

Sistemas de Telecomunicações

Prof. Arlei Barcelos

- Espectro Eletromagnético
 - Introdução

A agência responsável pela divisão das faixas de frequência é o ITU (União Internacional de Telecomunicações).

É uma agência da ONU especializada em tecnologias de informação e comunicação

Os principais setores da ITU são:

- ITU-R: gestão do espectro de radiofrequência e recursos de órbita de satélite
- ITU-D: acesso as comunicações
- ITU-T: padrões e normas

Conforme a frequência (f) e, por conseguinte, seu comprimento de onda, as ondas eletromagnéticas recebem nomes diferentes.

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas, distribuídas em função da sua frequência, é denominado espectro eletromagnético.

As radiações eletromagnéticas são classificadas em regiões de acordo com seu comprimento de onda e as formas de obtenção são as seguintes

γ - Gamma Rays

X-Rays

HX - Hard X-Rays

SX - Soft X-Rays

Ultraviolet

EUU - Extreme Ultraviolet

FUU - Far Ultraviolet

HUV - Near Ultraviolet

Infrared

HIR - 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



γ - Gamma Rays

X-Rays

HX - Hard X-Rays

SX - Soft X-Rays

Ultraviolet

EUU - Extreme Ultraviolet

FUV - Far Ultraviolet

NUV - 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



As formas de obtenção das ondas eletromagnéticas nas faixas de frequência podem ser resumidas da seguinte forma:

Freqüência (Hz)	Comprimento de onda (m)	Forma usual de obtenção
10^{13}	10^{-14}	• Transições nucleares
10^{21}	10^{-13}	
10^{21}	10^{-12}	
10^{20}	10^{-11}	
10^{19}	10^{-10}	(1 Å)
10^{18}	10^{-9}	(1 nm)
10^{17}	10^{-8}	
10^{16}	10^{-7}	
10^{15}	10^{-6}	
10^{14}	10^{-5}	(1 μm)
10^{13}	10^{-4}	
10^{12}	10^{-3}	
10^{11}	10^{-2}	
10^{10}	10^{-1}	
10^9	1	
10^8	10	
10^7	10^2	
10^6	10^3	
10^5	10^4	
10^4	10^5	
10^3	10^6	
10^2	10^7	
10		

2– Espectro Eletromagnético

2.2 – Radiações: Raios Cósmicos

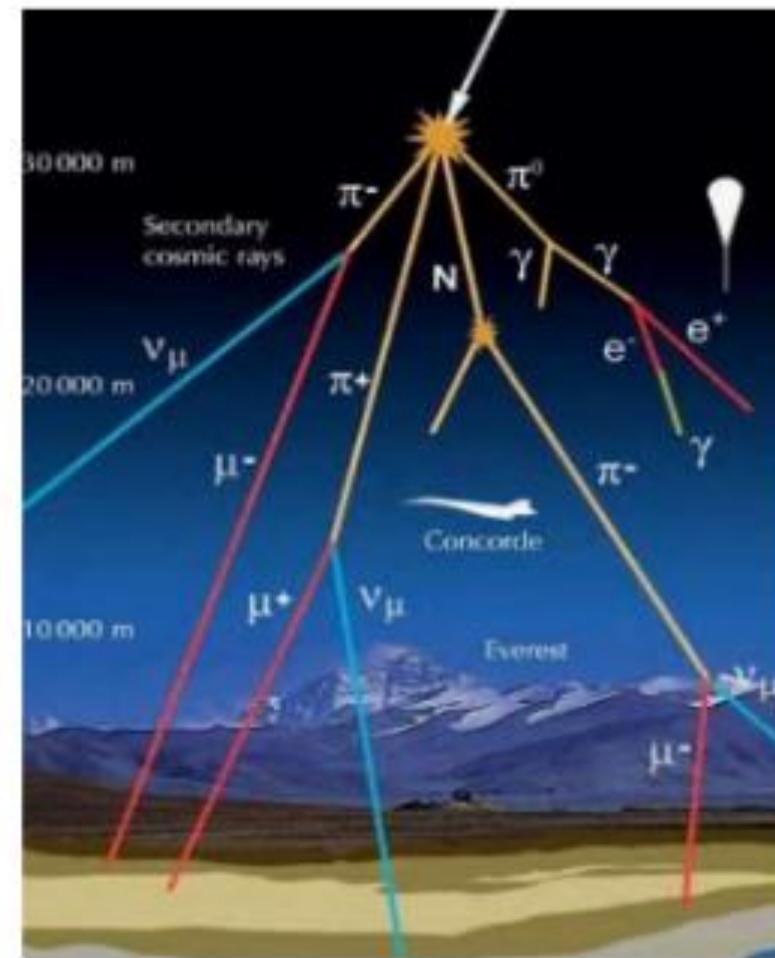
Frequência: +75 Ehz

Comprimento de onda: 4pm-

Origem: indefinida, alguns podem ser campo magnético de um buraco negro, outros explosão de supernova

Essas partículas, ao chegarem a Terra, colidem com os núcleos dos átomos da atmosfera, dando origem a trilhões delas, chamado raios cósmicos secundários.

São partículas extremamente penetrantes, dotadas de alta energia



2– Espectro Eletromagnético

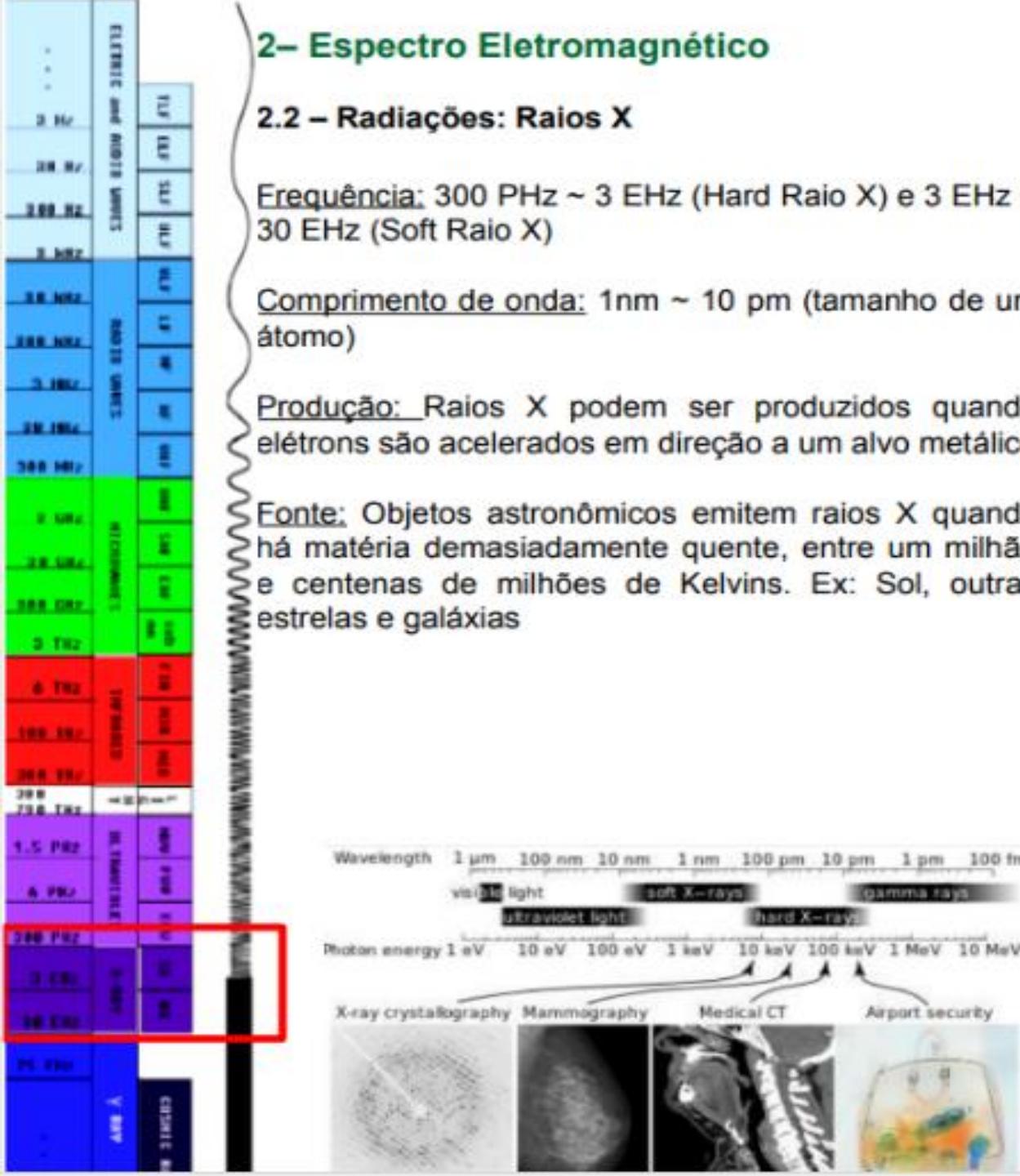
2.2 – Radiações: Raios X

Frequência: 300 PHz ~ 3 Hz (Hard Raio X) e 3 Hz ~ 30 EHs (Soft Raio X)

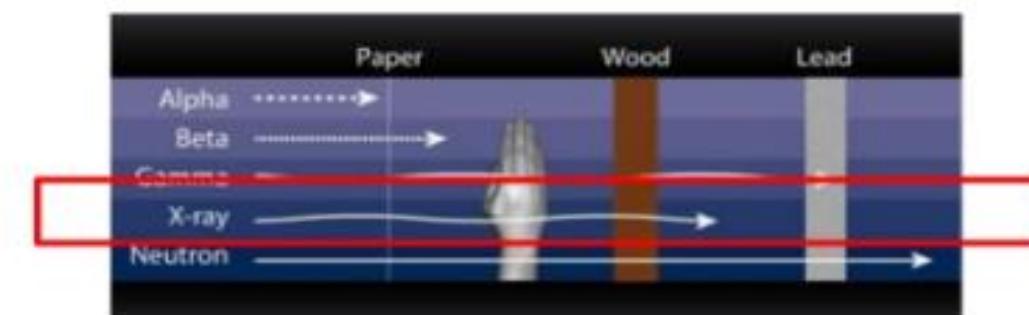
Comprimento de onda: 1nm ~ 10 pm (tamanho de um átomo)

Produção: Raios X podem ser produzidos quando elétrons são acelerados em direção a um alvo metálico

Fonte: Objetos astronômicos emitem raios X quando há matéria demasiadamente quente, entre um milhão e centenas de milhões de Kelvins. Ex: Sol, outras estrelas e galáxias

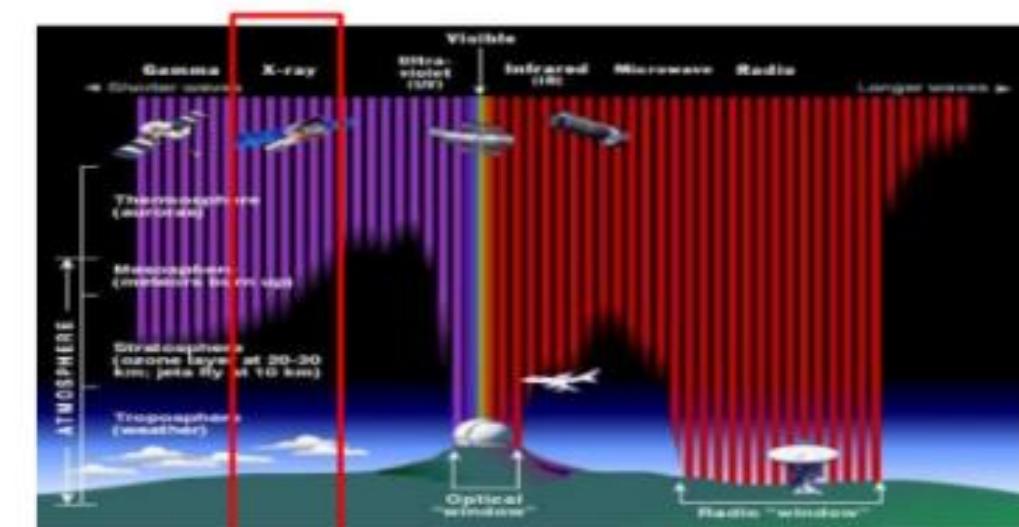


Penetram profundamente na matéria antes de interagir com um átomo



Os Raio X não penetram na atmosfera da Terra

Podem interferir em comunicações que utilizam a atmosfera ou acima dela (HF e Satélites)



