
RDT – Radiotransmissão

Prof. Ramon Mayor Martins, MSc.

ramon.mayor@ifsc.edu.br

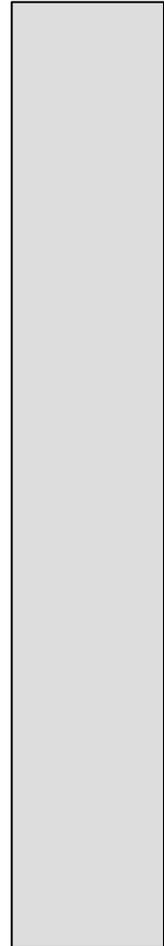


Parte 2.2: Ondas Eletromagnéticas: Espectro Eletromagnético: RadioPropagação; Ondas de Rádio: ELF,SLF,ULF,VLF,LF
Disponível em: [http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Radiotransmissão_\(2015-1\)](http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/index.php/Radiotransmissão_(2015-1))
Versão 2015

RDT – Radiotransmissão

II.1- Ementa Expandida:

- Introdução
- Ondas Eletromagneticas
 - Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas
 - Geração, Transmissão e Recepção de Ondas Eletromagnéticas
 - Espectro Eletromagnético
- Radiopropagação
 - Propagação
 - Radiocomunicações
 - Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF
 - Comunicações MF (OM)
 - Comunicações HF
 - Comunicações VHF UHF
 - Comunicações SHF EHF (Satélite / Microondas)
- Antenas
- Projetos de Enlaces
- Tópicos Extras



2- Ondas Eletromagnéticas

2.1 – Fundamentos das Ondas Eletromagnéticas

2.2 - Geração de Ondas Eletromagnéticas

2.3 - Espectro Eletromagnético

2.3.1 - Raios CósMICOS

2.3.2 - Raios Gamma

2.3.3 - Raios-X

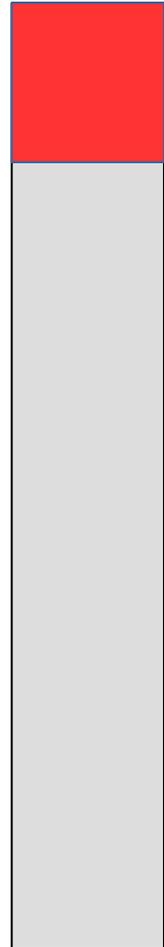
2.3.4 - Raios Ultravioleta

2.3.5 - Luz Visível

2.3.6 - Infravermelho

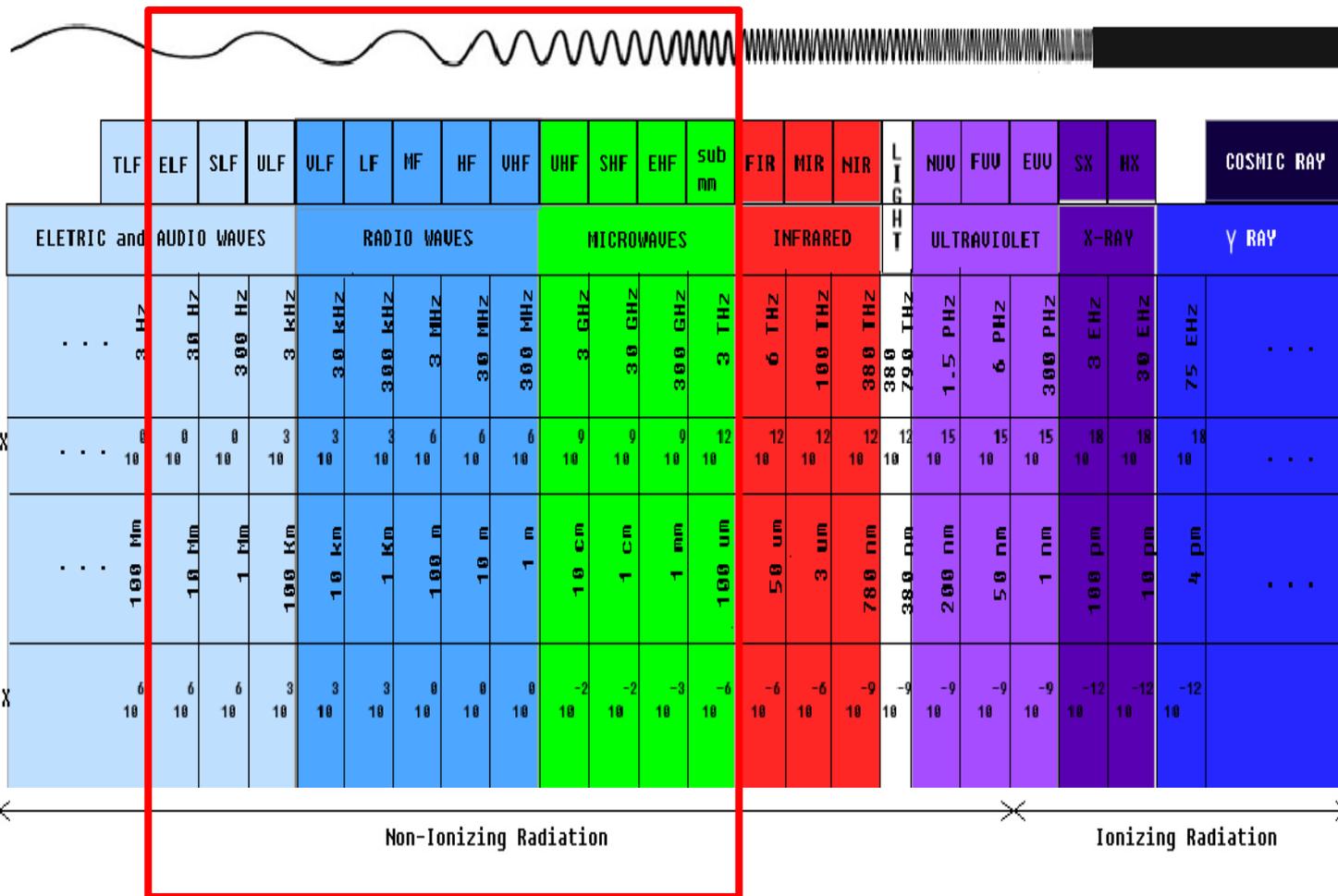
2.3.7 - Micro-ondas

2.3.8 - Ondas de Rádio



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.8 - Ondas Hertzianas



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.8 - Ondas Hertzianas

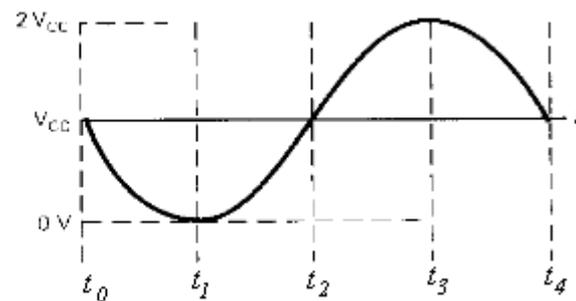
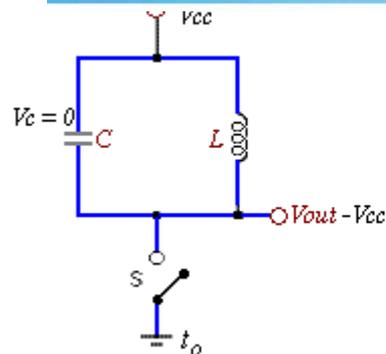
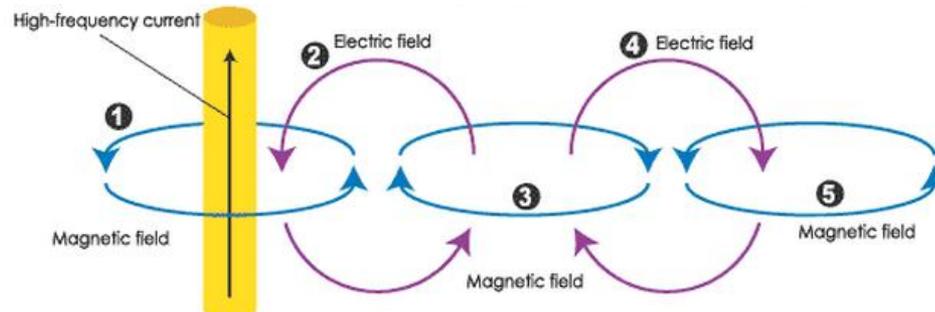
Foram descobertas em 1888 pelo físico alemão Hertz e são atualmente utilizadas em telecomunicações, radiodifusão, TV, radares, etc.

Um emissor dessas ondas é, geralmente, um gerador elétrico de alta frequência, capaz de manter oscilações elétricas num circuito e comunicá-las aos elétrons livres de um fio metálico, que constituem a antena emissora.

As oscilações dos elétrons originam ondas eletromagnéticas, que, a partir da antena, se propagam em todas as direções.

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.8 - Ondas Hertzianas



2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.8 - Ondas Hertzianas

As ondas eletromagnéticas que apresentam frequências mais baixas (até cerca de 10^8 Hz) são denominadas ondas de rádio.

Elas recebem esta denominação porque são usadas pelas estações de rádio e TV para realizar suas transmissões.

Considerando frequências mais elevadas do que as ondas de rádio, encontramos ondas eletromagnéticas denominadas microondas.

Estas ondas tem frequências compreendidas aproximadamente, entre 10^8 e 10^{12} Hz.

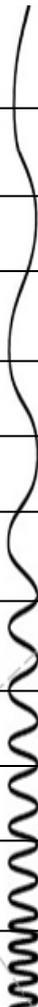
As microondas são usadas amplamente em telecomunicações, transportando sinais de TV ou transmissões telefônicas.

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.8 - Ondas Hertzianas

Nomenclatura das Faixas de Radiofrequência: Técnica

Leiga

	10^6	100 Mm	10^8	3 Hz	AUDIO WAVES	F		ELF – Extremely Low Frequency	Ondas Extremamente Longas
124 feV	10^6	10 Mm	10^8	30 Hz		ELF		SLF – Super Low Frequency	
1.24 peV	10^6	1 Mm	10^8	300 Hz		SLF		ULF – Ultra Low Frequency	
12.4 peV	10^3	100 Km	10^3	3 kHz		ULF		ULF – Ultra Low Frequency	
124 peV	10^3	10 km	10^3	30 kHz	RADIO WAVES	ULF		VLF – Very Low Frequency	Ondas Muito Longas
1.24 neV	10^3	1 Km	10^3	300 kHz		LF		LF – Low Frequency	Ondas Longas
12.4 neV	10^0	100 m	10^6	3 MHz		MF		MF – Medium Frequency	Ondas Médias
124 neV	10^0	10 m	10^6	30 MHz		HF		HF – High Frequency	Ondas Tropicais / Ondas Curtas
1.24 ueV	10^0	1 m	10^6	300 MHz		UHF		VHF – Very High Frequency	
12.4 ueV	10^{-2}	10 cm	10^9	3 GHz	MICROWAVES	UHF		UHF – Ultra High Frequency	Microondas
124 ueV	10^{-2}	1 cm	10^9	30 GHz		SHF	SHF – Super High Frequency		
1.24 neV	10^{-3}	1 mm	10^9	300 GHz		EHF	EHF – Extremely High Frequency		
12.4 neV	10^{-6}	100 um	10^{12}	3 THz		Sub mm			

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético

2.3.8 - Ondas Hertzianas

Aplicações:

Non-Ionizing Radiation

	10^6	100 Mm	10^8	3 Hz	AUDIO WAVES	F
124 feV	10^6	10 Mm	10^8	30 Hz		ELF
1.24 peV	10^6	1 Mm	10^8	300 Hz		SLF
12.4 peV	10^3	100 Km	10^3	3 kHz		ULF
124 peV	10^3	10 km	10^3	30 kHz	RADIO WAVES	ULF
1.24 neV	10^3	1 Km	10^3	300 kHz		LF
12.4 neV	10^0	100 m	10^6	3 MHz		MF
124 neV	10^0	10 m	10^6	30 MHz		HF
1.24 ueV	10^0	1 m	10^6	300 MHz		VHF
12.4 ueV	10^{-2}	10 cm	10^9	3 GHz	MICROWAVES	UHF
124 ueV	10^{-2}	1 cm	10^9	30 GHz		SHF
1.24 meV	10^{-3}	1 mm	10^9	300 GHz		EHF
12.4 meV	10^{-6}	100 um	10^{12}	3 THz		SUB mm



Comunicações Submarinas, Escavações de minas
Auxílio à navegação aérea, serviços marítimos, radiodifusão
Radiodifusão local e distante, serviços marítimos.
Transmissão de TV, sistemas comerciais e particulares de comunicação, serviço de segurança pública (polícia, bombeiros, etc)
Comunicação pública à longa distância: sistemas interurbanos e internacional em radiovisibilidade, tropodifusão e satélite

3- Radiopropagação

3.1 - Propagação

3.2 - Radiocomunicações

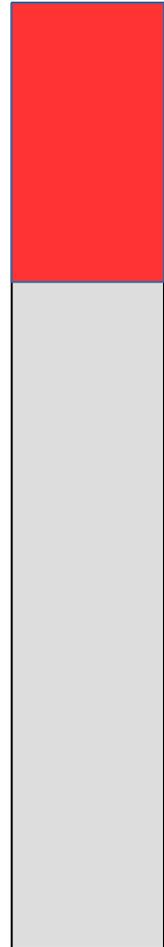
3.2.1 - Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.2 - Comunicações MF (OM)

3.2.3 - Comunicações HF

3.2.4 - Comunicações VHF UHF

3.2.5 - Comunicações SHF EHF (Satélite / Microondas)



3-Radiopropagação– Propagação

Introdução

As comunicações via rádio são dependentes das condições de propagação

A propagação de ondas eletromagnéticas em torno da Terra é influenciada pelas propriedades do solo e da atmosfera.

