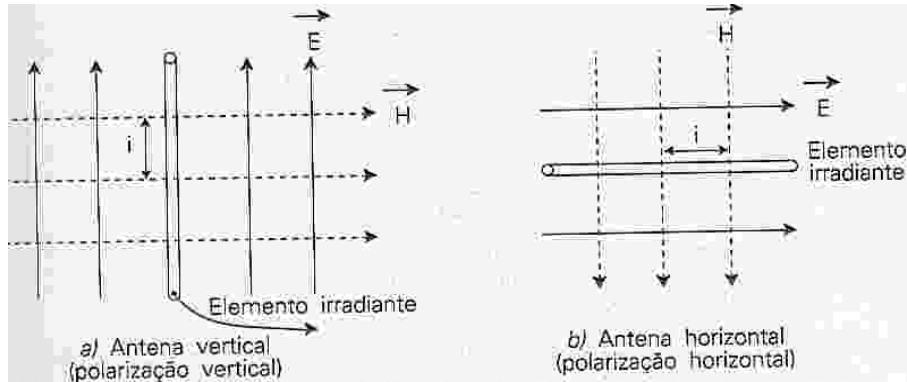


Figura 3: Polarização de uma onda eletromagnética

fazendo com que a densidade de potência seja inversamente proporcional ao quadrado da distância, como mostra a figura 4.

O enfraquecimento da OEM, nessas condições, é um fenômeno puramente geométrico e sua inten-

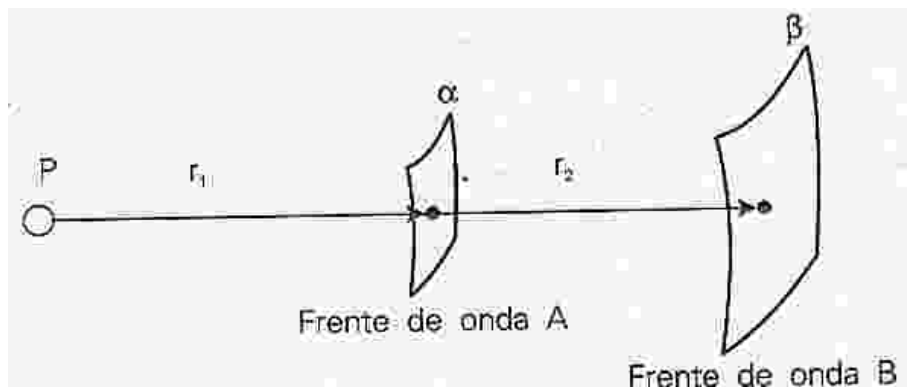


Figura 4: Frente de onda esféricas irradiadas por uma fonte isotrópica

sidade é dada por:

$$P = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (2)$$

onde:

$P \Rightarrow$ a densidade de potência à distância r de uma fonte isotrópica, em W/m^2

$r \Rightarrow$ distância entre a origem e a frente de onda, em m;

$P_t \Rightarrow$ potência transmitida, em W.

Exemplo: Calcular a densidade de potência a 10 km de uma fonte isotrópica de 10W.

obs: Uma fonte isotrópica irradia a onda eletromagnética uniformemente em todas as direções.

Quando uma OEM se propaga na superfície terrestre, ou seja, em condições diversas daquelas do espaço livre, percebe-se a ocorrência de reflexão, refração e difração, como mostra a figura 5, de forma semelhante ao que ocorre nas ondas de luz, descontadas as diferenças de comprimento de

onda.

Como no caso das ondas luminosas, a reflexão depende da existência de uma superfície condutora.