2– Espectro Eletromagnético

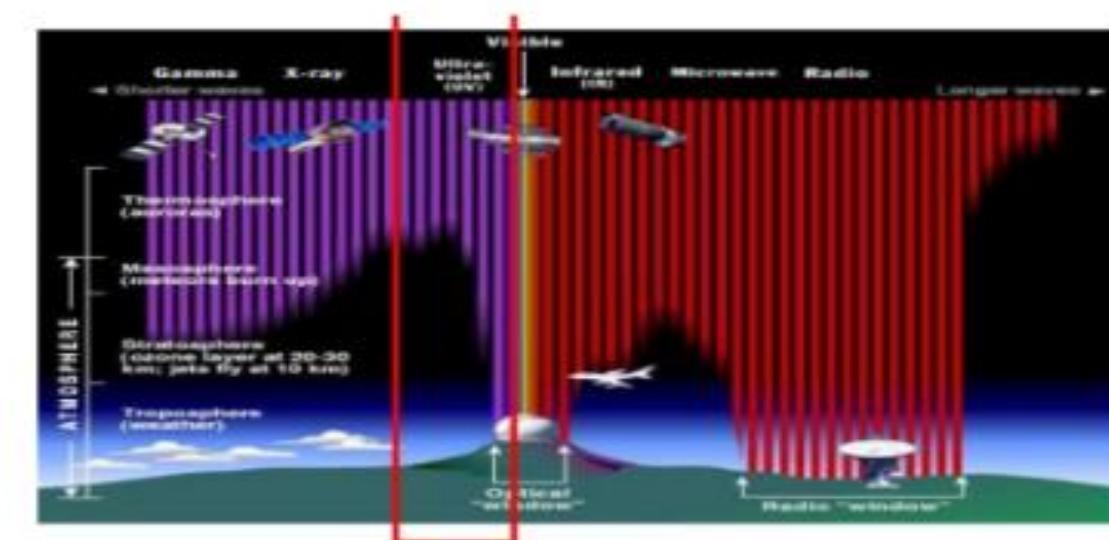
2.2 – Radiações: Raios Ultravioleta

Frequência: 300 PHz ~ 6 Phz (Extreme UV), 6 Phz ~ 1.5 Phz (Far UV), 1.5 Phz ~ 790 THz (Near UV)

Comprimento de onda: 380 nm ~ 1nm

Fonte: Os objetos muito quentes da natureza emitem radiação UV. O Sol é a principal fonte (emite radiação UV em vários comprimentos de onda), arco voltaico, luz negra

As camadas da atmosfera bloqueiam cerca de 77% dos Raios Ultravioletas do Sol



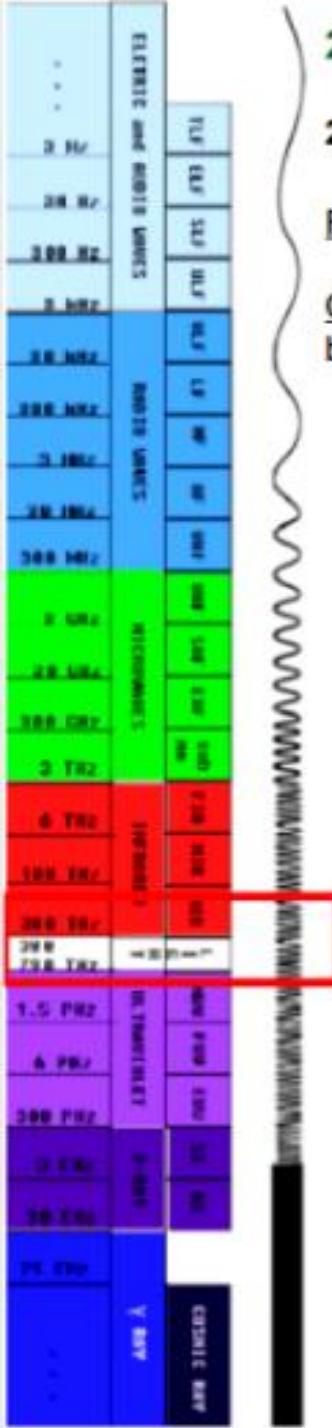
Absorção do UVI na Atmosfera

2– Espectro Eletromagnético

2.2 – Radiações: Luz Visível

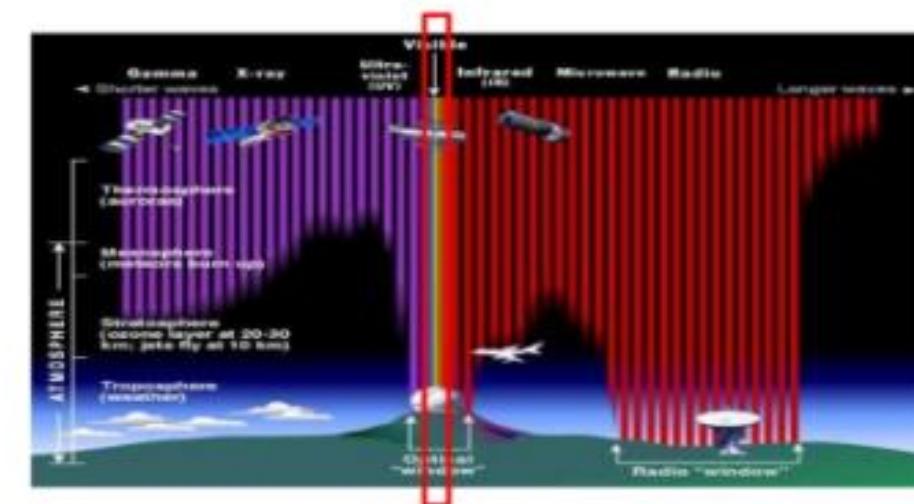
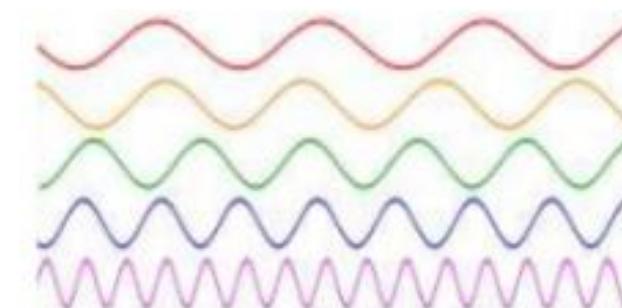
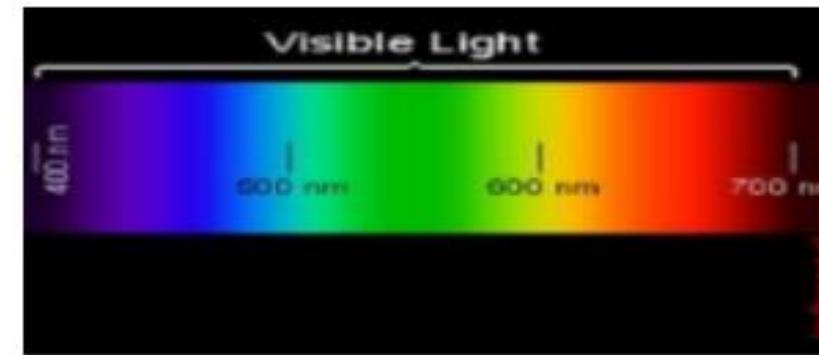
Frequência: 380 THz ~ 790 THz

Comprimento de onda: 780 nm ~ 380 nm (tamanho de bactérias)



Cor	Comprimento de onda	Freqüência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

porção do espectro eletromagnético cuja radiação é composta por fótons capazes de sensibilizar o olho humano



Absorção da Luz Visível na Atmosfera

2– Espectro Eletromagnético

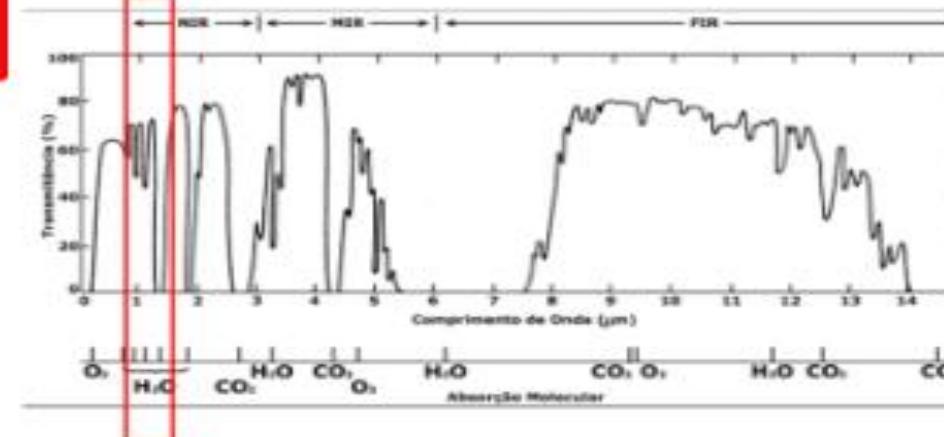
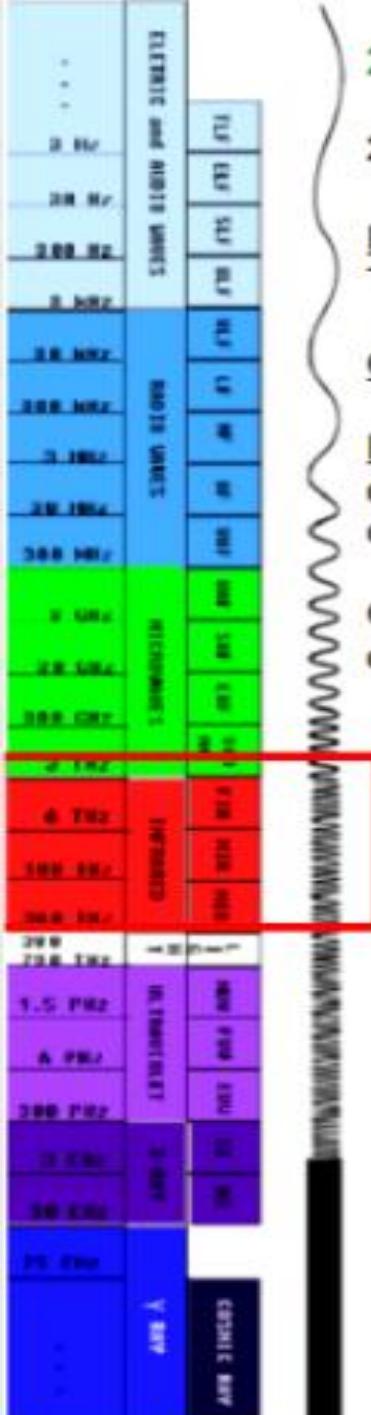
2.2 – Radiações: Infravermelho

Frequência: 100 THz ~ 380 THz (NIR), 6 THz ~ 100 THz (MIR), 6 THz ~ 3 THz (FIR)

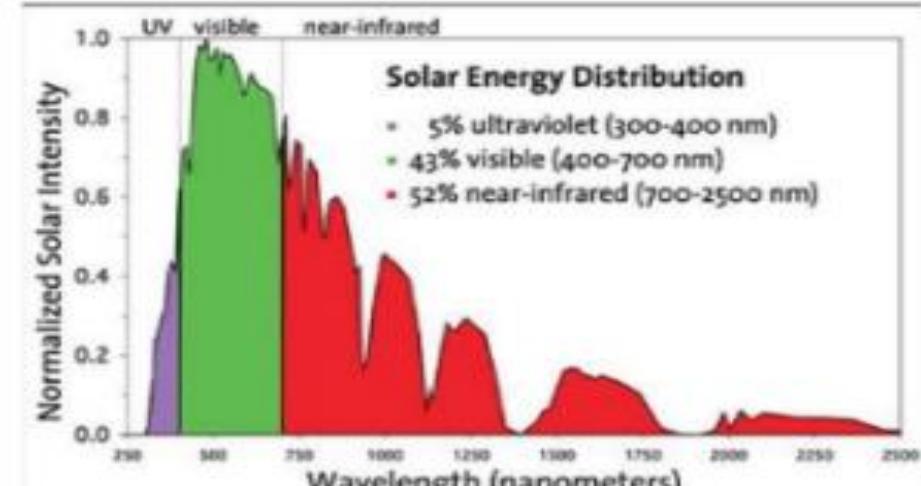
Comprimento de onda: 780 nm ~ 100 µm

Fonte: É emitida em grande quantidade pelos átomos de um corpo aquecido, os quais se encontram em constante e intensa vibração