A Terra é um corpo não homogêneo cujas propriedades eletromagnéticas variam consideravelmente de um ponto para o outro.

A água do mar é altamente condutora

As areias dos desertos são dielétricos, apresentando condutividade quase nula e dissipando energia.

A atmosfera que envolve a terra é um meio dinâmico e suas propriedades variam com a temperatura e com a umidade.

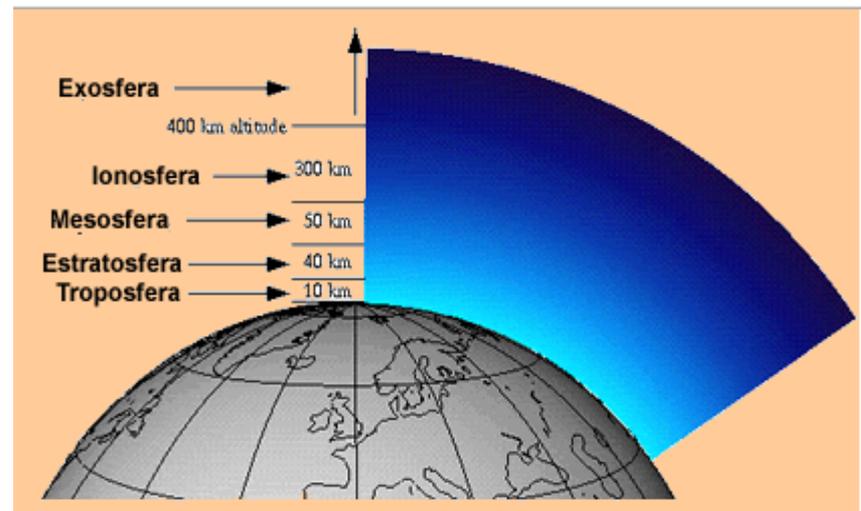


3-Radiopropagação– Propagação

Na atmosfera superior aparecem regiões com elevado grau de ionização e, por conseguinte, elevado número de elétrons livres.

A ionosfera comporta-se como um meio altamente condutor numa grande faixa de freqüências nas quais as ondas que a atingem são refletidas e retornam a superfície terrestre.

Suas propriedades são fortemente influenciadas pelo sol



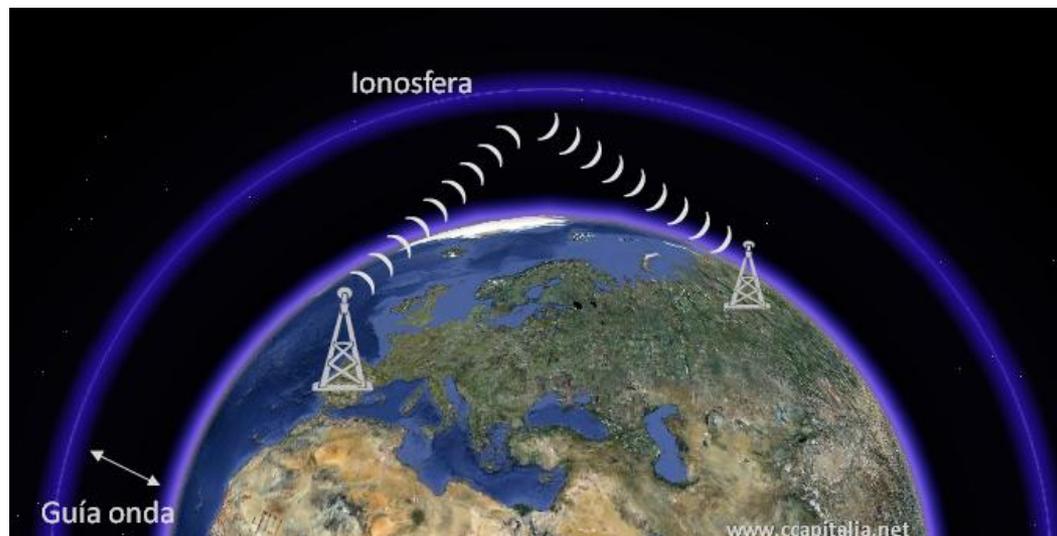
3-Radiopropagação– Propagação

A Ionosfera sofre variações diurnas e com as estações do ano.

A influência da atividade solar nas propriedades da ionosfera pode ser notada pelas mudanças causadas às características de propagação das ondas de rádio.

A ionosfera é um meio turbulento. Apresenta anomalias nos fenômenos de espalhamento, e sofre influência do campo magnético terrestre.

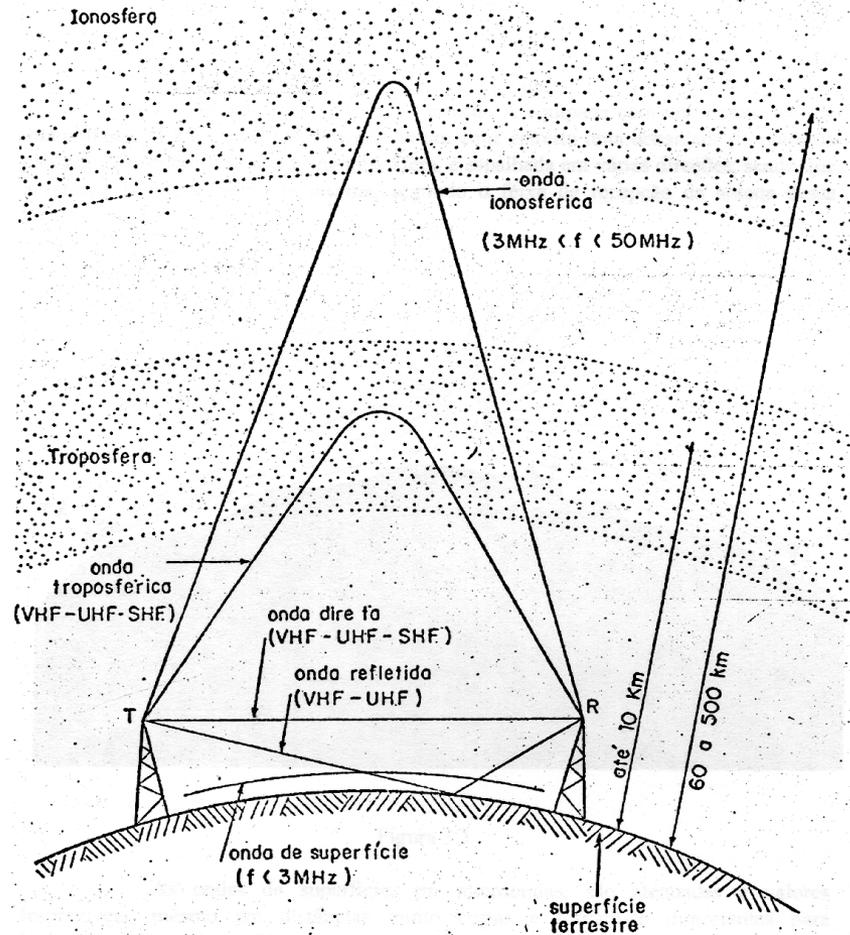
Os fatores acima mencionados, se por um lado tornam possíveis as comunicações a longas distâncias, por outro lado são responsáveis por fenômenos de interferência.



3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

A energia irradiada por uma antena transmissora pode alcançar a antena receptora por vários trajetos, onde são apresentadas as faixas de freqüências de utilização

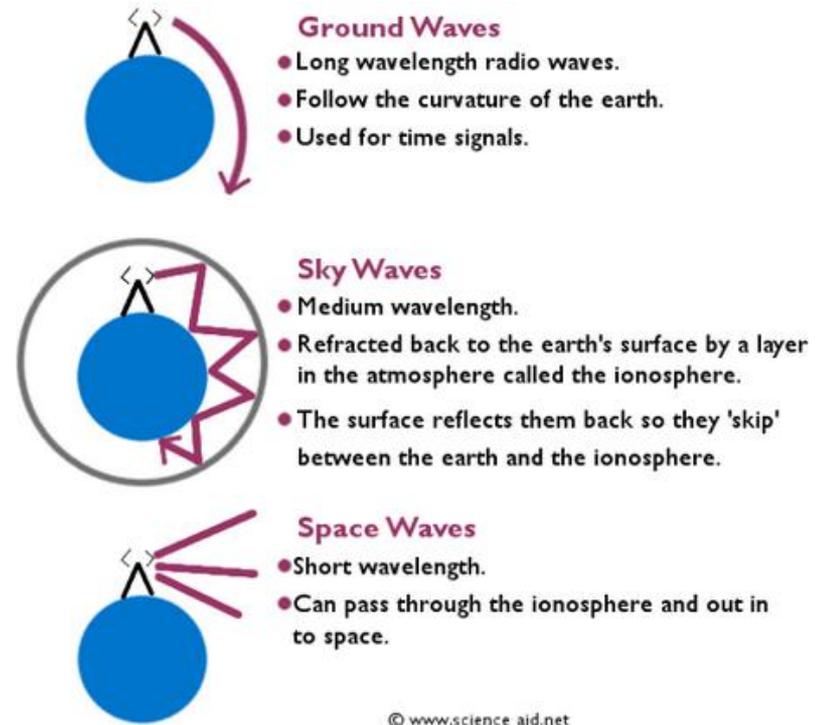
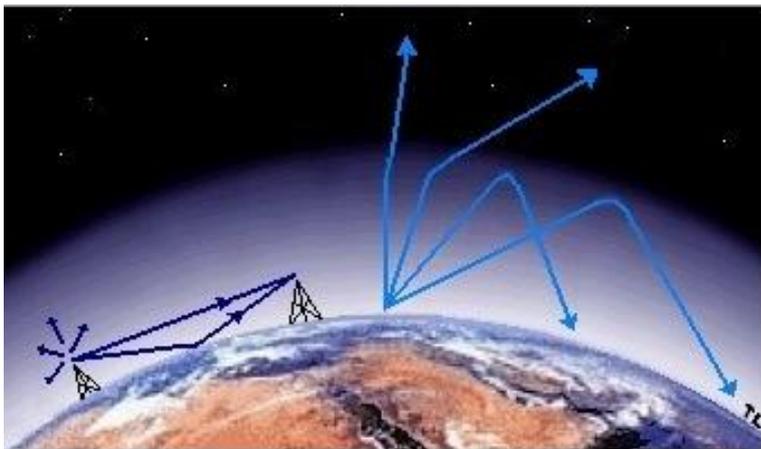


3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

A propagação das ondas eletromagnéticas podem ser:

- **A- ondas ionosféricas ou celestes**
 - **B- ondas troposféricas**
 - **C- ondas terrestres**
 - ondas espaciais*
 - ondas diretas*
 - ondas refletidas*
- onda de superfície*



3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

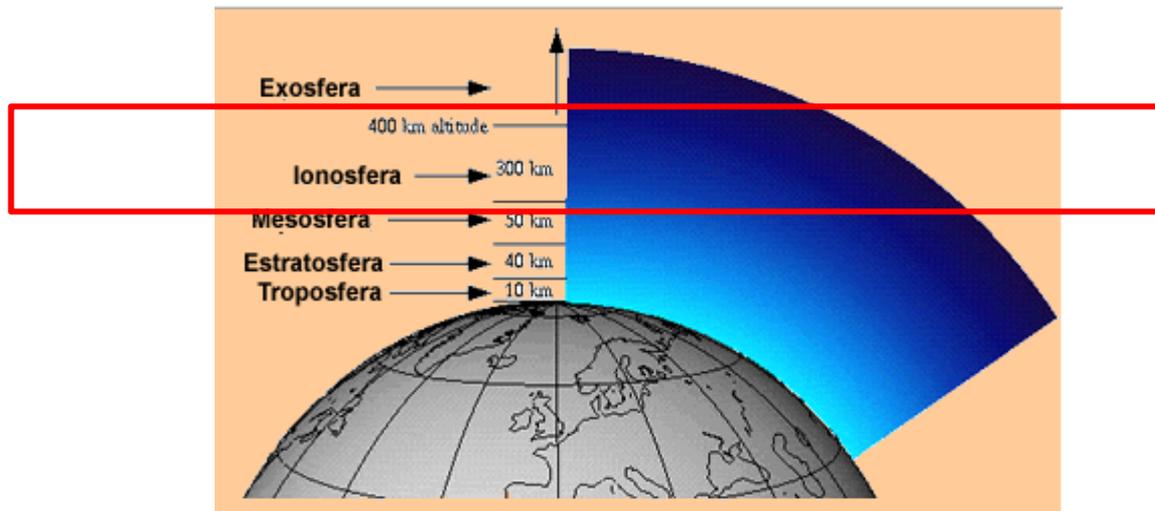
A- Ondas Ionosféricas ou Celestes:

As ondas eletromagnéticas que alcançam o receptor após reflexão na ionosfera.

está limitada a faixa de frequência de 3 a 50 MHz não sendo, portanto, útil na faixa de microondas. Util principalmente a faixa de HF

As distâncias cobertas por este tipo de comunicação, podem exceder a 4000 km.