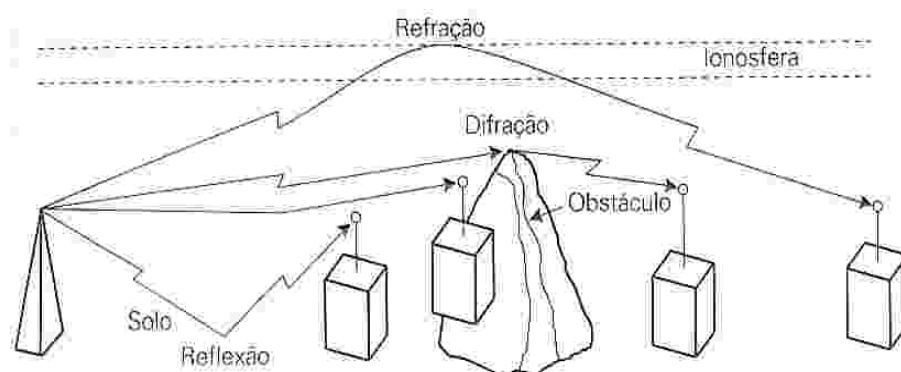


Figura 5: Reflexão, refração e difração de uma OEM

Também é importante que o vetor do campo elétrico da OEM seja perpendicular a essa superfície. A relação entre a intensidade da onda refletida e da onda incidente é chamada de coeficiente de reflexão, e varia de 0, para isolantes, até 1, para condutores perfeitos.

A reflexão mais comum são as que ocorrem em montanhas, solos e edifícios.

A refração ocorre da passagem da onda eletromagnética por regiões com índices de refrações diferentes, ocasionando o fenômeno da reflexão ionosférica, causada pela variação da densidade ionosférica e conseqüentemente do seu índice de refração, vemos um exemplo disto na figura 6

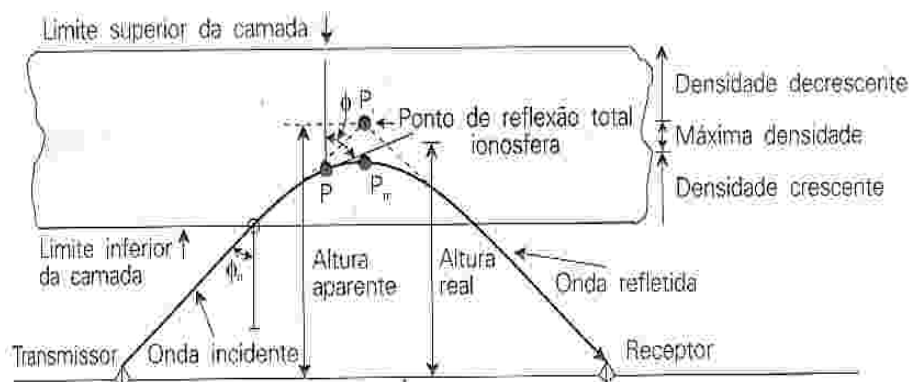


Figura 6: Reflexão na camada ionosférica

0.1.1 Propagação eletromagnética no espaço

Se as ondas de rádio se propagam, diferentemente, conforme suas frequência, podendo, ou não, atingir o destinatário, é importante conhecer este mecanismo de propagação. Suponhamos um transmissor potente, cuja antena irradie em todas as direções, ondas esféricas e concêntricas. As partes inferiores das ondas se arrastam sobre a superfície da Terra e se inclinam um pouco, deformando a forma esférica. As partes superiores se expandem livres para o espaço. A parte inferior perde energia para o terreno e, portanto, sofre mais atenuação que a superior, sendo denominada "onda terrestre".

A parte das ondas que se dirige para o espaço encontra a ionosfera, composta de 3 camadas sucessivas, que vão de 80Km a 300Km de altura, conforme mostra a figura 6. Dependendo da frequência, a onda

se refrata em uma altitude intermediária e volta para a Terra. Ao atingir a Terra, após a primeira zona de silêncio, diz-se que a onda deu o "primeiro pulo". Nesse ponto, por vezes a milhares de quilômetros do transmissor, a recepção fica boa novamente, podemos ver através da figura 7 o pulo realizado pelo onda eletromagnética, considerando o planeta terra.