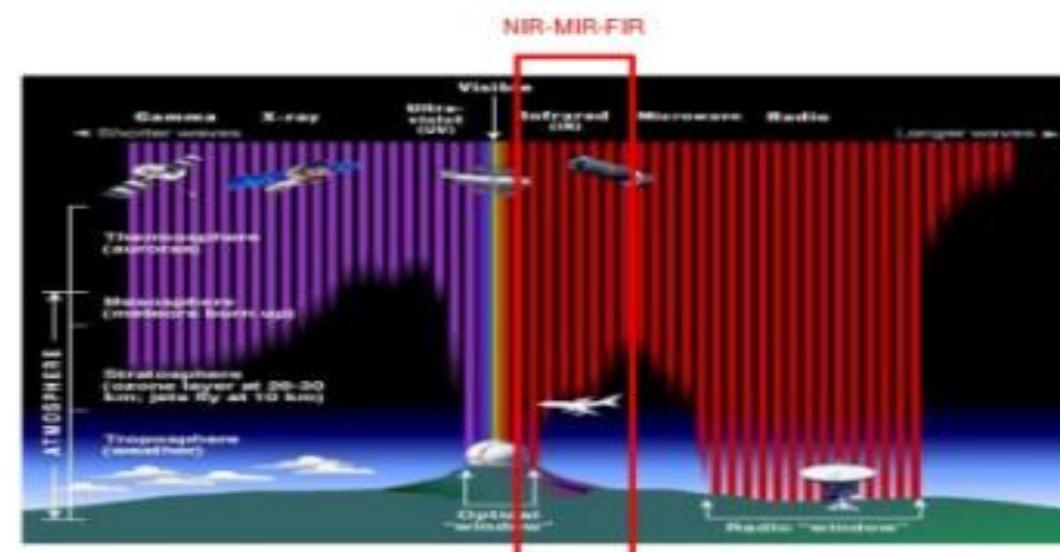
O IR não penetra paredes e assim não interfere com outros dispositivos



Transmitância x Absorção do Infravermelho



Radiação Solar



Absorção do Infravermelho na Atmosfera

2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: THF (submm)

Tremendously high frequency / Raio-T

Frequência: 300 GHz ~ 3 THz

Comprimento de onda: 1mm ~ 100 um

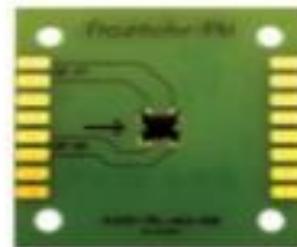
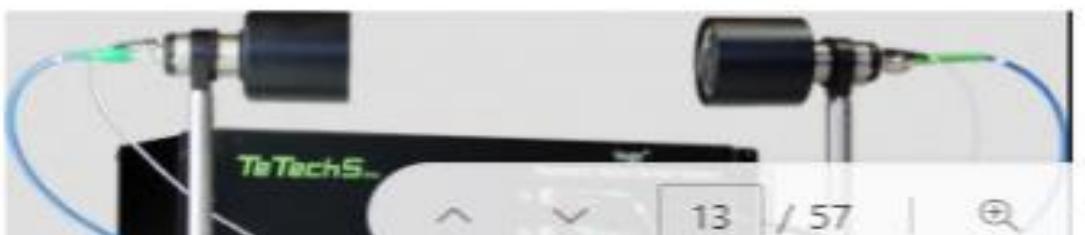
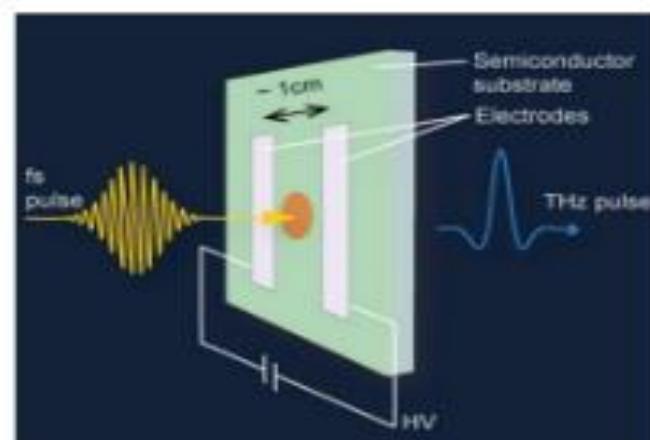
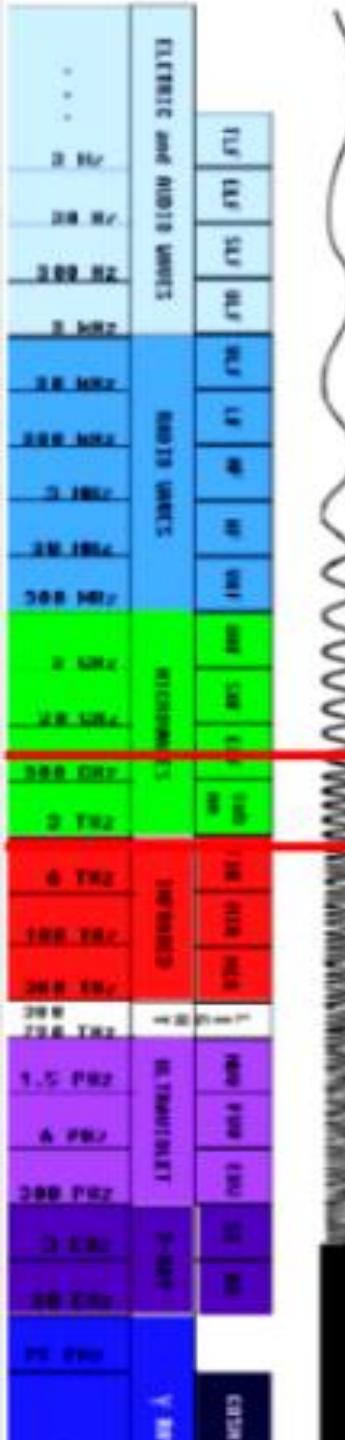
Fonte: um pulso emitido pelo laser de femtosegundo atinge uma antena fotocondutiva – material que emite pulsos elétricos quando iluminada o resultado é a emissão de pulsos THF

Alto poder de penetração em materiais desidratados, não-metálicos: plástico, papel, cartolina

Impenetrabilidade em materiais metálicos e líquidos.

Ao contrário dos raios X, os raios T não ionizam o material analisado e, ao contrário do infravermelho, não o aquece

Ex aplicação: espessura, spectroscopia, sensoriamento



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: THF (submm)

Tremendously high frequency / Raio-T

Frequência: 300 GHz ~ 3 THz

Comprimento de onda: 1mm ~ 100 um

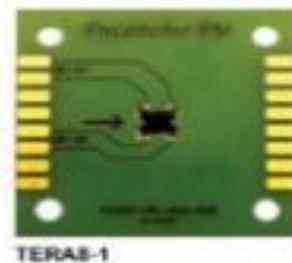
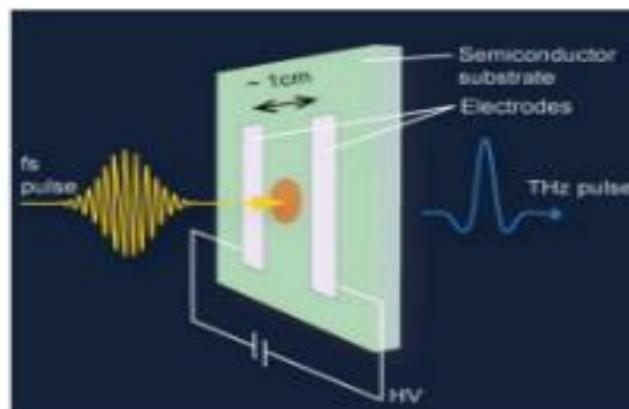
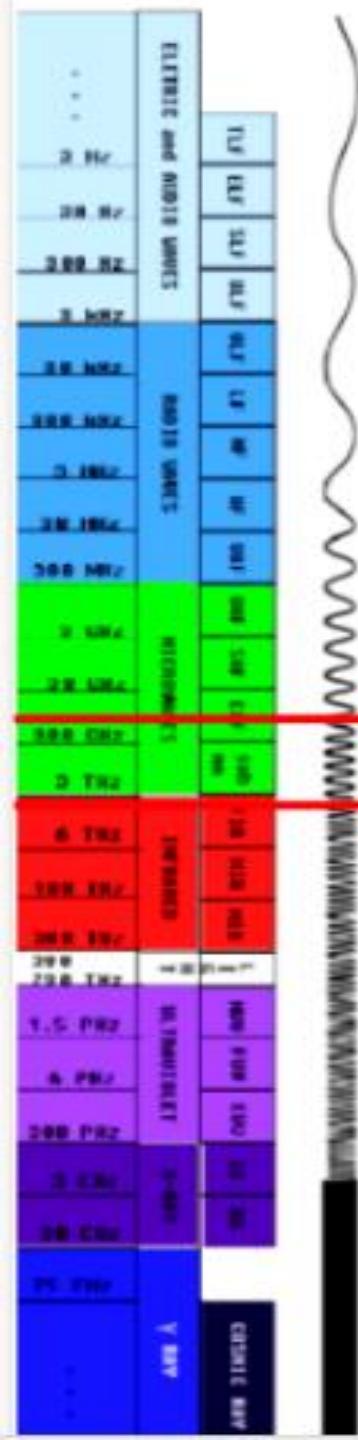
Fonte: um pulso emitido pelo laser de femtosegundo atinge uma antena fotocondutiva – material que emite pulsos elétricos quando iluminada o resultado é a emissão de pulsos THF

Alto poder de penetração em materiais desidratados, não-metálicos: plástico, papel, cartolina

Impenetrabilidade em materiais metálicos e líquidos.

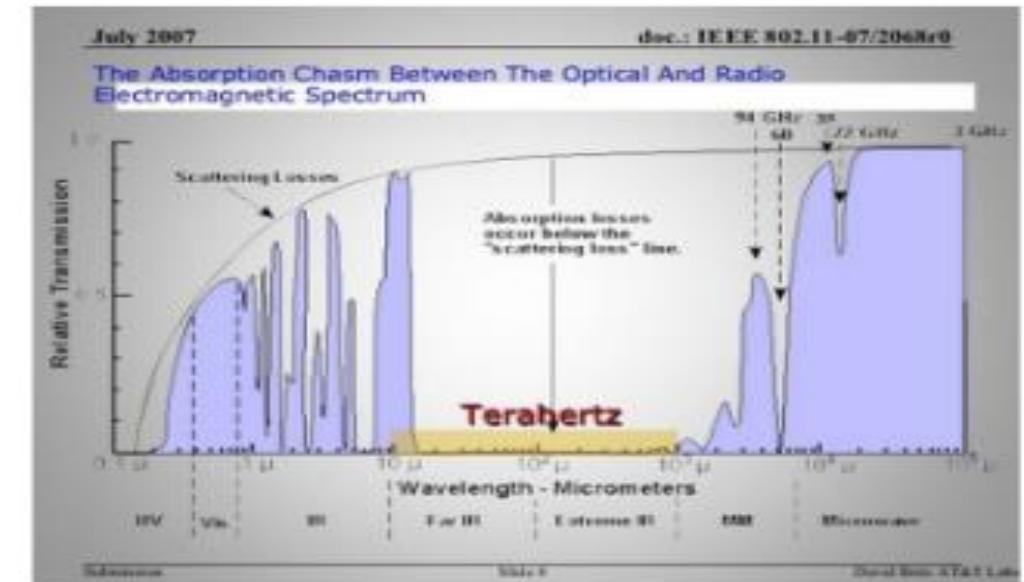
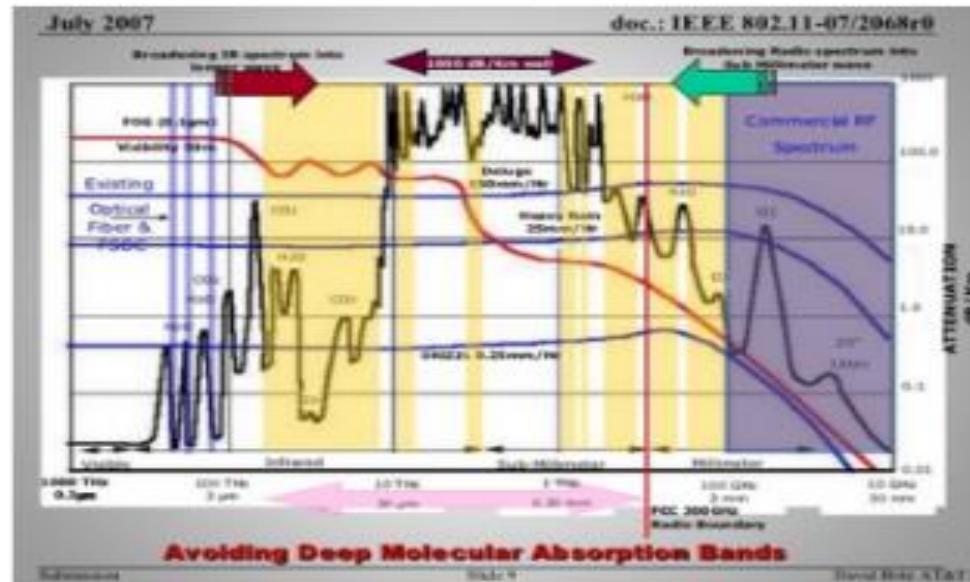
Ao contrário dos raios X, os raios T não ionizam o material analisado e, ao contrário do infravermelho, não o aquece