Com relação as ondas de rádio, a ionosfera atua como uma superfície condutora imperfeita, refletindo e refratando as ondas de comprimentos de ondas superiores a 10 metros, sendo transparente para ondas de comprimentos inferiores a 10 metros.



3-Radiopropagação– Propagação

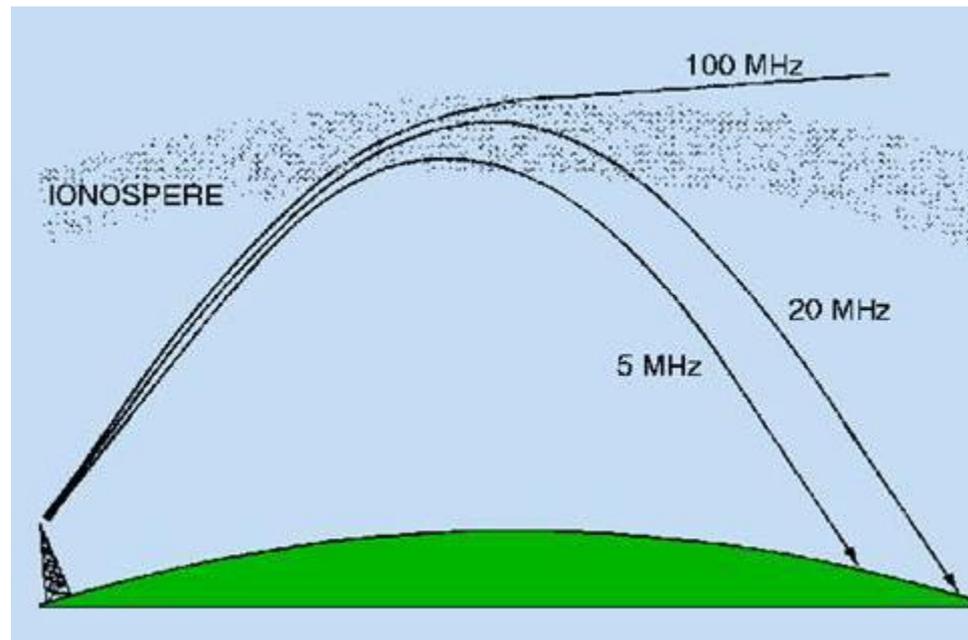
Tipos de Propagação

A- Ondas Ionosféricas ou Celestes:

Na figura são apresentadas várias ondas ionosféricas em frequências diferentes.

A onda de frequência 5 MHz se refrata em uma camada mais baixa (menor grau de ionização) que aquela de 20 MHz, atingindo um alcance menor.

A onda de 100 MHz atravessa a ionosfera, não retornando à superfície terrestre.



3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

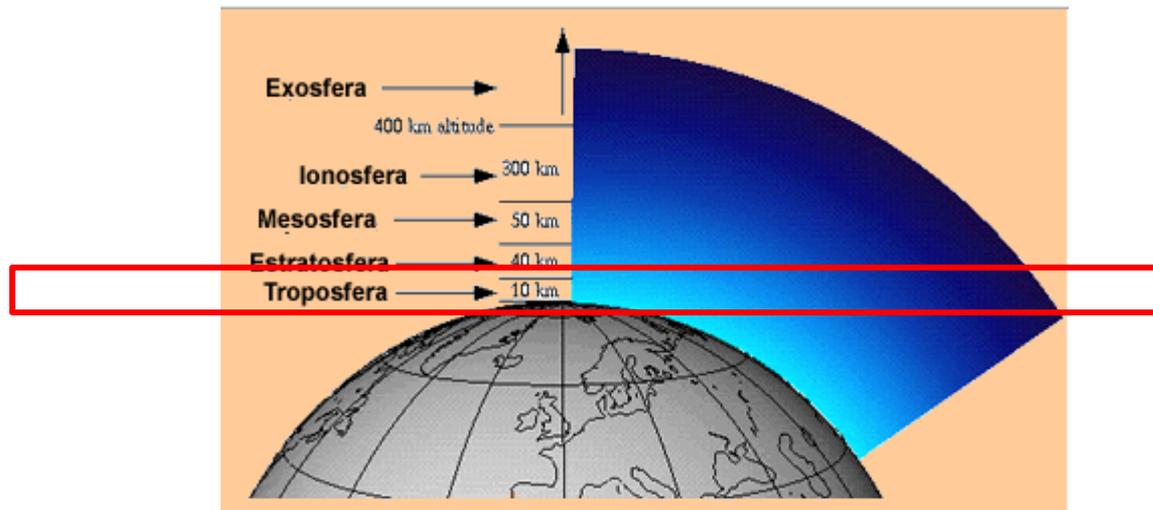
B- Ondas Troposféricas:

As ondas que são refletidas devido às variações bruscas na constante dielétrica da troposfera (região da atmosfera até aproximadamente a altura de 10 km da superfície terrestre) .

Faixas de VHF, UHF e SHF

A propagação por ondas troposféricas é útil para distâncias de várias centenas de quilômetros em frequências nas faixas de VHF e UHF.

Neste tipo, as ondas são espalhadas devido a não homogeneidade da constante dielétrica e, portanto, pela variação do índice de refração da troposfera com a altitude.



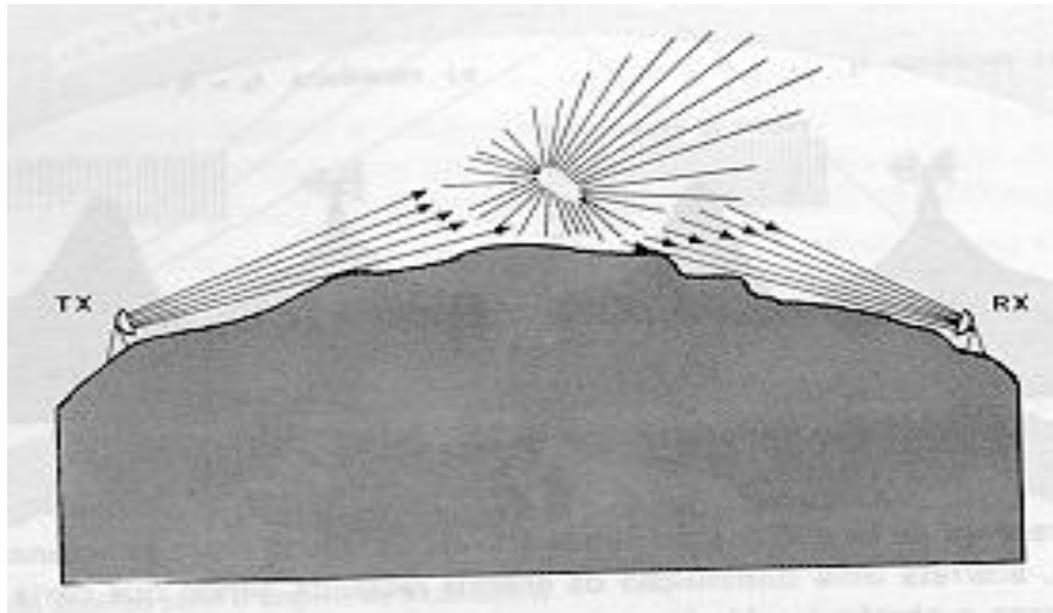
3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

B- Ondas Troposféricas:

Ex: Uma estação A equipada com um transmissor de alta potência (1 kW) irradia no interior de um cone estreito uma densidade de potência elevada.

Esta energia ao incidir na troposfera, é espalhada em várias direções, sendo que a estação B recebe parte da mesma, segundo o feixe de recepção da antena dessa estação.



3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

C- Ondas Terrestres:

Frequências abaixo de 3 MHz, a propagação destas ondas ocorre junto ao solo ou à superfície do mar, aproveitando sua condutividade.

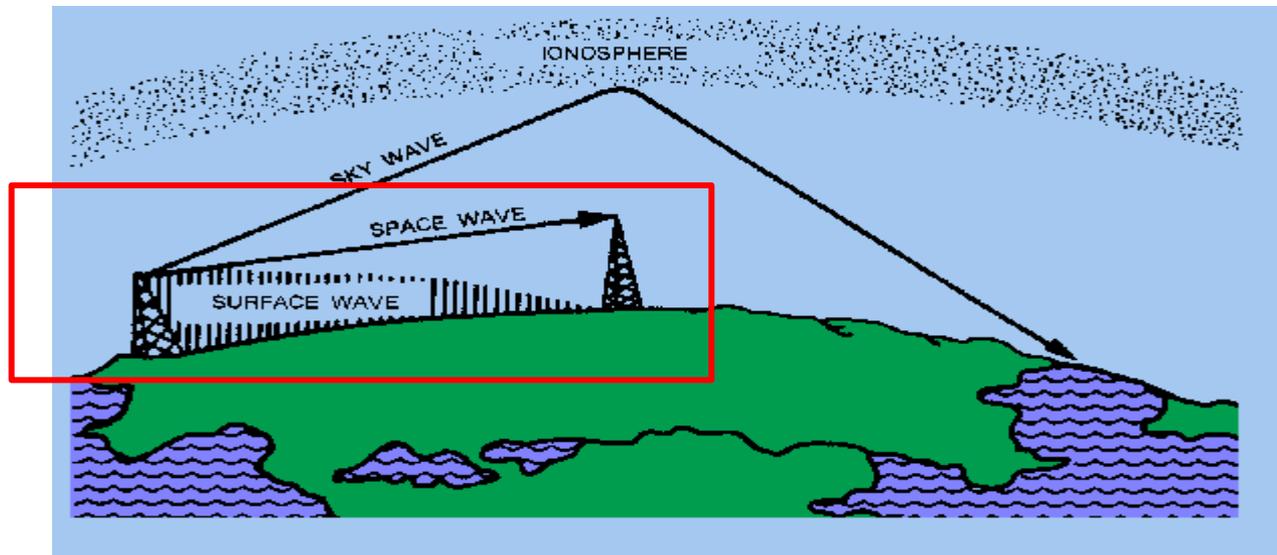
São utilizadas em comunicações a distância até 1000 km com o emprego de transmissores de alta potência.

Neste modo de propagação, a atenuação é pequena e não existe influência muito grande nas variações de tempo ou ao longo do dia pela presença do Sol.

São formadas pelas:

Ondas espaciais

Onda de superfície



3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

C- Ondas Terrestres – Ondas Espaciais:

Ondas diretas

nas quais o sinal viaja diretamente do transmissor ao receptor

O caso mais simples de propagação é a transmissão de uma onda entre um transmissor e um receptor no espaço livre, no qual a transmissão se realiza em linha reta

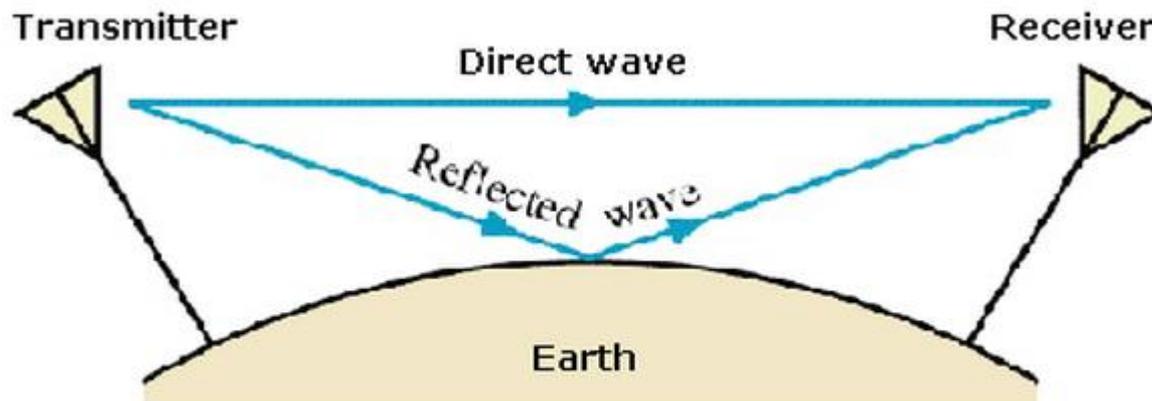
faixas de VHF, UHF e SHF

Ondas refletidas,

nas quais o sinal alcança o receptor após reflexão na superfície da terra.