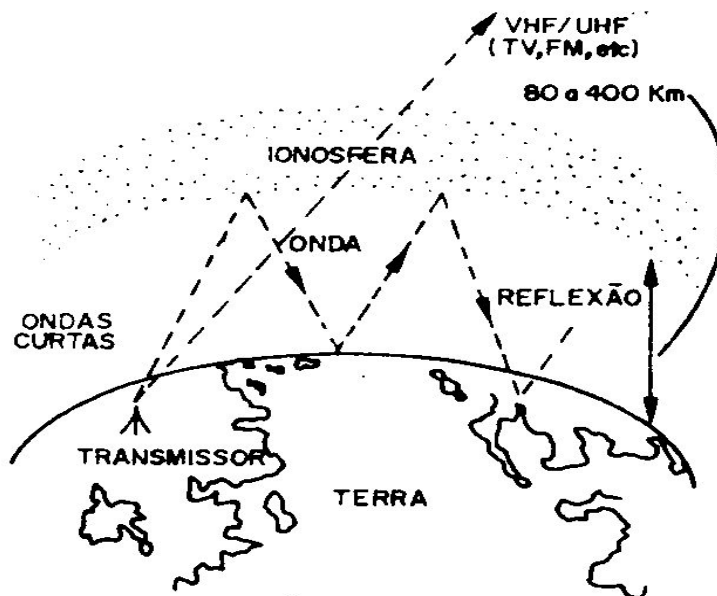


Figura 7: Reflexão na camada ionosférica

As estações locais de radiodifusão, que apenas cobrem regiões próximas, operam em frequência mais baixas- ondas médias ou "medium waves" (535kHz - 1605kHz) e usam a onda terrestre. Os programas internacionais operam em frequência mais elevadas - ondas curtas ou "SHORT WAVES" (2MHz - 25MHz) utilizam as ondas celestes (ondas refletidas na ionosfera, este tipos de propagações podemos observar na figura 8.

E, se elevarmos mais a frequência do transmissor? Nesse caso, as ondas já começam a se comportar como ondas de luz: podem ser enfocadas, caminham em linha reta, etc. Esta gama de frequências entra na faixa denominada VHF (Very High Frequency), usada nas rádios FM e TV, e na faixa UHF (Ultra High Frequency), usada em TV e Telecomunicações. Frequências mais elevadas ainda entram na denominação genérica de microondas (comprimento de onda muito curto, da ordem de centímetros). Acontece que a ionosfera se torna mais "transparente" para frequências mais altas, podemos observar na figura 9 a onda eletromagnética ultrapassando a camada ionosférica e indo para o espaço. Nesta frequências que utilizamos as comunicações via satélite.

Nestas frequências podemos imaginar que a antena transmissora deve iluminar diretamente a receptora, não podendo haver obstáculos intermediários (morros, prédios, etc). Por este motivo, este tipo de propagação é denominada "visada direta". Na figura 10 temos uma OEM que não consegue chegar na antena de uma das residências devido a curvatura da terra, devido a isso, não se pode ver TV ou escutar FM de emissoras distantes. Para que isto aconteça é necessário se transmitir estes programas, via sistema de telecomunicações e irradiá-los nas cidades de interesse. Um exemplo pode ser visto na figura 11, onde o sinal a ser transmitido é repassado de repetidora a repetidora até chegar a seu destino.