Ex aplicação: espessura, spectroscopia, sensoriamento



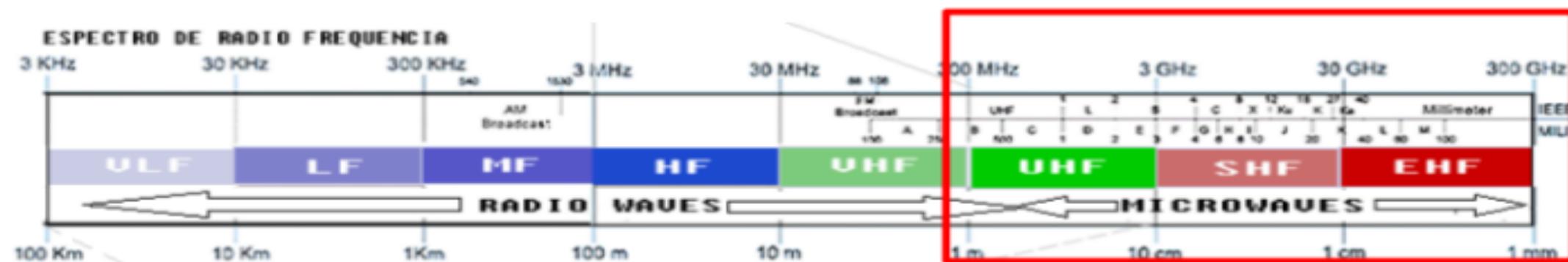
2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: THF (submm)



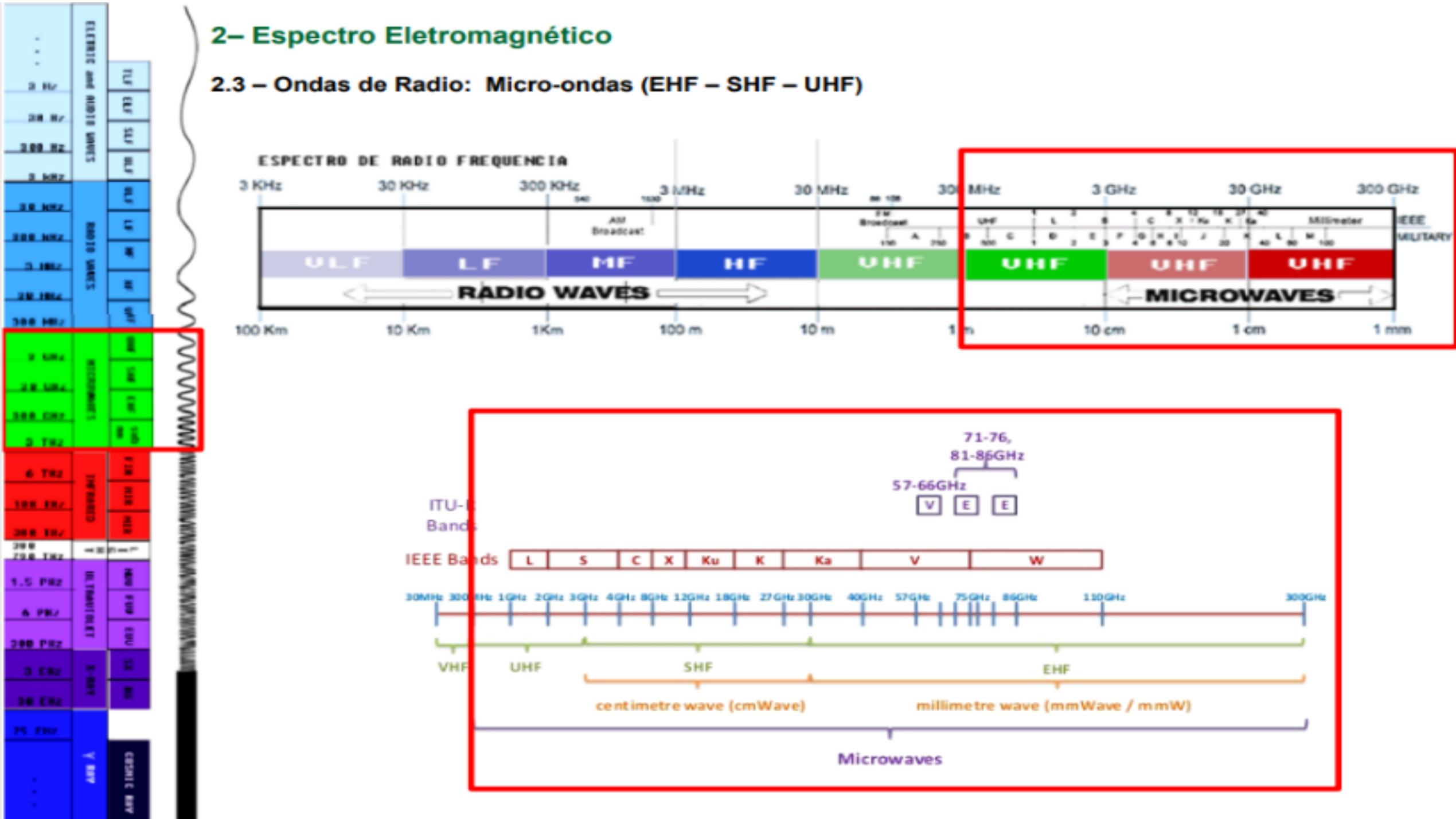
2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – SHF – UHF)



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – SHF – UHF)



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – SHF – UHF)

Vantagem:

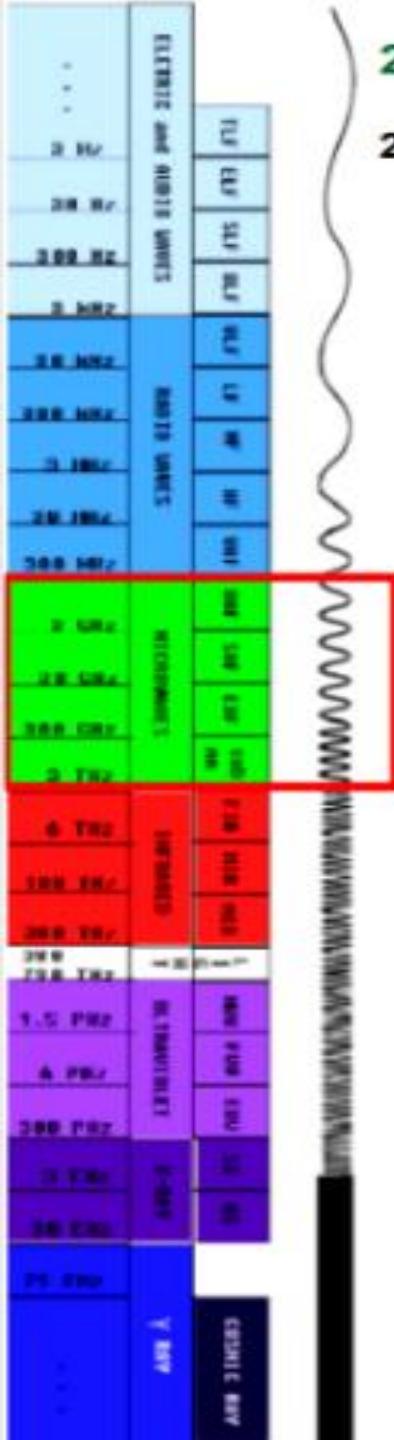
- superlotação do espectro abaixo de 300 MHz
 - largura de banda maior
 - transmissões binárias de alta velocidade

Desvantagem:

Quanto maior a frequência, mais difícil se torna analisar os circuitos eletrônicos.

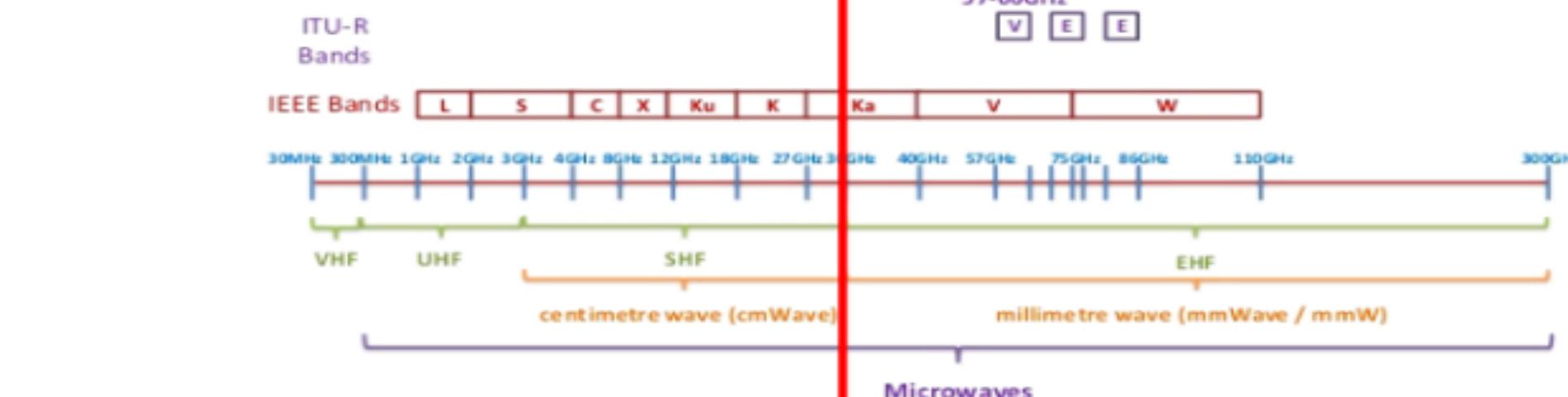
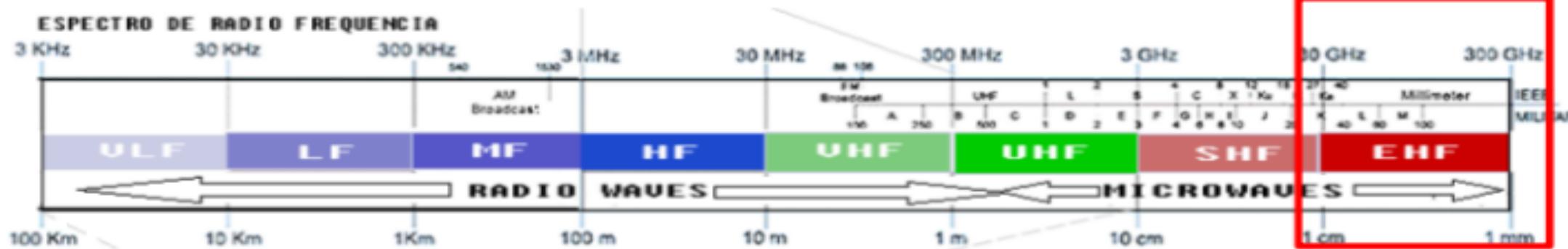
Análise de circuitos em frequências abaixo de 30 MHz é baseado em corrente e tensão, em micro-ondas é

Baseado em campo elétrico e magnético



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – Extremely High Frequency - mmWave)



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – Extremely High Frequency - mmWave)

Frequencia: 30 GHz a 300 GHz

Comprimento de onda: 1cm a 1mm

Bandas relacionadas IEEE: Banda Ka (K-above (26.5~40 GHz) / V (40~75) / W(75~110 GHz)

Desvantagem: Essa banda tem uma alta atenuação atmosférica (absorvida por gases na atmosfera). Em particular, na região de 57 ~ 64 GHz está sujeito a ressonância das moléculas de oxigênio e são fortemente atenuadas.

Atenuação pela chuva também é um problema dessa faixa.

São bloqueados através de paredes

Vantagem: Antenas de tamanho reduzido. Melhora a utilização do espectro através da reutilização de frequência. Permite diferentes sistemas operarem em proximidade sem causar interferência.

Característica: óptica (refletem em superfícies metálicas), altamente direcional.