Parte da energia transmitida é refletida no solo constituindo a onda refletida

faixas de VHF e UHF.



Space wave, comprising direct + reflected waves

3-Radiopropagação– Propagação

Tipos de Propagação

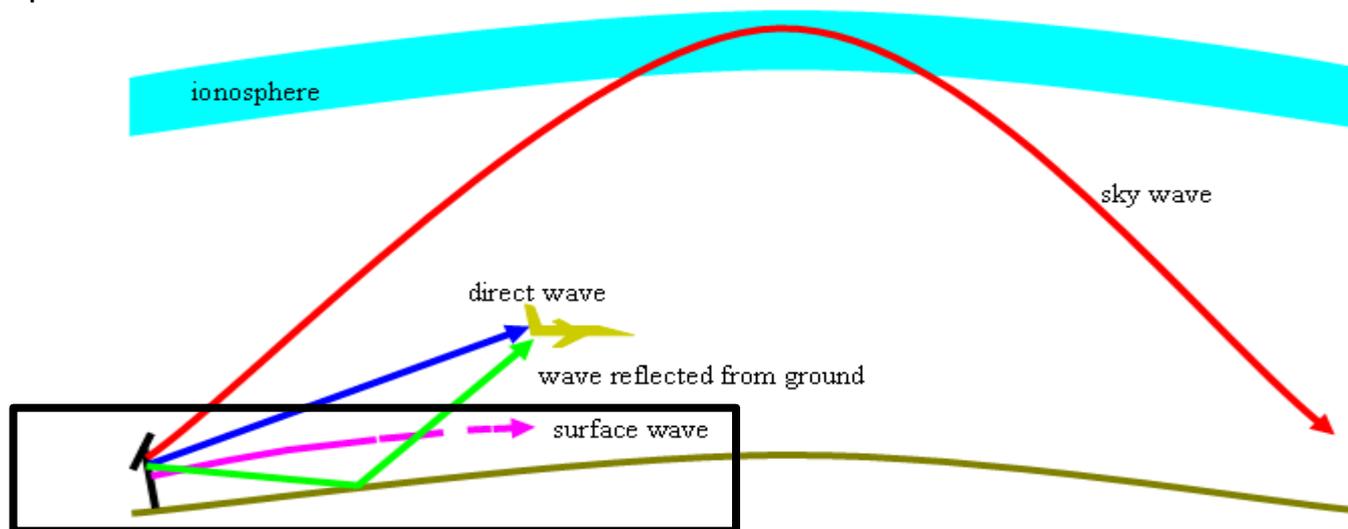
C- Ondas Terrestres – Ondas de Superfície:

As ondas de superfície, em microondas, são atenuadas a valores desprezíveis, mesmo em distâncias muito curtas e tornam-se importantes para frequências abaixo de 3 MHz.

A onda superficial tende a acompanhar a curvatura da terra, não se prendendo somente a superfície, mas diminuindo a intensidade de campo com a altura.

Uma vez que parte da energia é absorvida pela terra, a intensidade da onda superficial é atenuada com a distância.

Essa atenuação é função da condutividade do solo por onde a onda se desloca. Assim, por exemplo, a onda de superfície se propaga muito bem sobre a água do mar e melhor no solo úmido que no seco



3- Radiopropagação

3.1 - Propagação

3.2 - Radiocomunicações

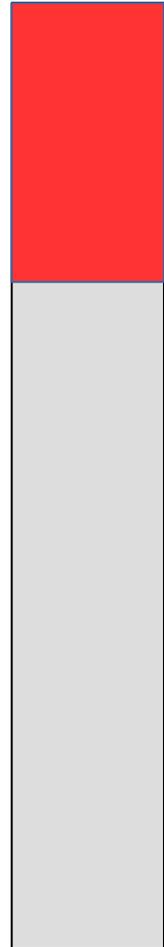
3.2.1 - Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.2 - Comunicações MF (OM)

3.2.3 - Comunicações HF

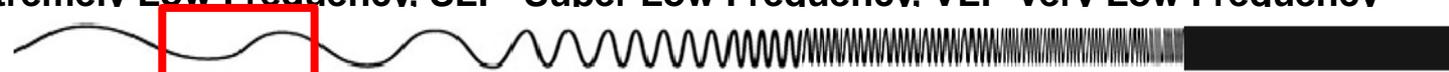
3.2.4 - Comunicações VHF UHF

3.2.5 - Comunicações SHF EHF (Satélite / Microondas)

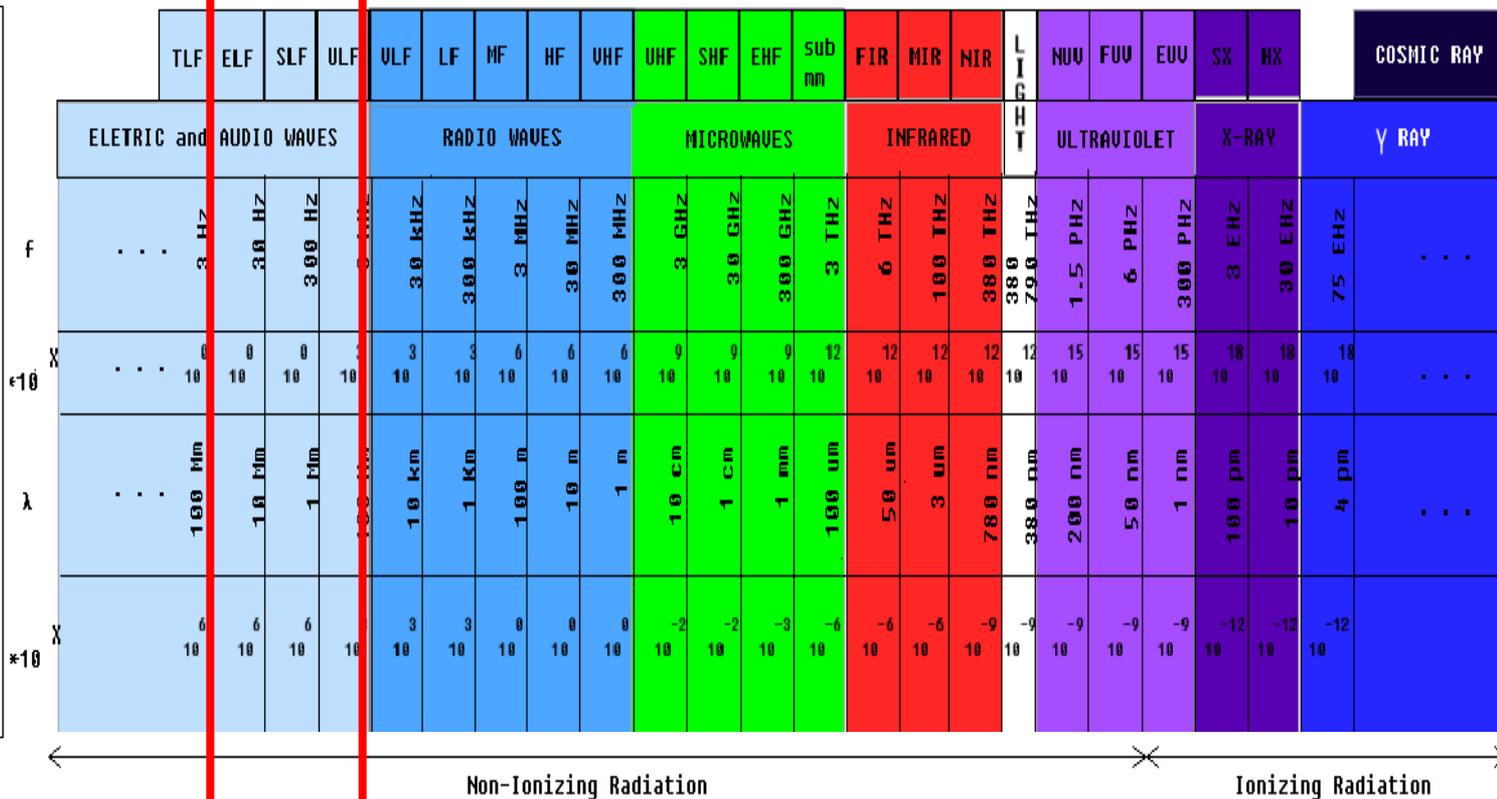


3.2-Rádíocomunicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.1 – ELF – Extremely Low Frequency, SLF- Super Low Frequency, VLF-Very Low Frequency



γ - Gamma Rays
X-Rays
HX - Hard X-Rays
SX - Soft X-Rays
Ultraviolet
EUU - Extreme Ultraviolet
FUU - Far Ultraviolet
NUU - Near Ultraviolet
Infrared
NIR - Near Infrared
MIR - Moderate Infrared
FIR - Far Infrared
Microwaves
EHF - Extremely High Frequency
SHF - Super High Frequency
UHF - Ultra High Frequency
Radio Wave
VHF - Very High Frequency
HF - High Frequency
MF - Medium Frequency
LF - Low Frequency
ULF - Very Low Frequency
Electric and Audio Waves
SLF - Super Low Frequency
ELF - Extremely Low Frequency
TLF - Tremendously Low Frequency



3.2-Rádiorádicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

Devido ao seu enorme comprimento de onda, nesta faixa de freqüência as ondas penetram a uma distância razoável no solo e a distâncias maiores ainda na água, sem sofrer interferência ou ter o sinal atenuado;

FAIXA DE ELF: Extreme Low Frequency

	10^6	100 Mm	10^8	3 Hz	nd AUDIO	LF
124 feV	10^6	10 Mm	10^8	30 Hz		ELF

incapaz de transmitir voz só carregando informação codificada em forma binária simples como código Morse

FAIXA DE SLF: Super Low Frequency

124 feV	10^6	10 Mm	10^8	30 Hz	AUDIO	LF
1.24 peV	10^6	1 Mm	10^8	300 Hz		SLF

3.2-Rádiorádicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

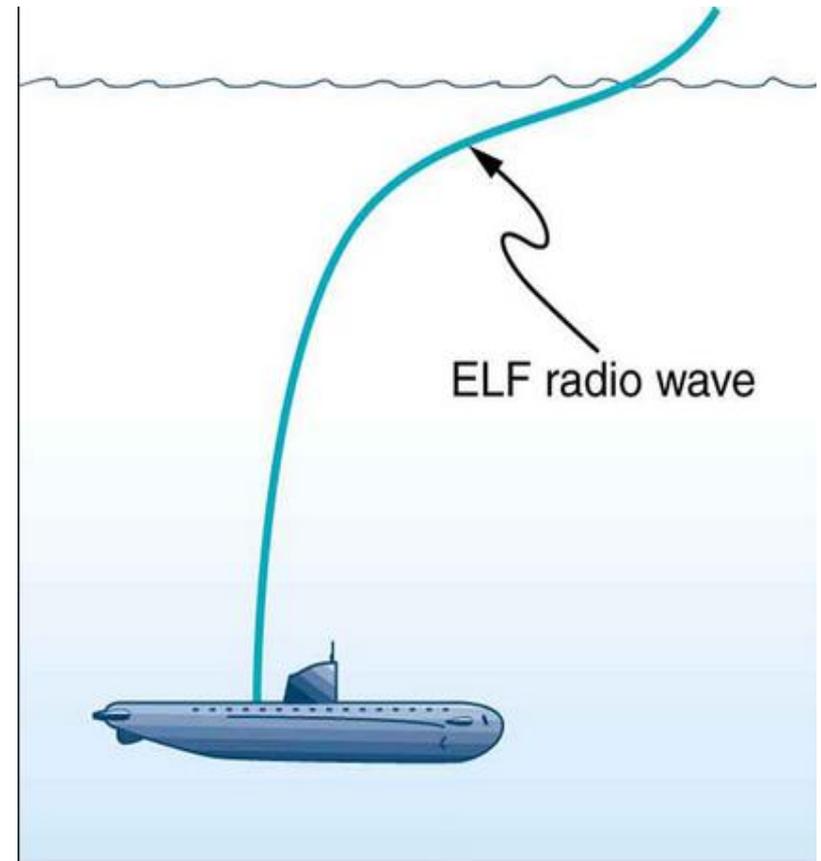
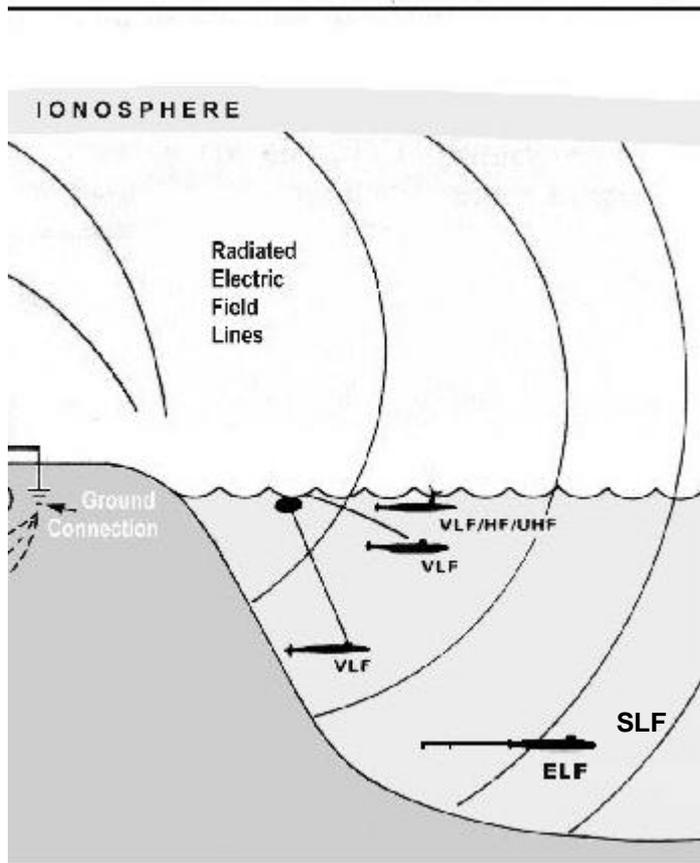
Devido ao seu enorme comprimento de onda, nesta faixa de freqüência as ondas penetram a uma distância razoável no solo e a distâncias maiores ainda na água, sem sofrer interferência ou ter o sinal atenuado;