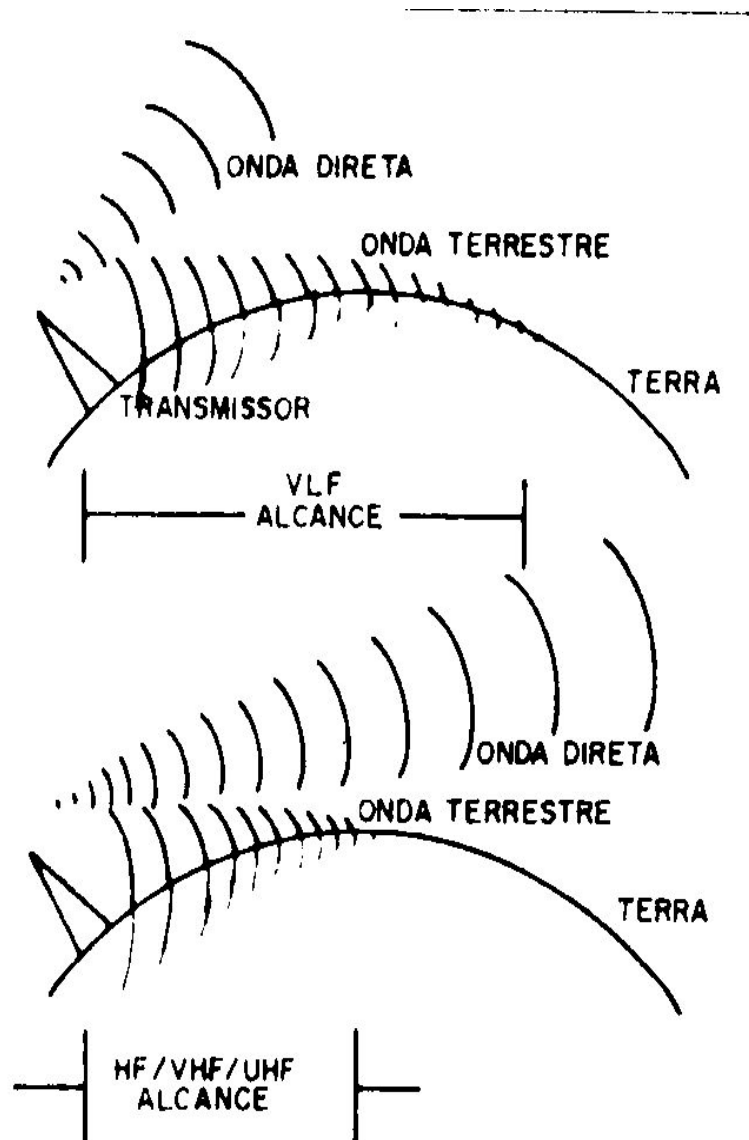


Figura 8: Propagação da onda eletromagnética

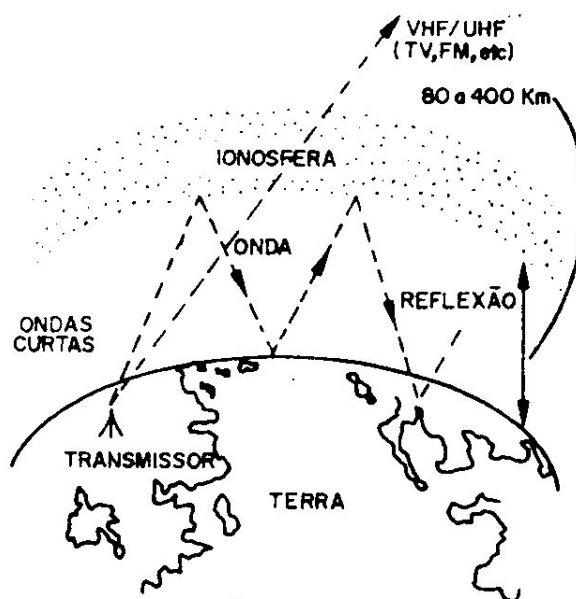


Figura 9: Propagação da onda eletromagnética onda visada direta

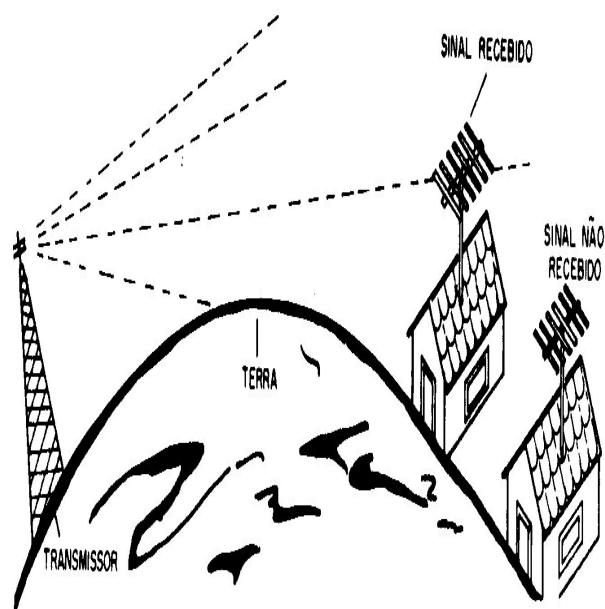


Figura 10: Bloqueio da propagação devido a curvatura da terra

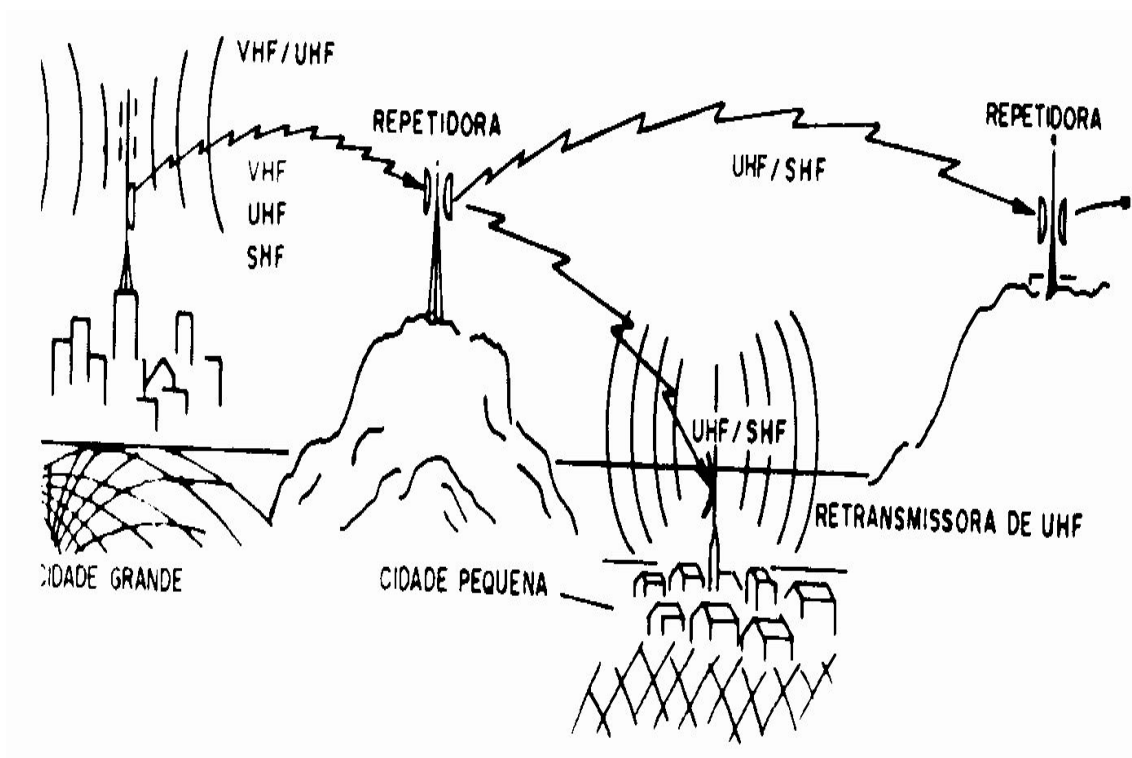


Figura 11: Utilização de repetidoras para a transmissão da onda visada direta

Quando as emissoras de radiodifusão começaram a surgir desordenadamente, principalmente nos EUA e seguido de perto pela Europa, um verdadeiro festival de interferências se instalou. Emissoras próximas usavam portadoras de frequências próximas e se interferiam. Emissoras longínquas também interferiam, pois o mecanismo de propagação em ondas terrestres e celestes não eram bem conhecidos. Logo surgiu a necessidade de posicionar frequências e autorizar estas emissões, de maneira disciplinada. Os governos tomaram a si, esta responsabilidade. Por acordo internacional, as frequências foram atribuídas a determinados serviços, como demonstra a tabela da figura 12 e 13.