Propagação: Direta (linha de visada)



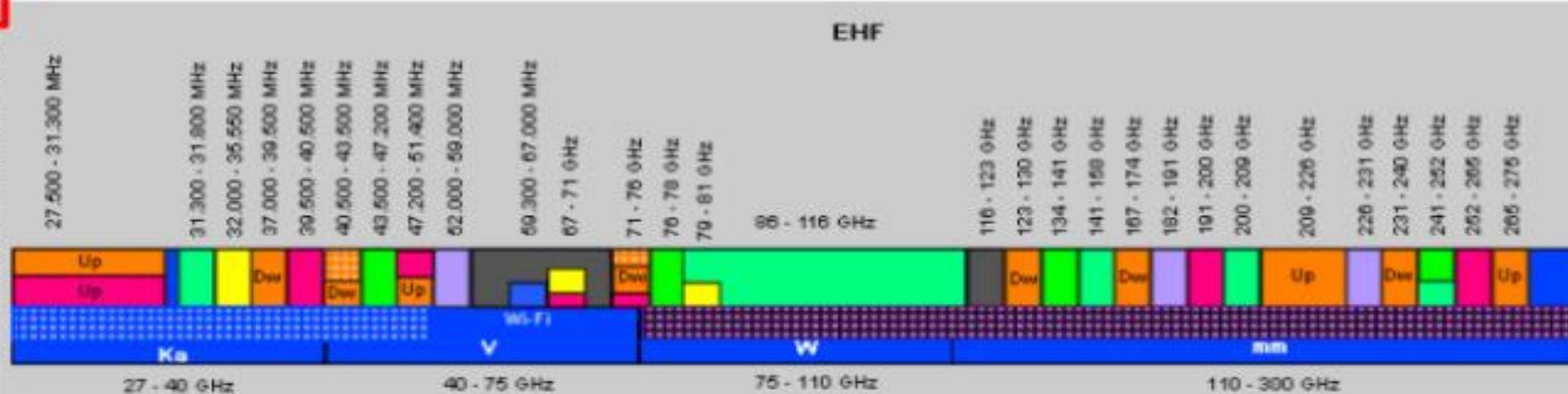
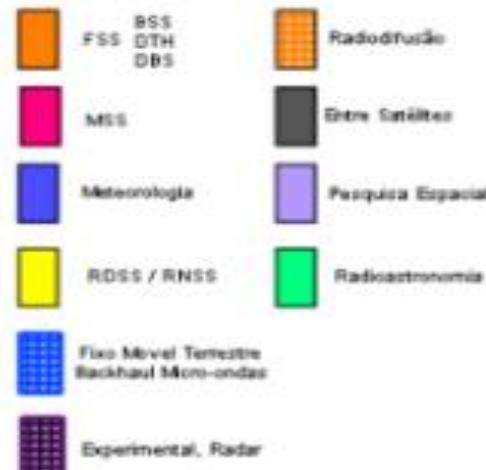
2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – Extremely High Frequency - mmWave)

Aplicação:

Links de micro-ondas de alta velocidade,
Transferência de dados curto alcance,
Tecnologias: IEEE 802.11ad, 5G
Radar

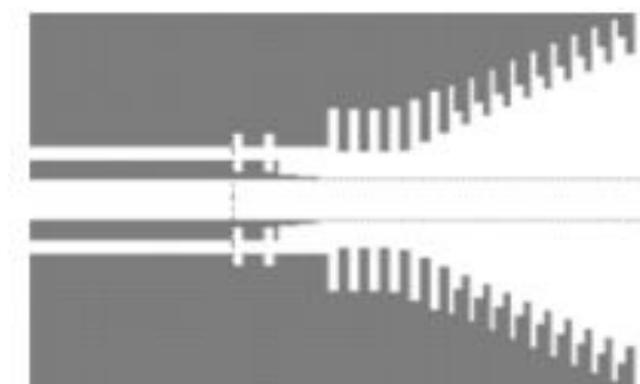
Atribuição da faixa de frequência:



2– Espectro Eletromagnético

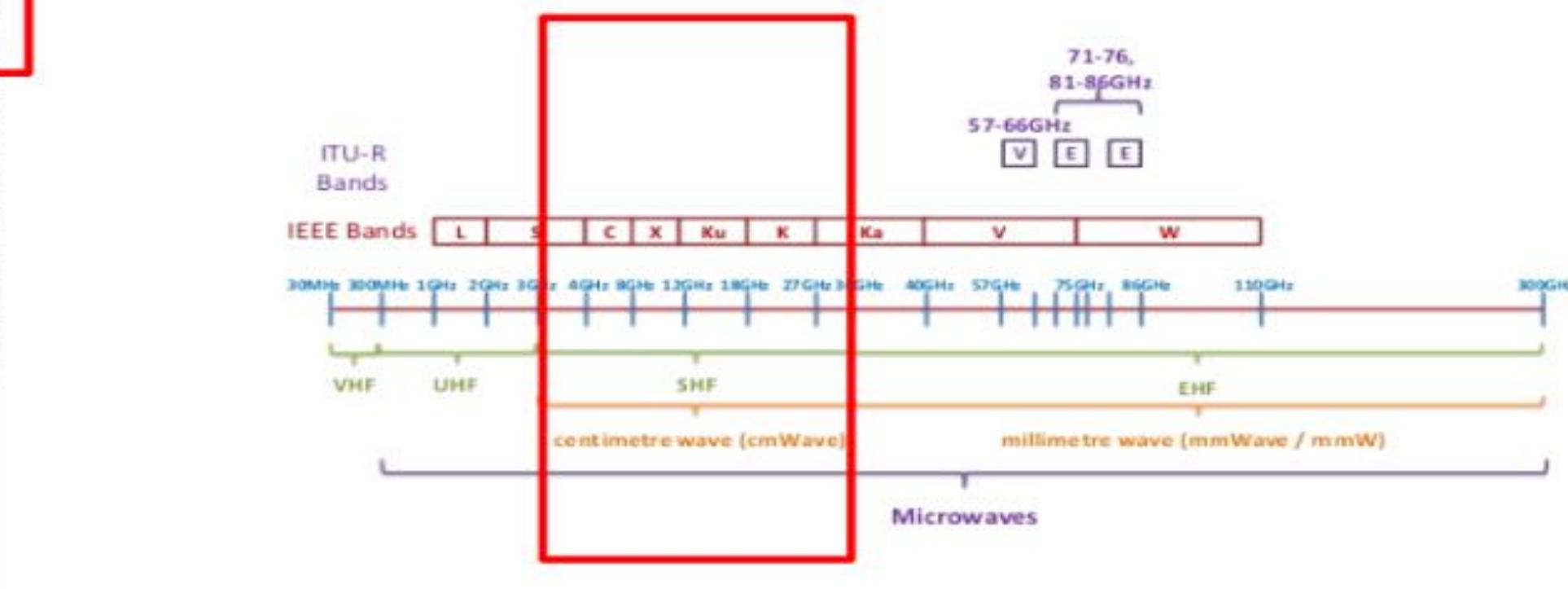
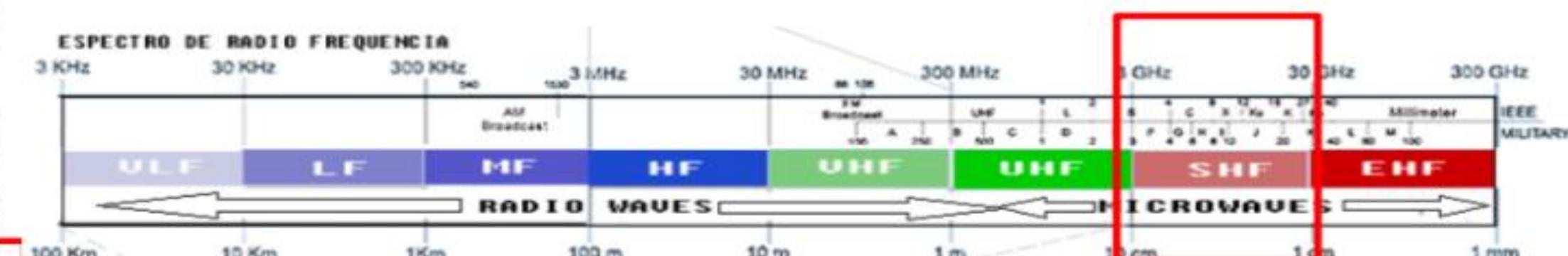
2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (EHF – Extremely High Frequency - mmWave)

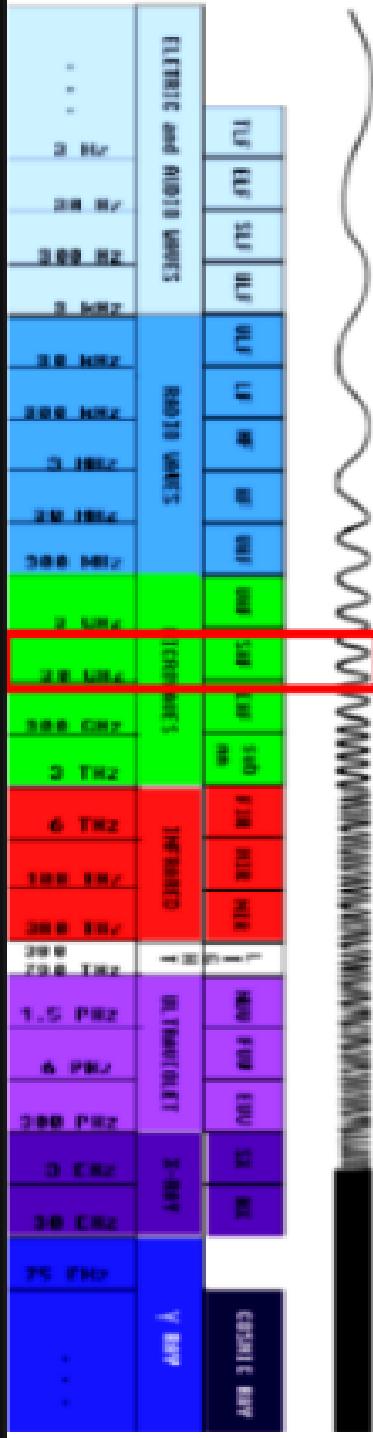
Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (SHF – Super High Frequency)





2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (SHF – Super High Frequency)

Frequência: 3 GHz a 30 GHz

Comprimento de onda: 10 cm a 1 cm

Bandas Relacionadas IEEE: S (3GHz~4GHz), C(4GHz~8GHz), X(8GHz~12GHz), Ku(12GHz~18GHz), K(18GHz~27GHz), Ka(27GHz~30GHz)

Desvantagem: suscetível a atenuação por chuva (banda Ka)

Vantagem: Largura de banda

Propagação: direta (linha de visada)

2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (SHF – Super High Frequency)

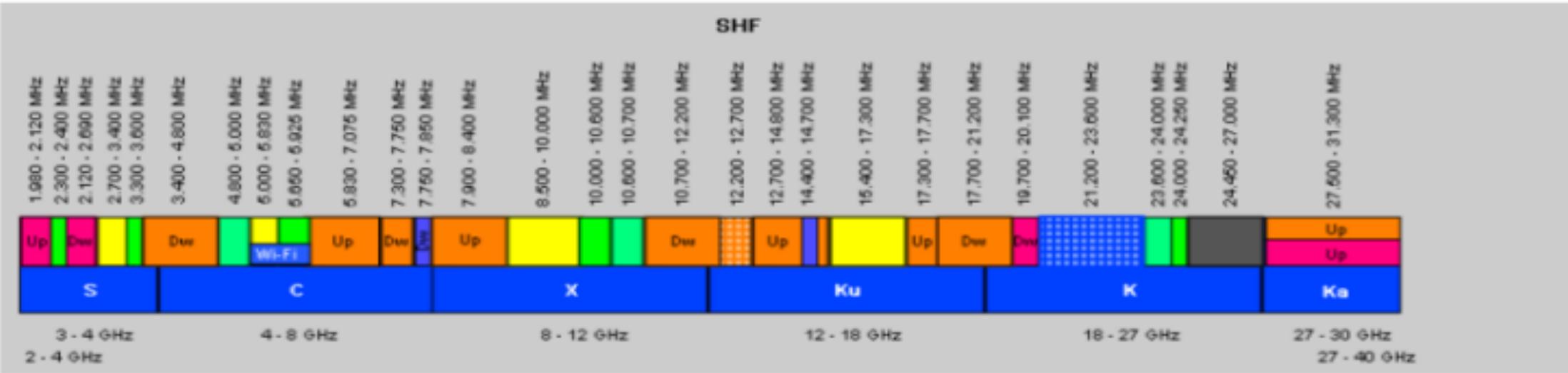
Aplicação:

Wi-Fi 5 GHz

Comunicações via satélite (C/X/Ka)

Radar

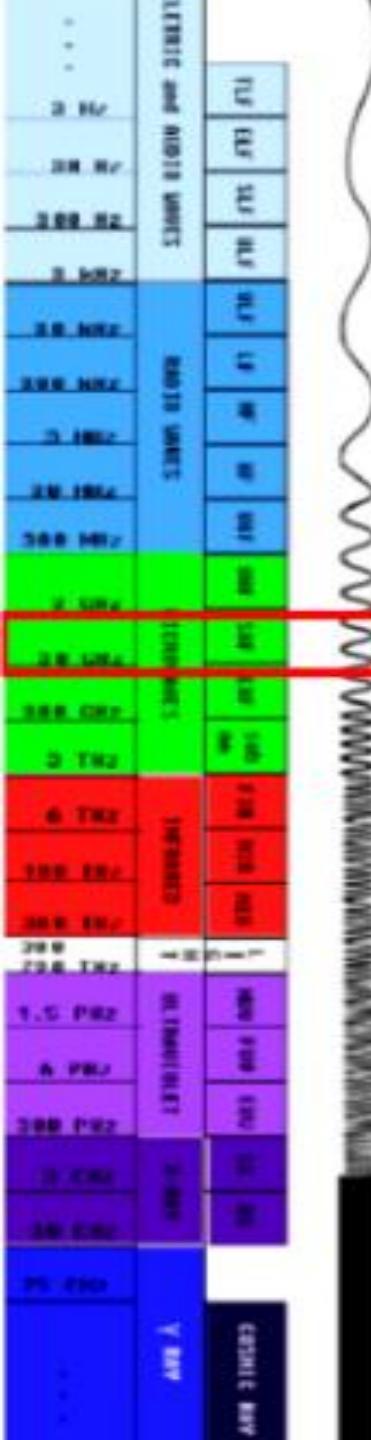
Atribuição:



2 – Espectro Eletromagnético

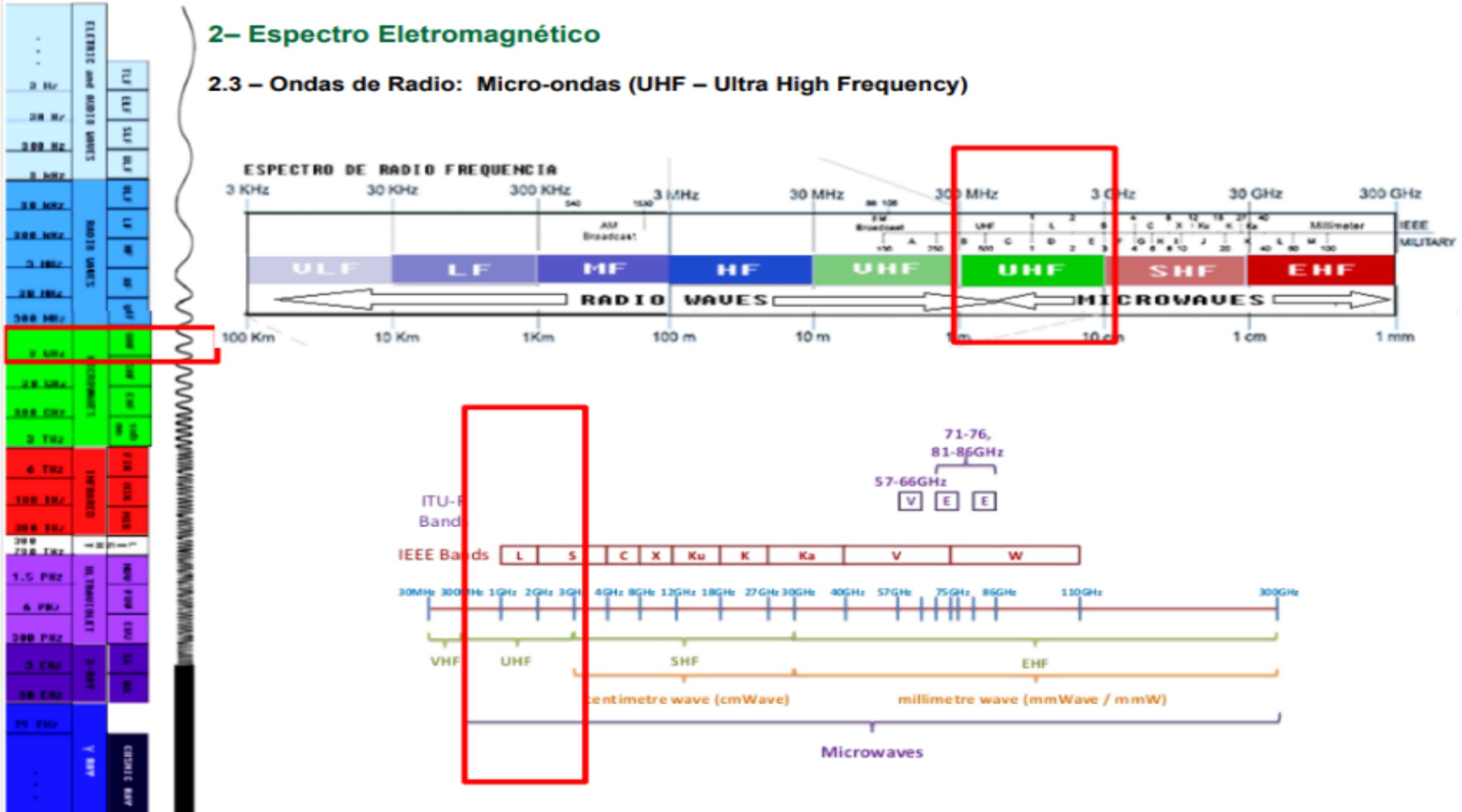
2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (SHF – Super High Frequency)

Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (UHF – Ultra High Frequency)



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (UHF – Ultra High Frequency)

Frequência: 300 MHz a 3 GHz

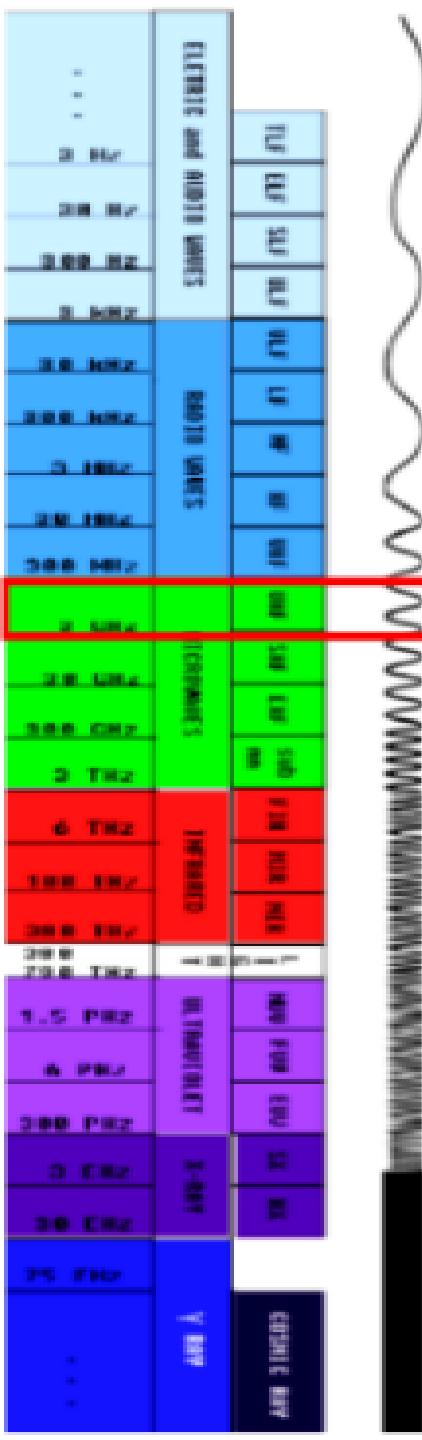
Comprimento de onda: 1m a 10 cm

Bandas Relacionadas IEEE: L (1GHz~2GHz) e S (2GHz ~ 3GHz)

Desvantagem: umidade atmosférica, vento solar, obstruções

Vantagem: comprimento de onda – antenas menores

Propagação: linha de visão, bloqueado por montanhas e edifícios, mas tem poder de penetração em paredes.



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (UHF – Ultra High Frequency)

Aplicação:

Televisão Analógica

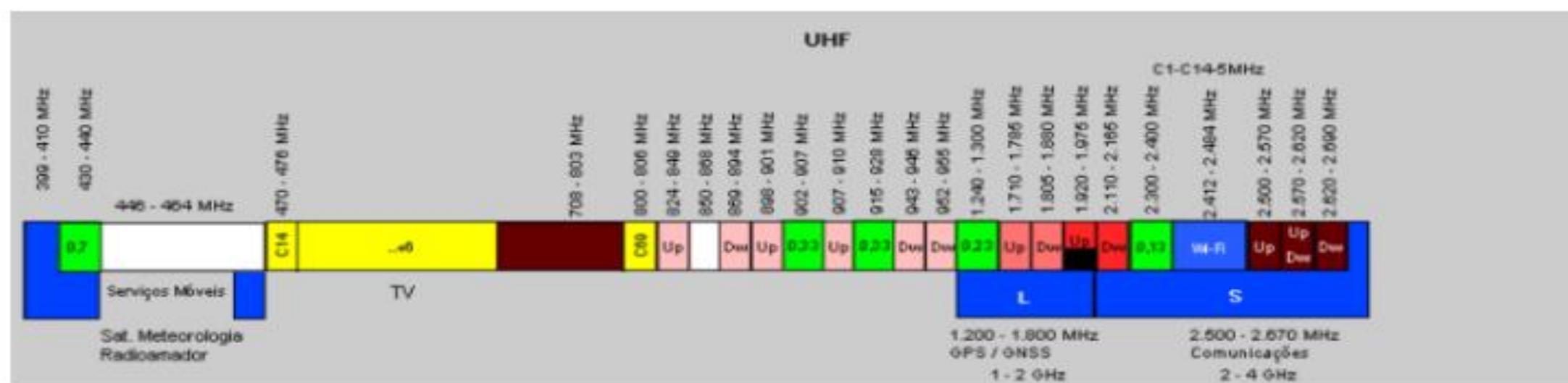
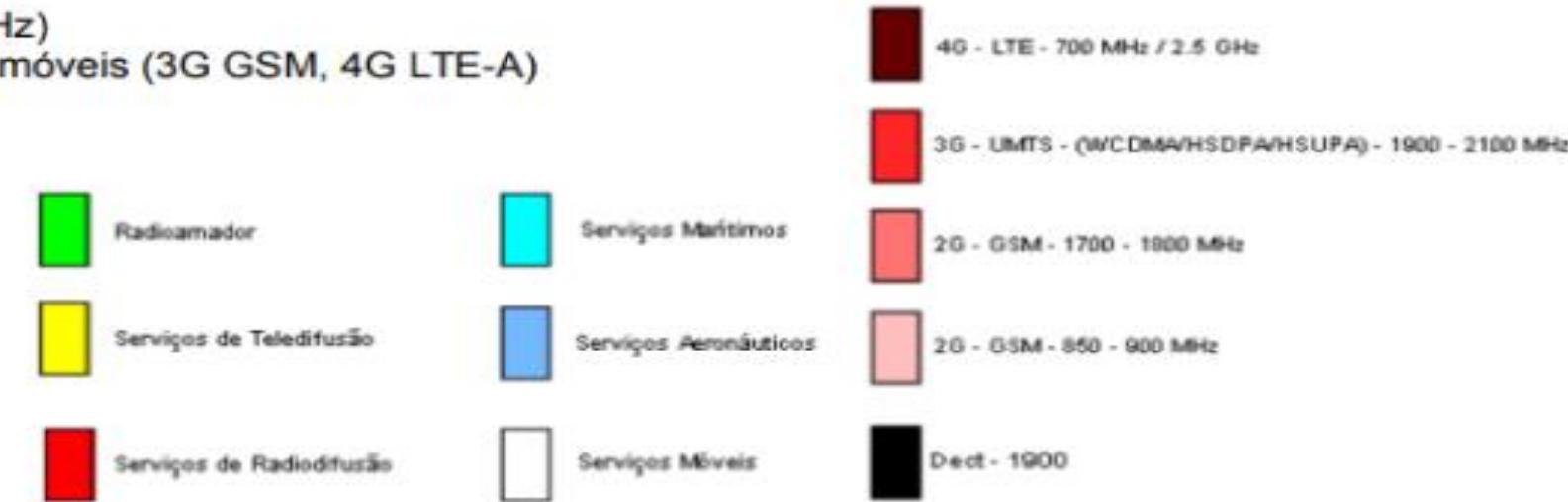
Bluetooth, ZigBee, WiFi (2.4GHz)

Tecnologias de comunicações móveis (3G GSM, 4G LTE-A)

Serviços de rádio móvel

Rádio Amador

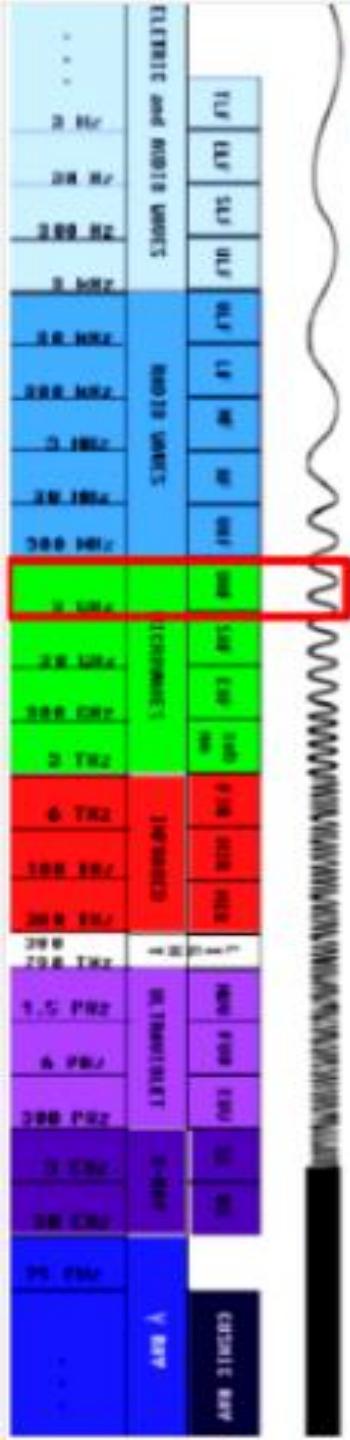
Atribuição:



2– Espectro Eletromagnético

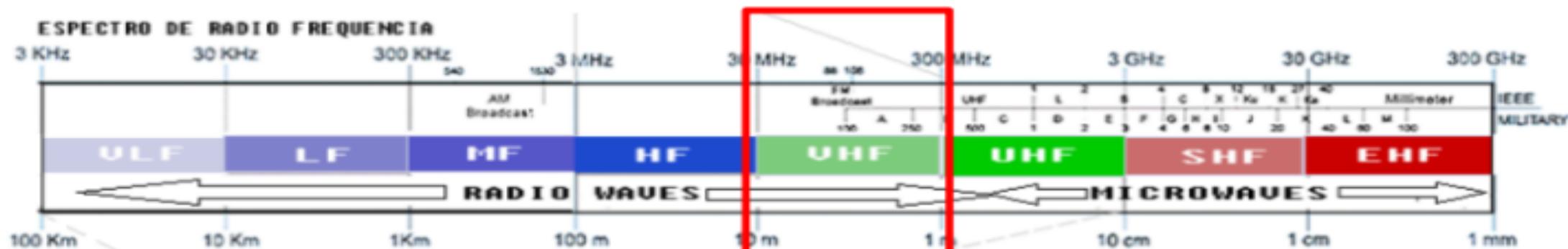
2.3 – Ondas de Radio: Micro-ondas (UHF – Ultra High Frequency)

Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: VHF – Very High Frequency



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: VHF – Very High Frequency

Frequência: 30 MHz a 300 MHz

Comprimento de onda: 10 m a 1 m

Desvantagem: horizonte de rádio (160 km)

Vantagem: menos afetado que as frequências mais baixas por ruído atmosférico e interferência eletromagnética

Propagação: linha de visão (ondas diretas/refletidas) – horizonte de rádio, duto troposférico

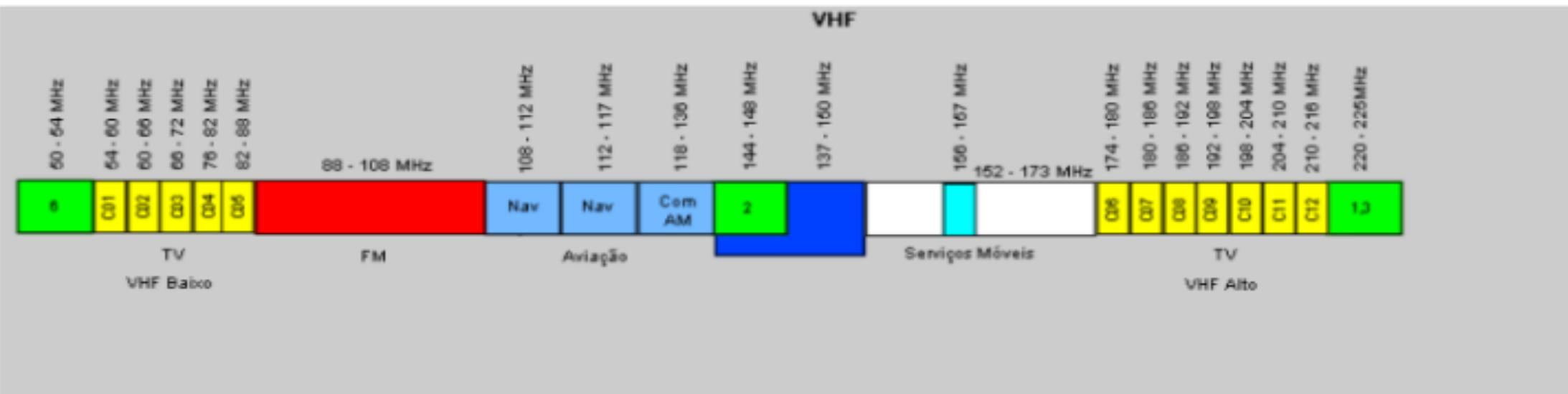
2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio VHF – Ultra High Frequency

Aplicação:

TV Analógica/Digital
Controle de tráfego aéreo
Serviços Móveis
Comunicação militar/marítima
Radiodifusão
Radioamadorismo

Atribuição:



2– Espectro Eletromagnético

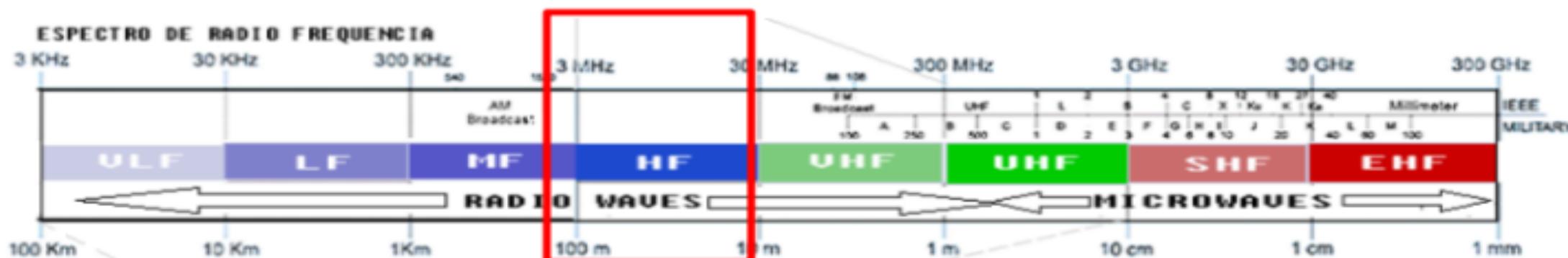
2.3 – Ondas de Radio: VHF – Ultra High Frequency

Exemplo de antenas



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: HF – High Frequency



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: HF – High Frequency

Frequência: 3 MHz a 30 MHz

Comprimento de onda: 100 m a 10 nm

Desvantagem: suscetível pelo ruído atmosférico, interferência atmosférica, variações do dia, atividade solar, estação do ano

Vantagem: comunicação a longa distância

Propagação: ionosférica

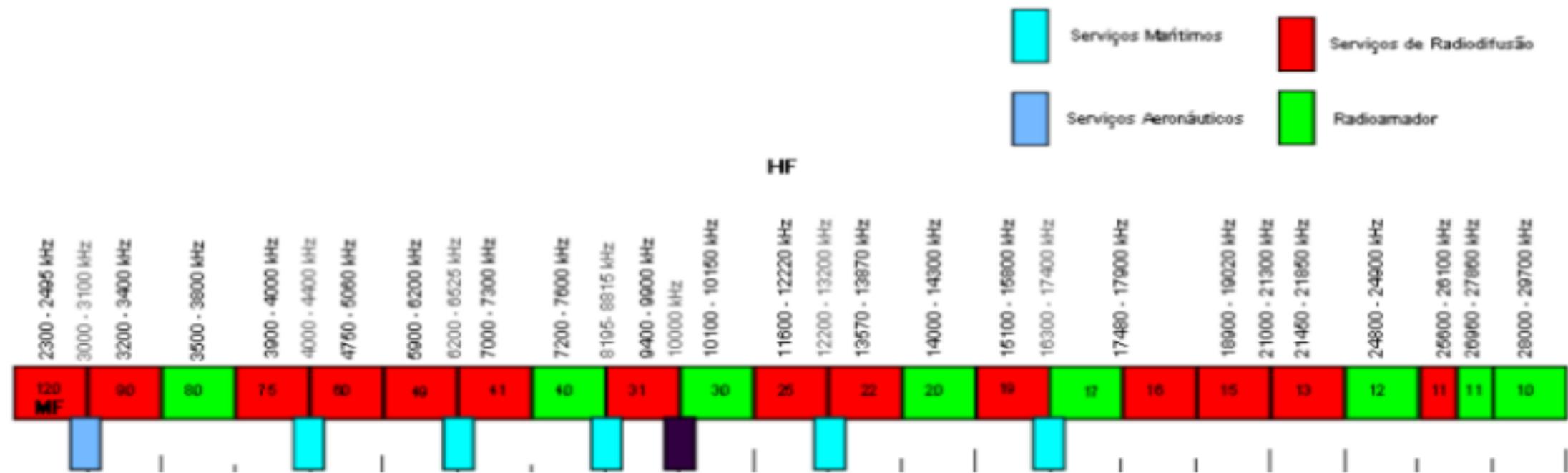
2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: HF – (High Frequency)

Aplicação:

Comunicação militar/marítima
Radiodifusão
Radioamadorismo

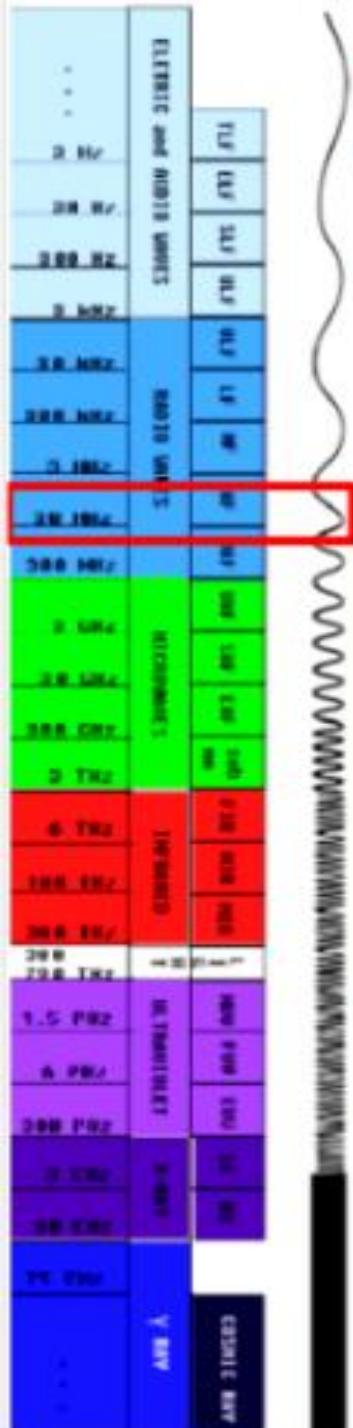
Atribuição:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: HF – (High Frequency)

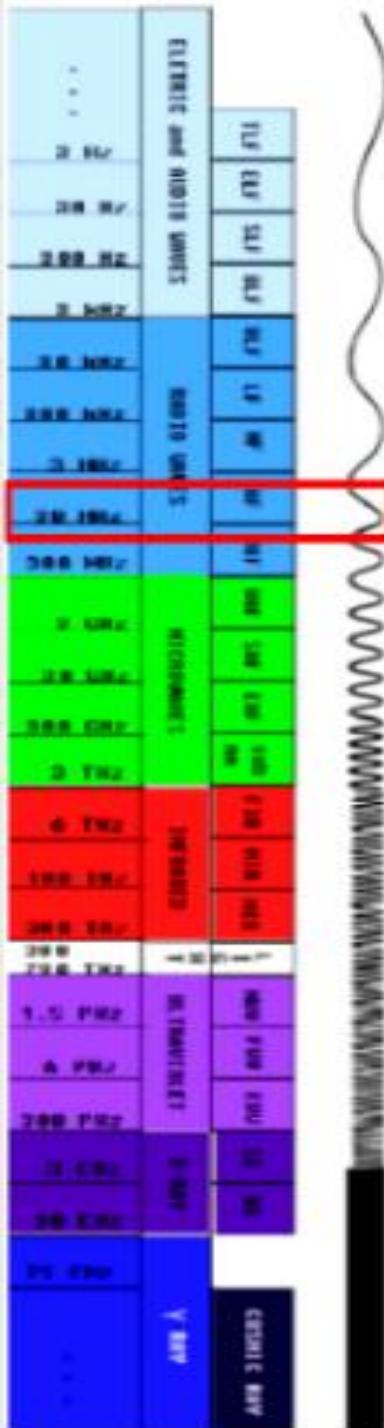
Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

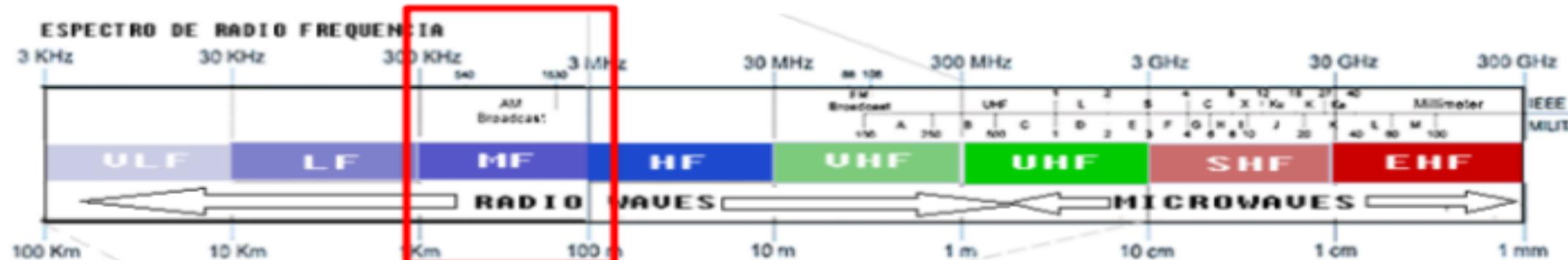
2.3 – Ondas de Radio: HF – (High Frequency)

Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: MF – Medium Frequency



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: MF – (Medium Frequency)

Frequência: 300 kHz a 3 MHz

Comprimento de onda: 1000 m a 100 m

Desvantagem: suscetível pelo ruído atmosférico, interferência atmosférica, variações do dia, condutividade do solo e antenas de grande dimensão.