FAIXA DE ULF: Ultra Low Frequency

1.24 peV	10^6	1 Km	10^8	300 Hz	ULF
12.4 peV	10^3	100 Km	10^3	3 kHz	

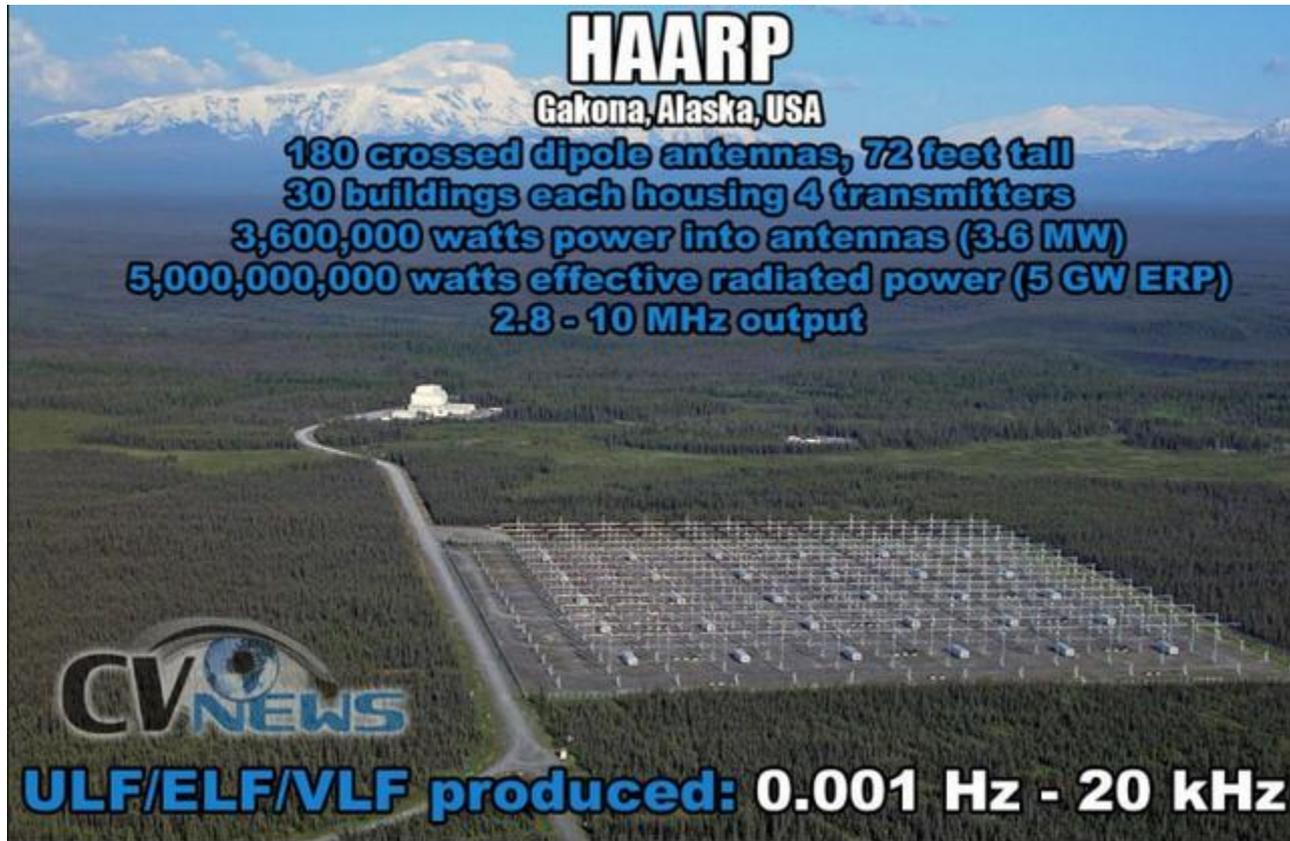
3.2-Rádiorádicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

Existem sistemas operando com transmissores de potência muito alta (MW) e antenas grandes, usados em comunicações com submarinos e em escavações de minas.



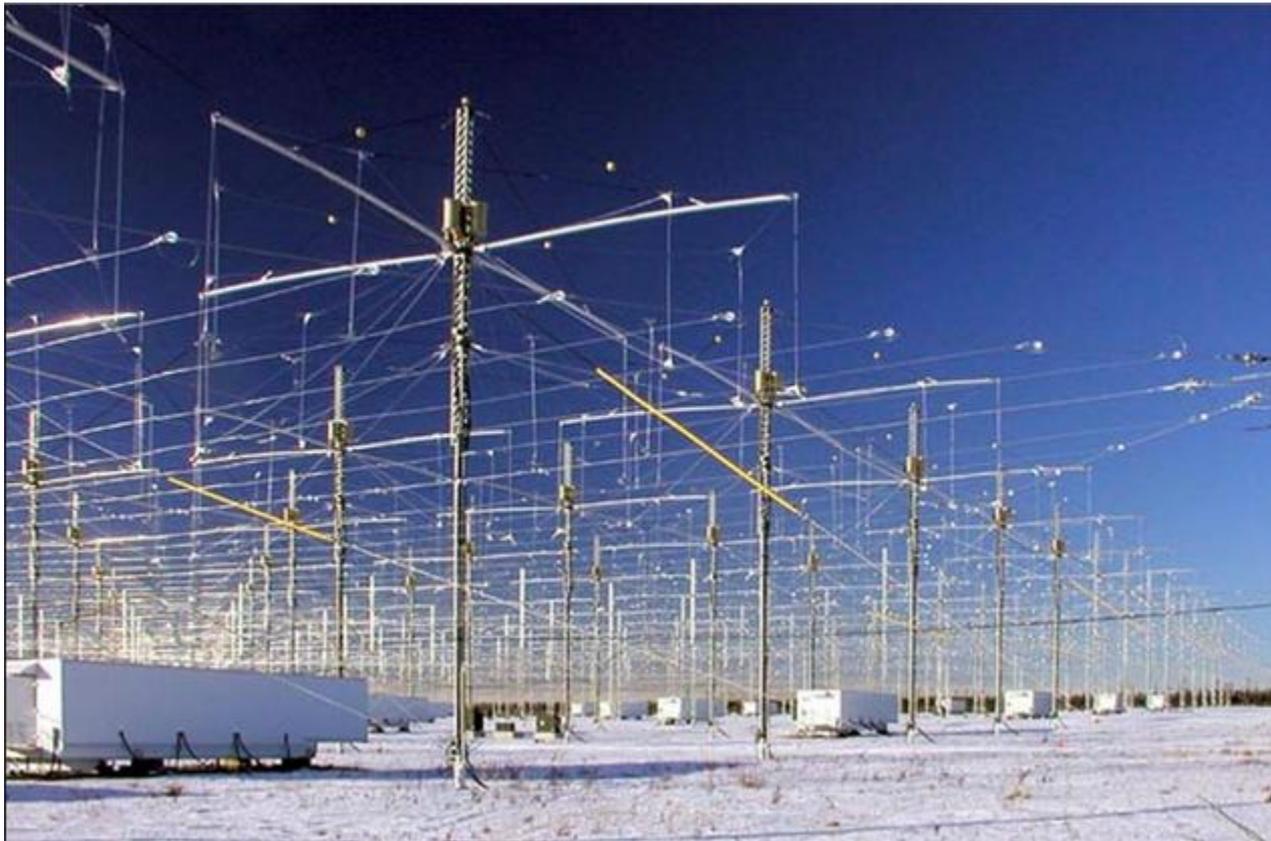
3.2-Rádiorádicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

Uma das grandes dificuldades encontradas para gerar o sinal de rádio era o tamanho necessário das antenas qual poderia variar de algumas poucas dezenas de quilômetros até a casa de alguns milhares.



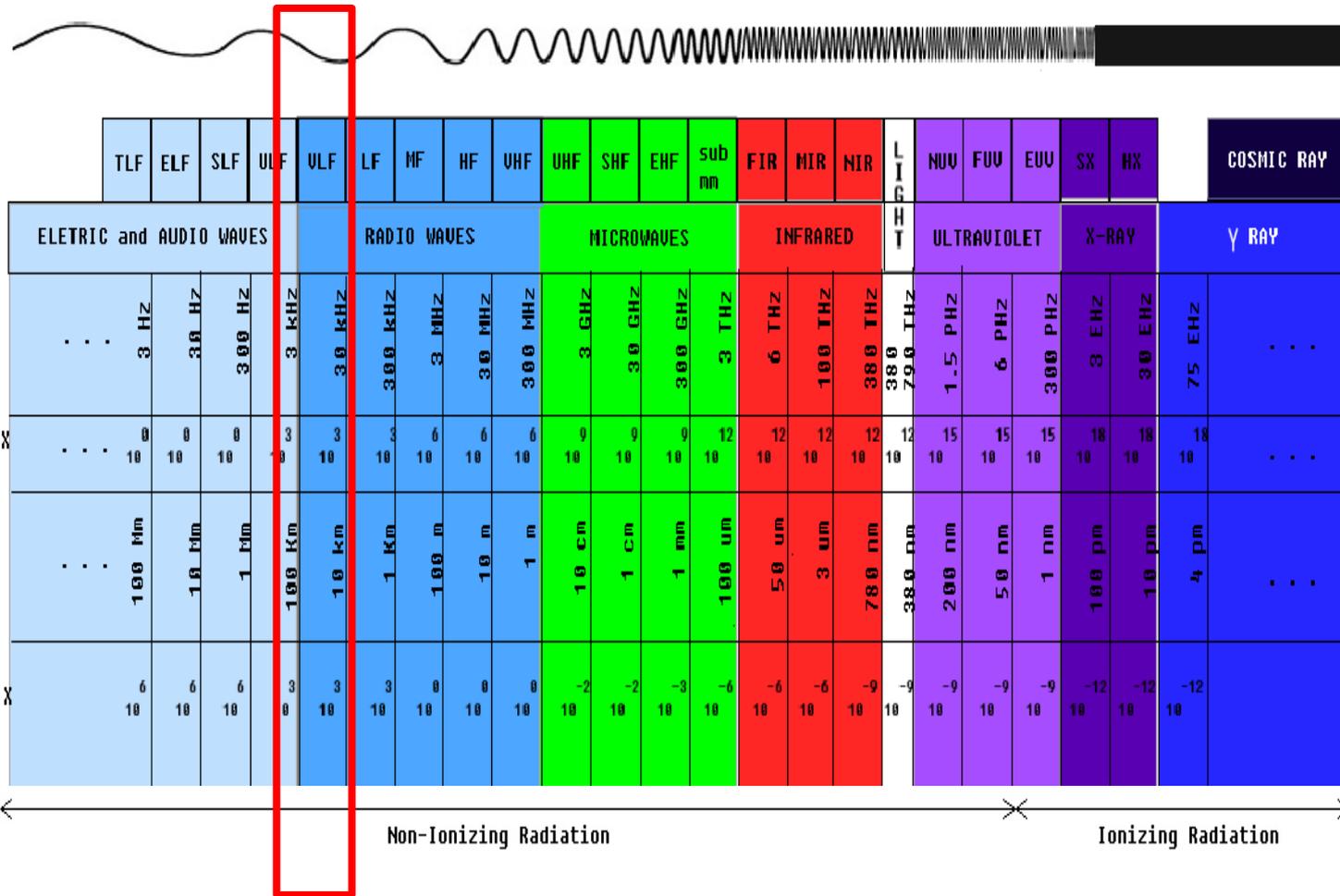
3.2-Rádiodividações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

Uma das grandes dificuldades encontradas para gerar o sinal de rádio era o tamanho necessário das antenas qual poderia variar de algumas poucas dezenas de quilômetros até a casa de alguns milhares.