ALOCAÇÃO DE FREQUÊNCIAS			
FAIXA	DESIGNAÇÃO	NOME POPULAR	UTILIZAÇÃO
300Hz - 3.000Hz	ELF	Ondas extremamente longas	Comunicações para submarinos, escavações sem minas, etc
3kHz - 30kHz	VLF	Ondas muito longas	
30kHz - 300kHz	LF	Ondas longas	Auxílio à navegação aérea, serviços marítimos, radiofusão local
300kHz - 3000kHz	MF	Ondas médias	
3MHz - 30MHz	HF	Ondas tropicais Ondas curtas	radiofusão local e distante, comunicações marítimas
30MHz - 300MHz	VHF	—	TV-FM-Comunicações comerciais, particulares, segurança pública, faixa do cidadão, radioamadores, etc
300MHz-3000MHz	UHF		Comunicação pública em todos os
3GHz-30GHz	SHF	Microondas	sistemas. Sistemas particulares,
30 GHz-300GHz	EHF		empresas, governos, etc

Figura 12: Atribuição das faixas de frequências

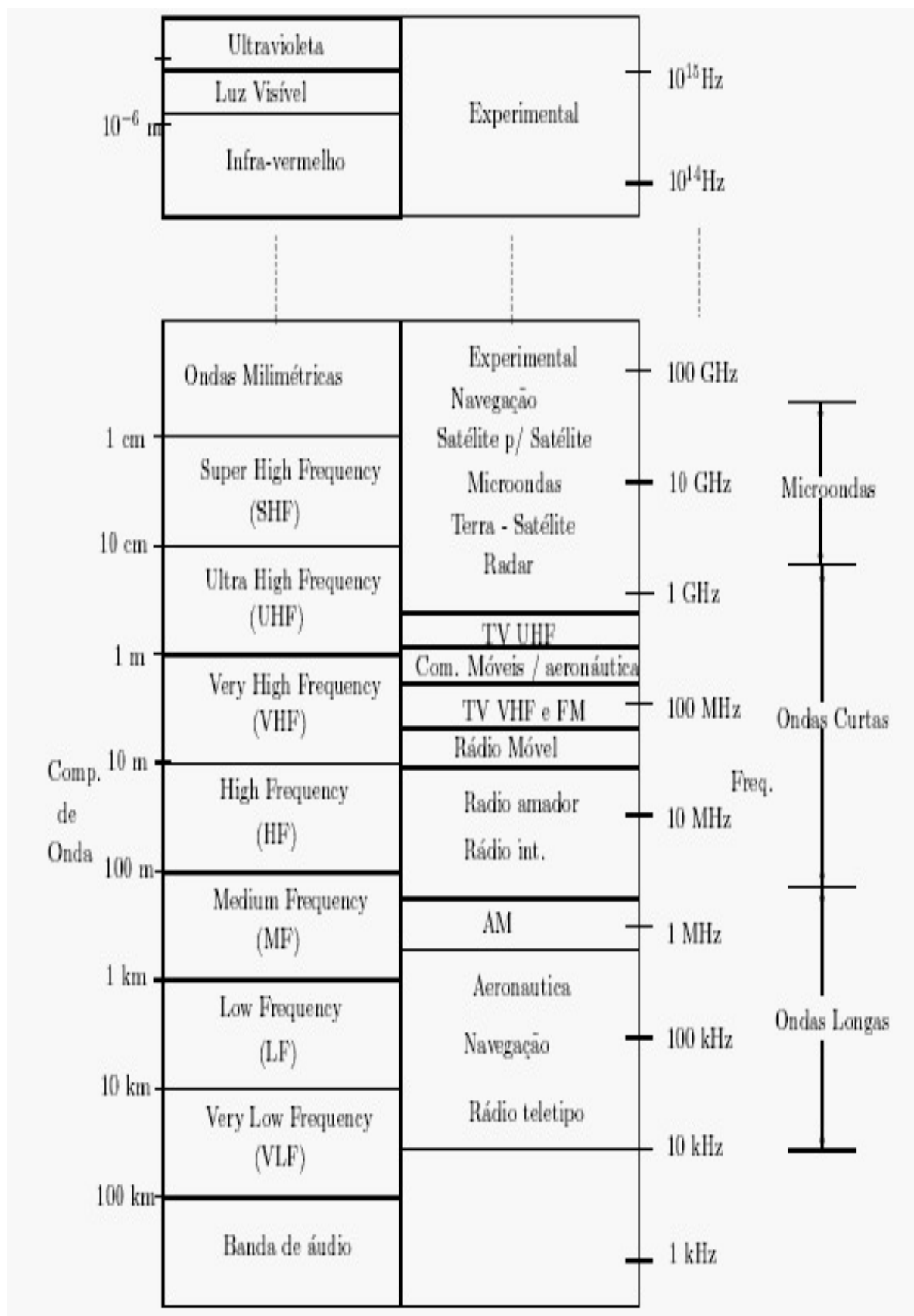


Figura 13: Atribuição das faixas de frequências

As siglas são definidas da seguinte forma:

ELF	Extremely Low Frequency (Extremamente baixa frequência)
VLF	Very Low Frequency (Muito baixa frequência)
LF	Low Frequency (Baixa frequência)
MF	Medium Frequency (Média frequência)
HF	High Frequency (Alta frequência)
VHF	Very High Frequency (Muita alta frequência)
UHF	Ultra High Frequency (Extremamente alta frequência)
SHF	Super High Frequency (Super alta frequência)
EHF	Extremely High Frequency (Extremamente alta frequência)

0.2 Canais de comunicação

Uma característica importante nos Sistemas de Telecomunicações são os seus respectivos canais de comunicação, que representam as infovias nas quais se deseja transmitir/receber informação. Estes canais possuem particularidades dependendo de sua aplicação, vejamos alguns exemplos:

Sistema de Telecomunicações	Particularidade	definição
FM comercial	Tipo de propagação	visada direta
	Faixa de operação	VHF
	Faixa de frequência	88 à 108MHz
	Banda do canal	200kHz
	Quantidade de canais	100
	Freq. máxima mensagem	15khz
	Portadora(ela dependerá da rádio em que deseja transmitir, neste exemplo, será utilizada a rádio SOCIEDADE de Volta Redonda)	104.1MHz
AM comercial	Tipo de propagação	ondas terrestres
	Faixa de operação	MF
	Faixa de frequência	535kHz à 1650kHz
	Banda do canal	10kHz
	Quantidade de canais	107
	Freq. máxima mensagem	5khz
	Portadora(ela dependerá da rádio em que deseja transmitir, neste exemplo, será utilizada a rádio GLOBO do Rio de Janeiro)	1220kHz

Exercício 0.1 Repita o que foi feito na tabela anterior para os Sistemas de TV comercial.

0.2.1 A voz e o ouvido humano

Um objetivo que se procura num canal de comunicação é reduzir ao máximo a sua banda, no intuito de se aumentar o número de canais para utilização, veja, por exemplo, um canal de FM comercial, hoje o número máximo de canais da faixa utilizada é de 100 canais, como pode ser visto na tabela anterior, contudo se fosse possível diminuir a sua banda para 100kHz o número de canais, para a faixa utilizada, iria para 200 canais. Portanto, a diminuição da banda de transmissão é importante. Muitos Sistemas de Telecomunicações visam a transmissão de canais de voz e estudos revelaram que:

1. Ao se falar, uma gama bastante grande de frequências está presente na voz, que se comporta como um "som composto". A voz apresenta uma faixa de frequência que vai de aproximadamente de 20Hz a 12000Hz.
2. Testes audiométricos verificaram que o ouvido humano, que é receptor, é sensível a frequências que vão de 16Hz a 16000Hz, aproximadamente. Estas são, então, as faixas de frequências da voz e do ouvido humano.
3. Ao se falar frente a um bom microfone, este produz um sinal elétrico, que é a réplica do som que recebe. Ele é errático, cheio de picos e vales, conforme as nuances da voz. Assim, o sinal

elétrico de voz é, também composto por uma faixa de frequências. Só que, agora, tratam-se de sinais elétricos.

4. Testes exaustivos mostraram que basta uma faixa de 0-4kHz para transmitir um sinal de voz, por telefonia. Com esta faixa se obtém boa inteligibilidade e pode-se até identificar a voz do interlocutor. Esta faixa ficou conhecida como "faixa de voz".

Estas informações mostram que um canal de voz pode ser transmitido com uma frequência máxima de 4kHz, e este valor é utilizado em diversos projetos de Sistemas de Telecomunicações, como por exemplo: Sistema de Telefonia.