3.2-Rádíocomunicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency



3.2-Rádiodividações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

12.4 peV	10^3	100 Km	10^3	3 kHz		F
124 peV	10^3	10 km	10^3	30 kHz		ULF

É utilizado por alguns serviços de radionavegação;

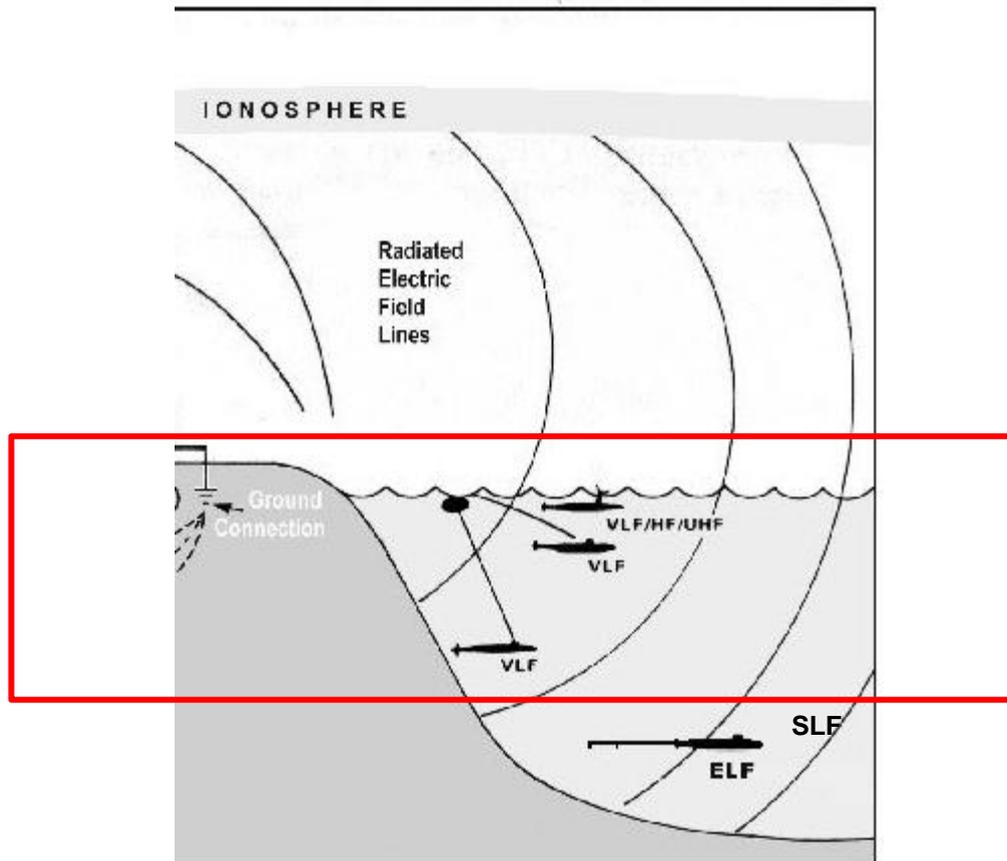
Serviços de difusão horária.

Comunicação militar segura.

3.2-Rádiodividações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

As ondas VLF podem penetrar cerca de 40 metros em água salgada; (depende da salinidade da água)



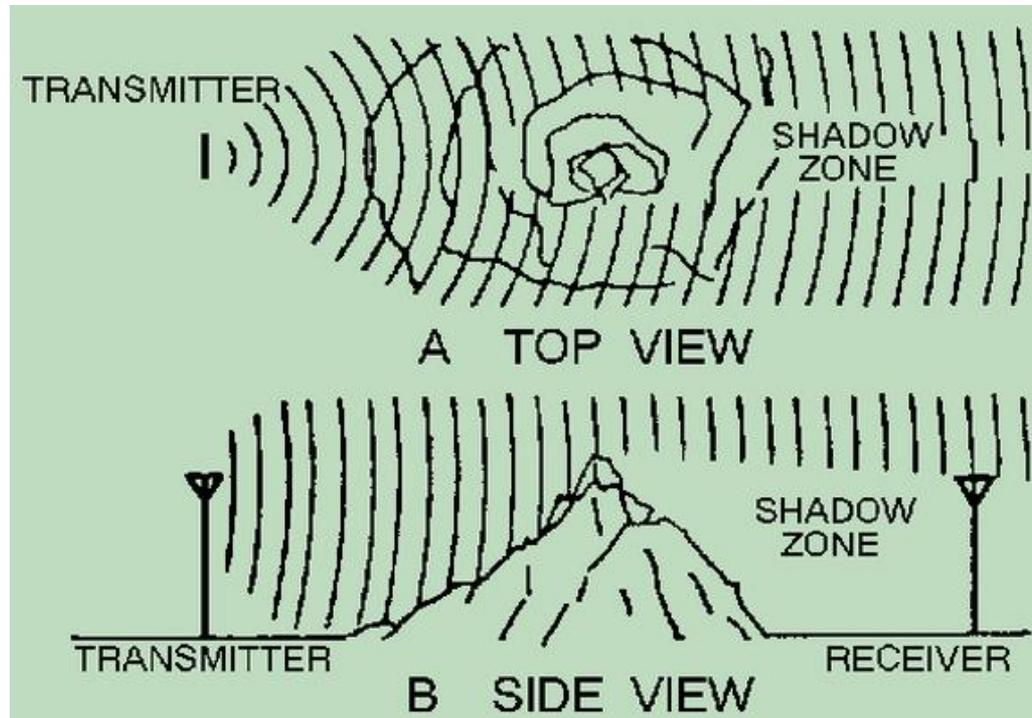
3.2-Rádiorádicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Propagação:

Pode difratar em torno de grandes obstáculos, por isso não são bloqueadas por montanhas.

Pode se propagar como uma onda terrestre;



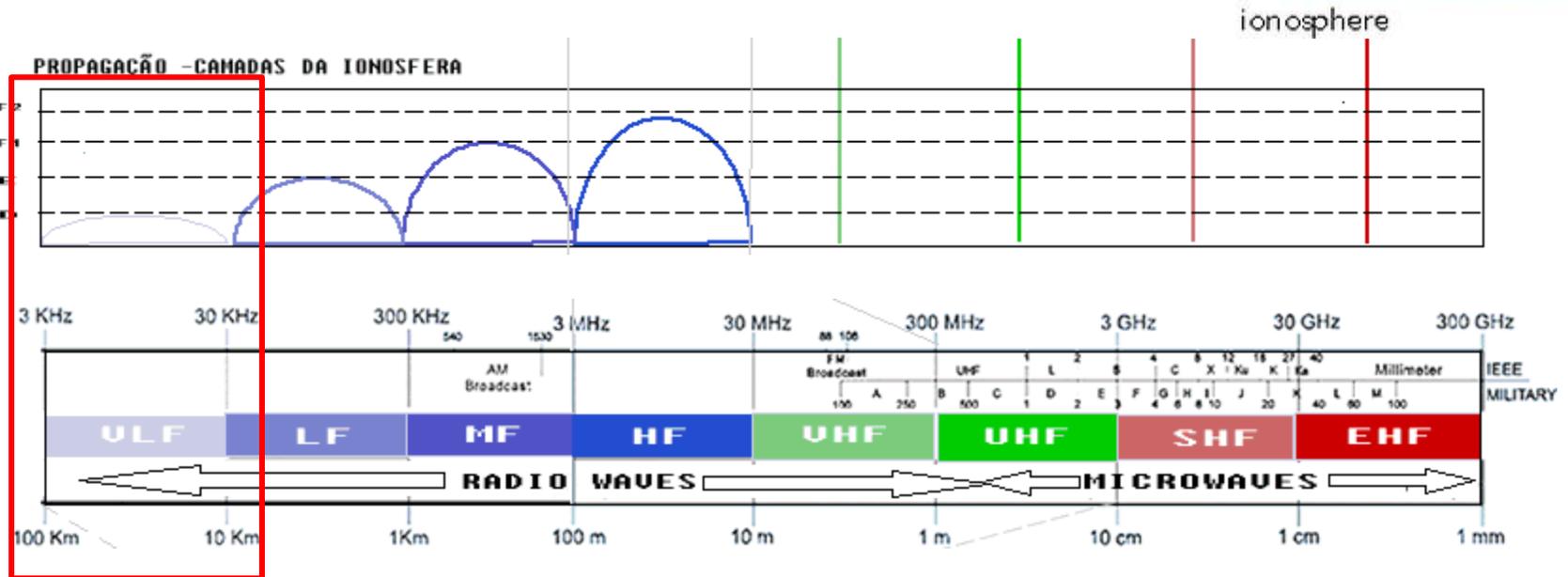
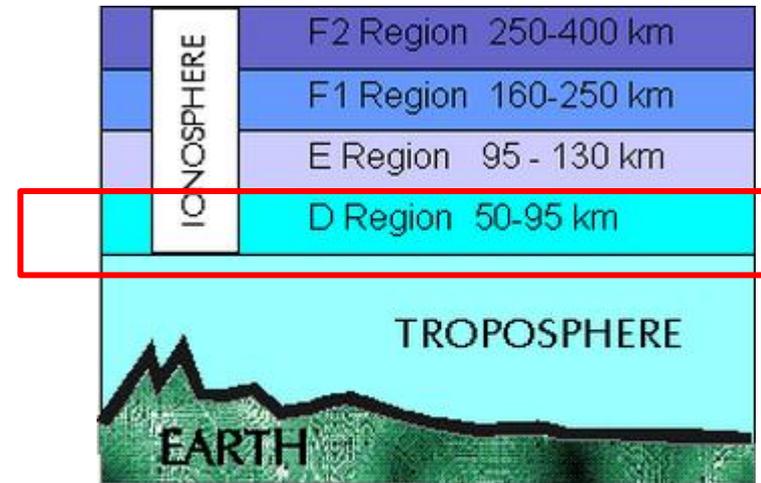
3.2-Rádiorcomunicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Propagação:

O principal modo de propagação é através da Ionosfera.

O VLF utiliza a primeira camada da Ionosfera, a 60 Km de altitude.



3.2-Rádiorcomunicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Características:

Tem baixa atenuação 2 a 3 dB por 1000 km.

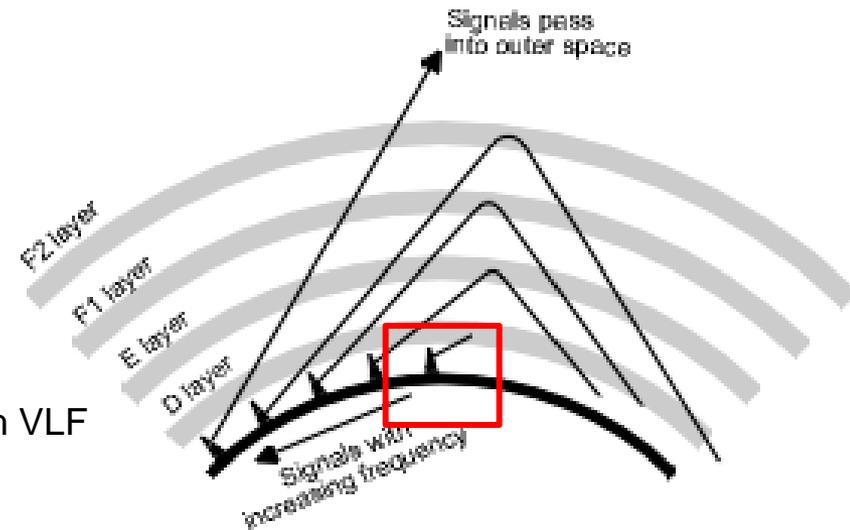
Utilizado para comunicações longa distância.

Distâncias de propagação de 5000 a 20000 km.

Susceptível a ruído atmosférico (incluindo raios).

Pouco desvanecimento nas frequencias mais altas em VLF

Transmissões VLF são muito estável e confiável



3.2-Rádiorádicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Antenas:

Requerem o uso de antenas muito grande, decorrente do seu comprimento de onda

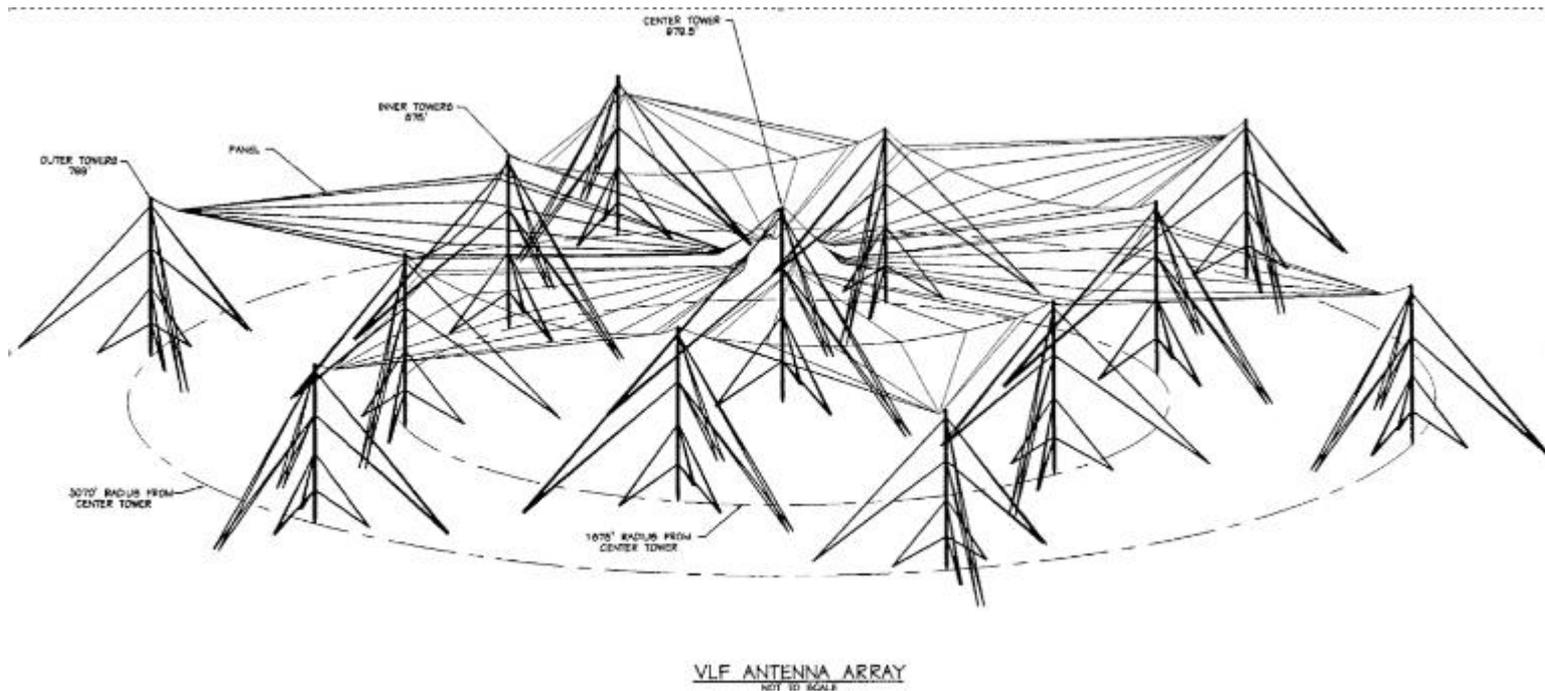


3.2-Rádiorádicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Antenas:

Requerem o uso de antenas muito grande, decorrente do seu comprimento de onda



3.2-Rádiorádios- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Antenas:

Requerem o uso de antenas muito grande, decorrente do seu comprimento de onda



Very low-frequency antennas

3.2-Rádiorcomunicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Aplicações:

VLF é utilizado para se comunicar com submarinos perto da superfície

ELF é utilizado para se comunicar com submarinos em profundidade

Utilizado para balizas de radionavegação

Sinais de tempo

Inicialmente foi utilizada para comunicação de rádio transcontinental de telegrafia (Ex: Transmissor Grimeton VLF – Suécia)

3.2-Rádiodivcomunicações- 3.2.1 Comunicações ELF,SLF,ULF,VLF,LF

3.2.1.2 – VLF – Very Low Frequency

Métodos de comunicações Submarinas VLF:

Transmissores utilizam potência de 20 kW a 2 MW;

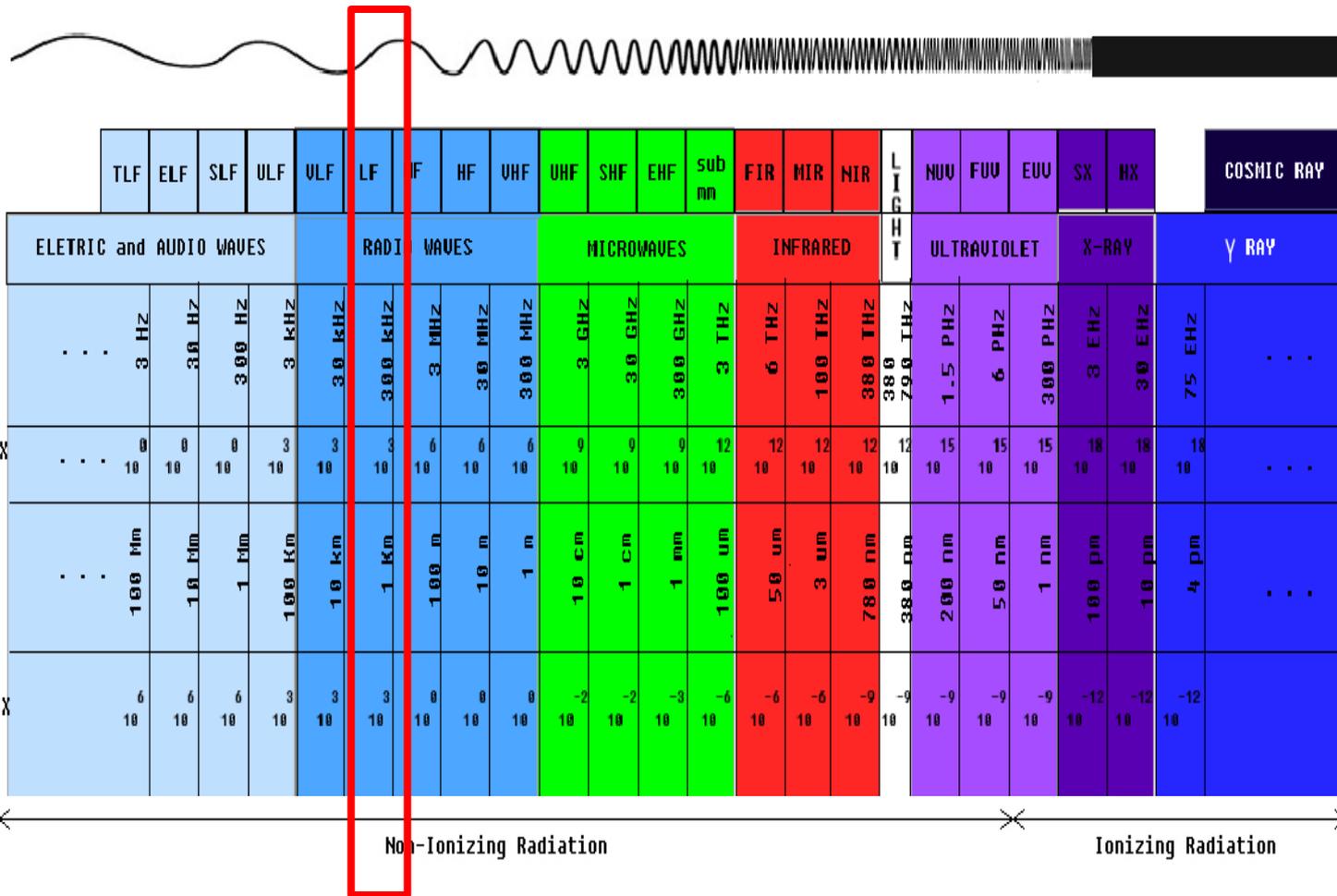
Tres tipos de modulação são utilizadas:

OOK / CWK: On-Off Keying / Continous Wave Keying

FSK: Frequency Shift Keying

MSK: Minimum Shift Keying

2-Ondas Eletromagnéticas – 2.3 Espectro Eletromagnético



3-Radiopropagação– Propagação

FAIXA LF (30 A 300 kHz): Low Frequency

124 peU	3	10 km	3	30 kHz	RAD.	F
1.24 neU	10 ³	1 Km	10 ³	300 kHz		LF

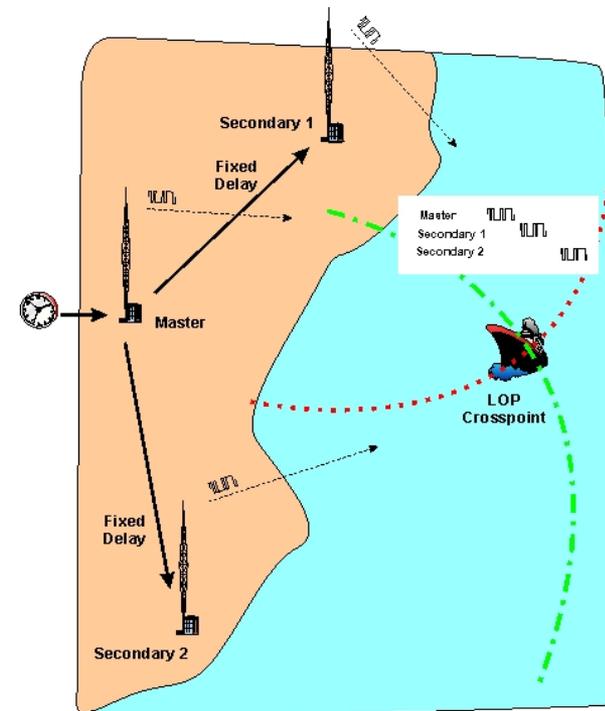
Características e Utilização:

Apresenta baixo sinal de atenuação
Adequado para Comunicações de Longa Distância

Na Africa e na Asia é utilizado como Radiodifusão AM.

No Ocidente seu principal uso é a Aeronavegação
(Sistemas LORAN - LOng RAnge Navigation)

principalmente Informações de tempo



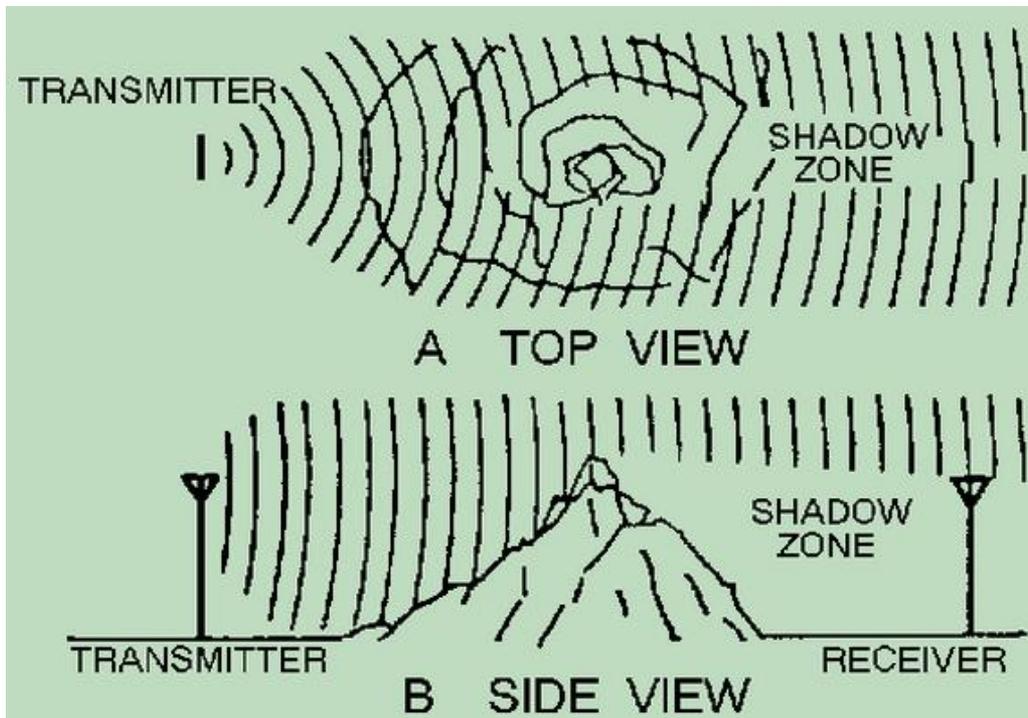
3-Radiopropagação– Propagação

FAIXA LF (30 A 300 kHz): Low Frequency

Propagação:

Devido ao seu longo comprimento de onda, pode difratar por cima de obstáculos como montanhas;

Segue a curvatura da Terra (Onda Terrestre) – Principal modo de propagação!



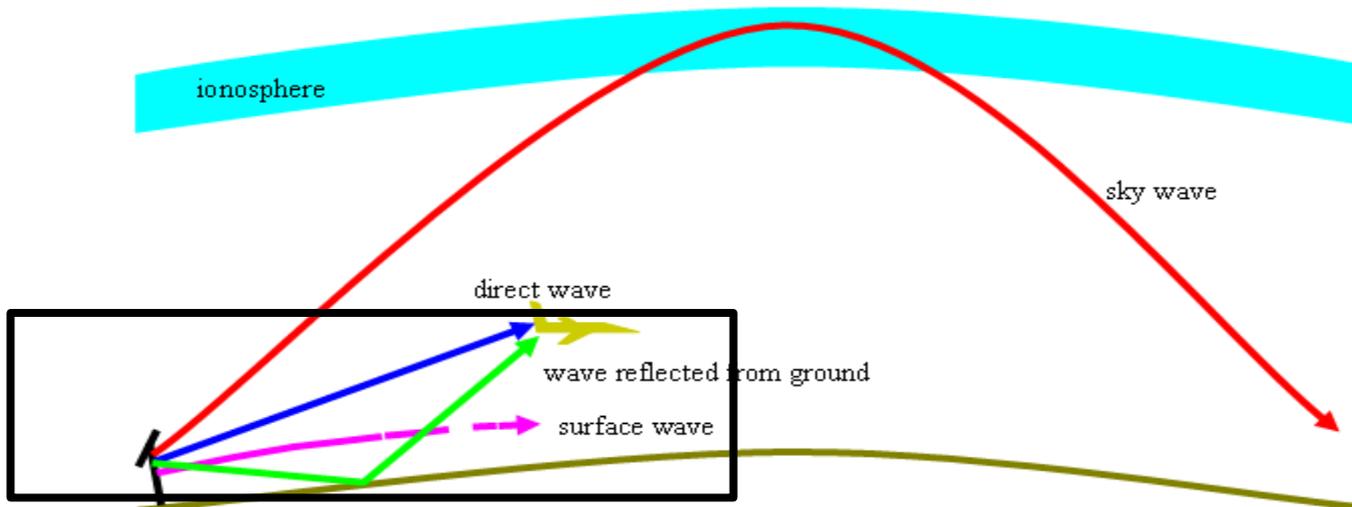
3-Radiopropagação– Propagação

FAIXA LF (30 A 300 kHz): Low Frequency

Propagação:

Devido ao seu longo comprimento de onda, pode difratar por cima de obstáculos como montanhas;

Segue a curvatura da Terra (Onda Terrestre) – Principal modo de propagação!



3-Radiopropagação– Propagação

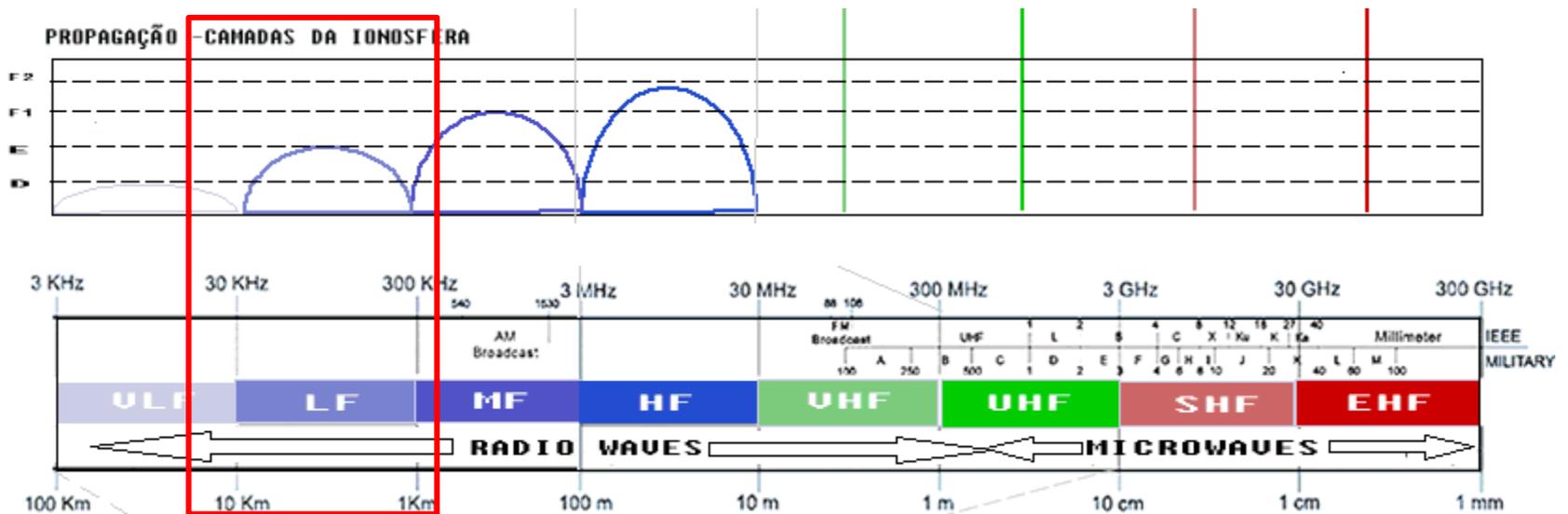
FAIXA LF (30 A 300 kHz): Low Frequency

Propagação:

As ondas de baixa frequencia nessa faixa, pode viajar longas distâncias através da reflexão ionosférica. Embora não seja muito utilizado.

As Reflexões ocorrem nas camadas E e F da Ionosfera.

Podem viajar por cerca de 300 Km a partir da antena transmissora.



3-Radiopropagação– Propagação

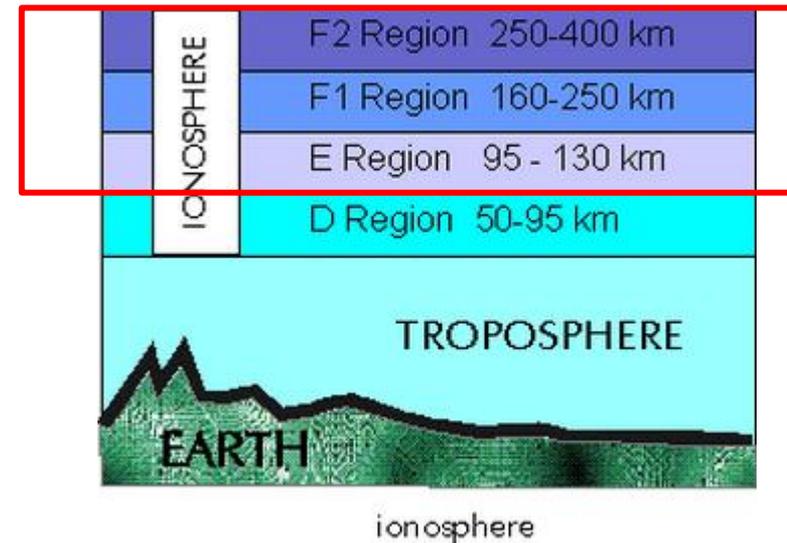
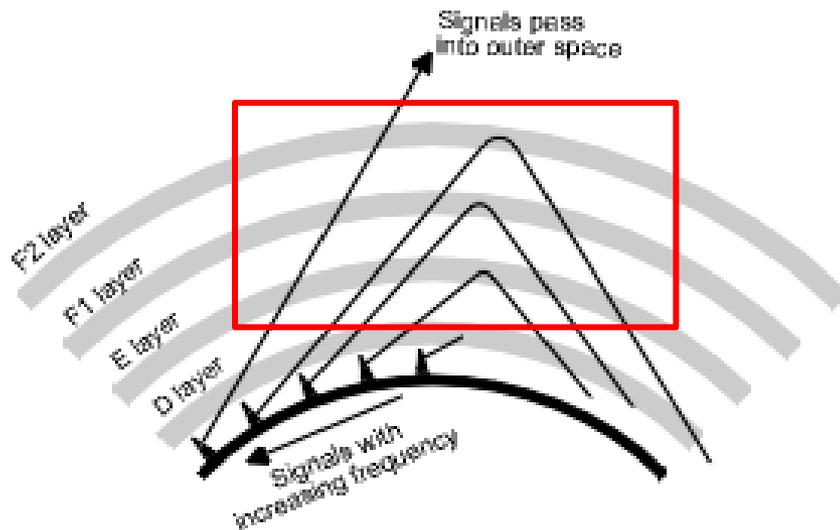
FAIXA LF (30 A 300 kHz): Low Frequency

Propagação:

As ondas de baixa frequencia nessa faixa, pode viajar longas distâncias através da reflexão ionosférica. Embora não seja muito utilizado.

As Reflexões ocorrem nas camadas E e F da Ionosfera.

Podem viajar por cerca de 300 Km a partir da antena transmissora.



3-Radiopropagação– Propagação

FAIXA LF (30 A 300 kHz): Low Frequency

Usos:

Sinais do tempo padrão;

No Japão, nos anos 80, utilizava-se relógios com receptores LF,.

Estas frequencias por se propagarem por onda terrestre, a precisão dos sinais do tempo não eram afetados por diversos caminho.

Militar:

Submarinos, os sinais de rádio inferiores a 50 kHz são capazes de penetrar no oceano

Quanto maior o comprimento de onda, mais profundo

Transmissões de informações meteorológicas:

Sinais de Navegação de rádio:

Radiodifusão:

Utilizado como broadcasting em 148,5 e 283,5 kHz na Europa e partes da Asia

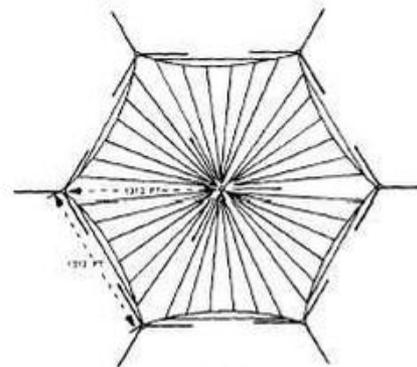
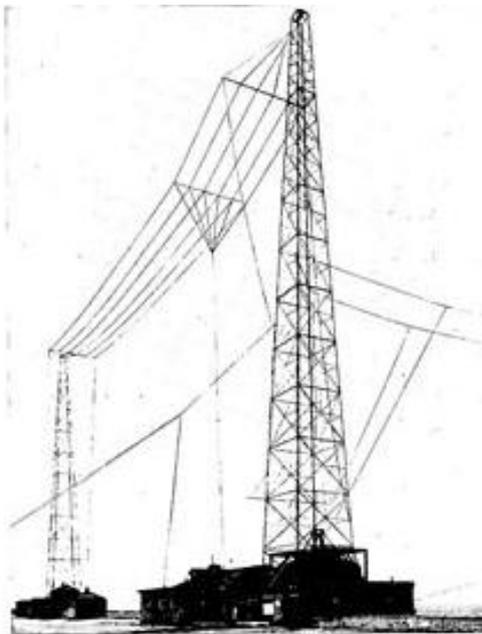
3-Radiopropagação– Propagação

FAIXA LF (30 A 300 kHz): Low Frequency

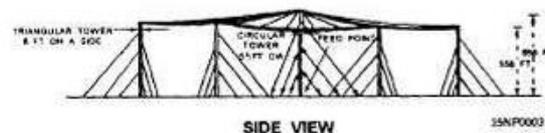
Antenas:

Ondas de superfície nesta faixa, requerem polarização vertical , ou seja, utilizam antenas verticais para transmissão.

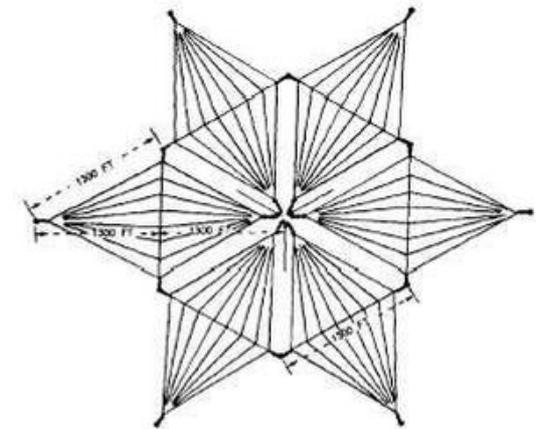
Emissoras utilizam antenas em alturas com mais de 150 metros, com antenas com a mesma altura.



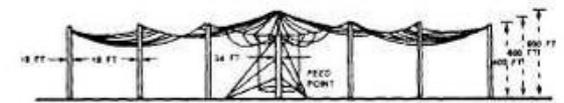
TOP VIEW



SIDE VIEW



TOP VIEW



SIDE VIEW