Vantagem: comunicação a longa distância

Propagação: ondas de superfície e ionosféricas



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: MF – (Medium Frequency)

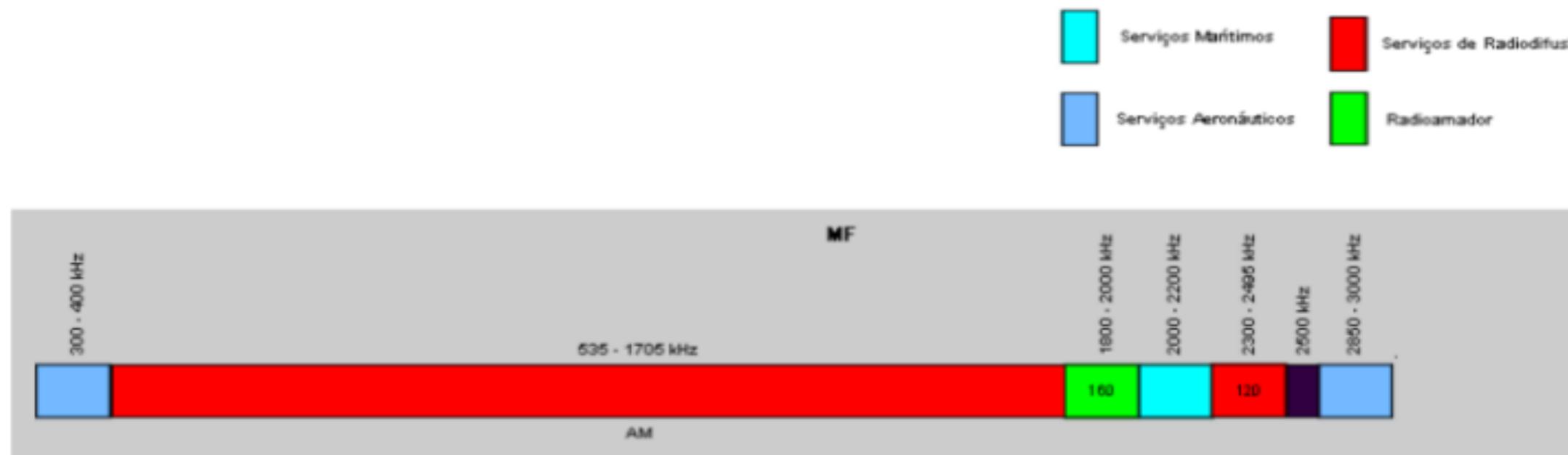
Aplicação:

Radiodifusão

Radioamadorism

Servicios Aeronáuticos e Marítimos

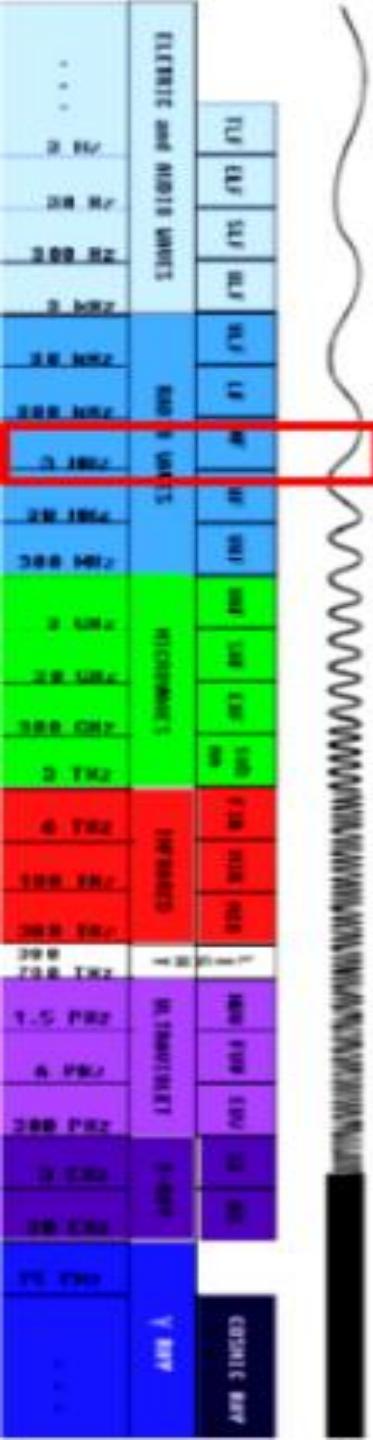
Atribuição



2– Espectro Eletromagnético

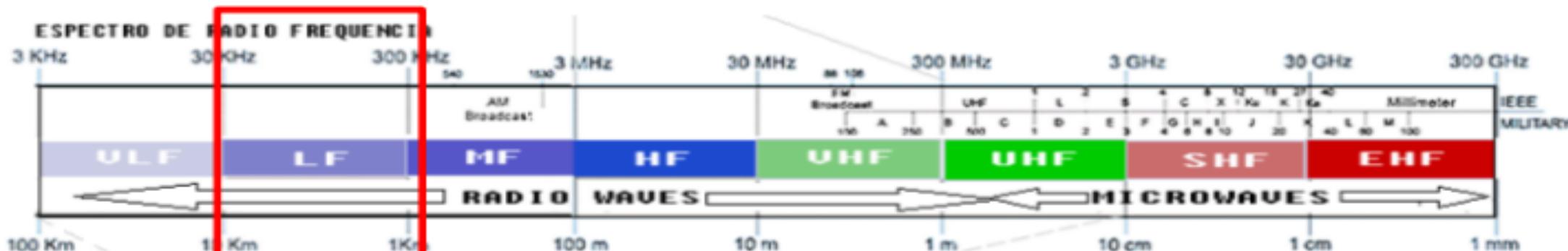
2.3 – Ondas de Radio: MF – (Medium Frequency)

Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: LF- Low Frequency



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: LF – (Low Frequency)

Frequência: 30 kHz a 300 kHz

Comprimento de onda: 10 km a 1 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: baixa atenuação

Propagação: Segue a curvatura da Terra. Reflexão nas camadas baixas da ionosfera.
Difração em montanhas



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: LF – (Low Frequency)

Aplicação:

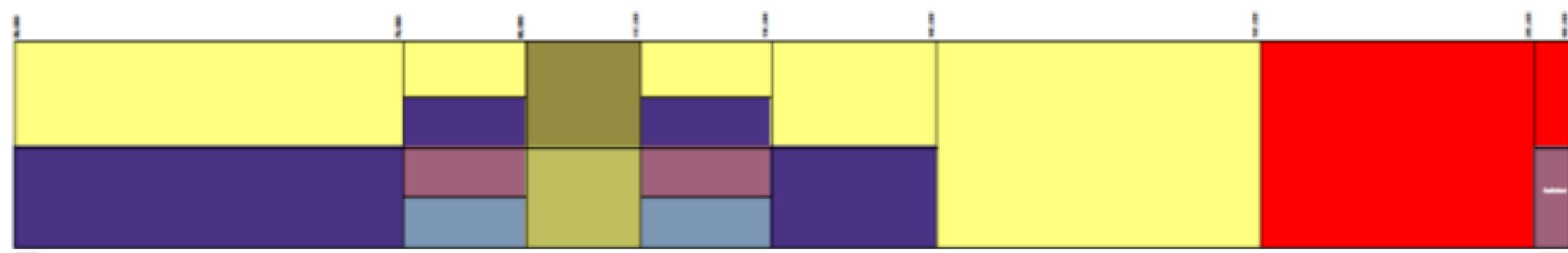
Na África, Europa e Ásia (utilizado como Radiodifusão AM)

Aeronavegação

Informações de tempo

Submarinos

Atribuição:



2– Espectro Eletromagnético

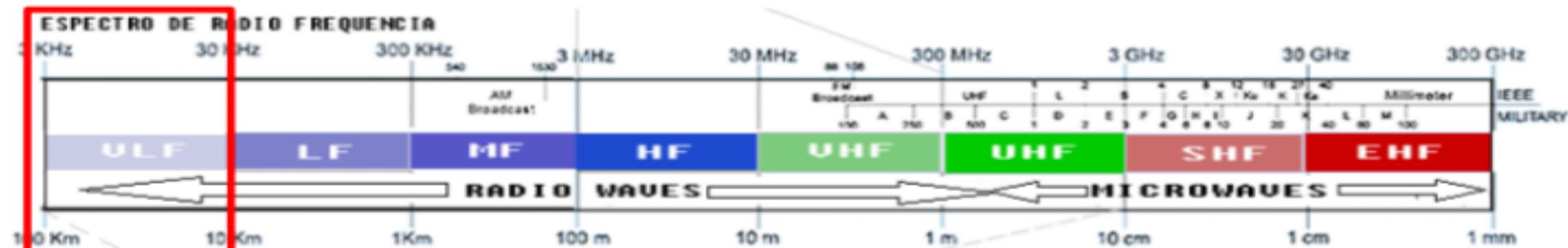
2.3 – Ondas de Radio: LF – (Low Frequency)

Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: VLF – Very Low Frequency



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: VLF – Low Frequency

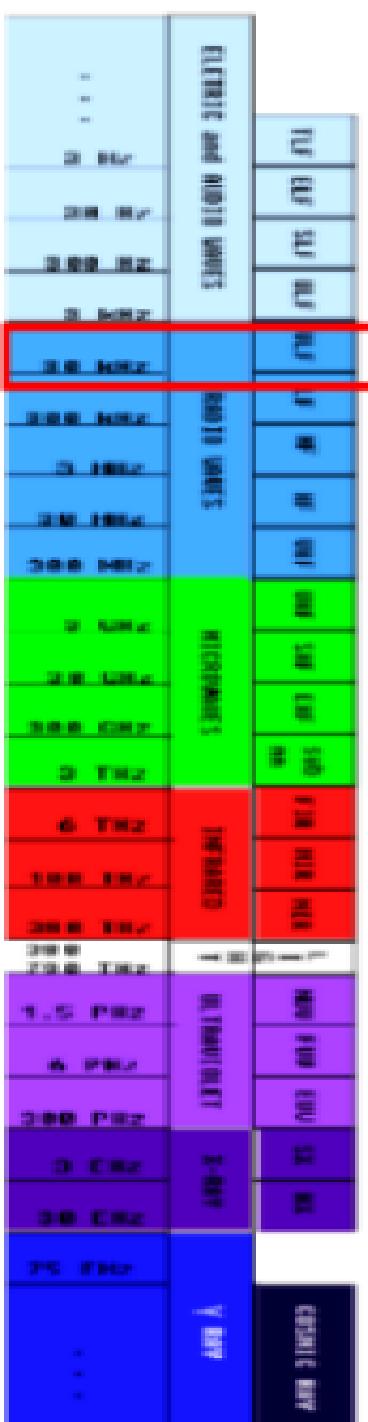
Frequência: 3 kHz a 30 kHz

Comprimento de onda: 100 km a 10 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: penetrância, baixíssima atenuação (2 a 3 dB a cada 1000km)

Propagação: Difrata nos obstáculos e não são bloqueadas por montanhas

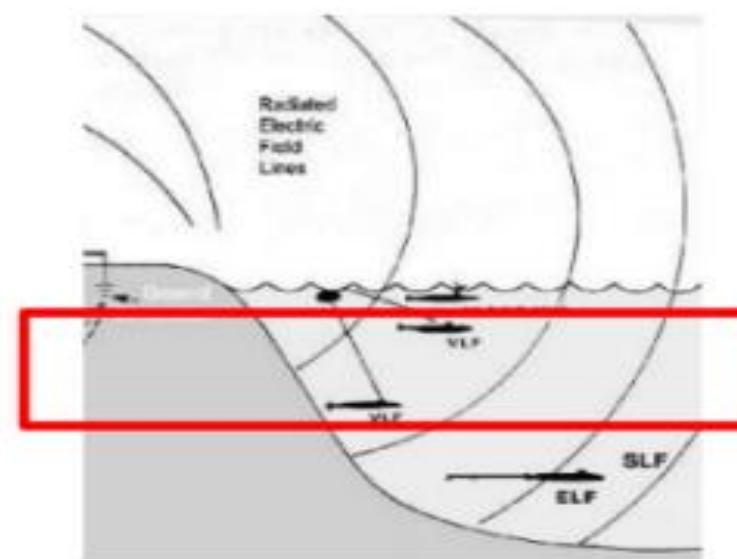
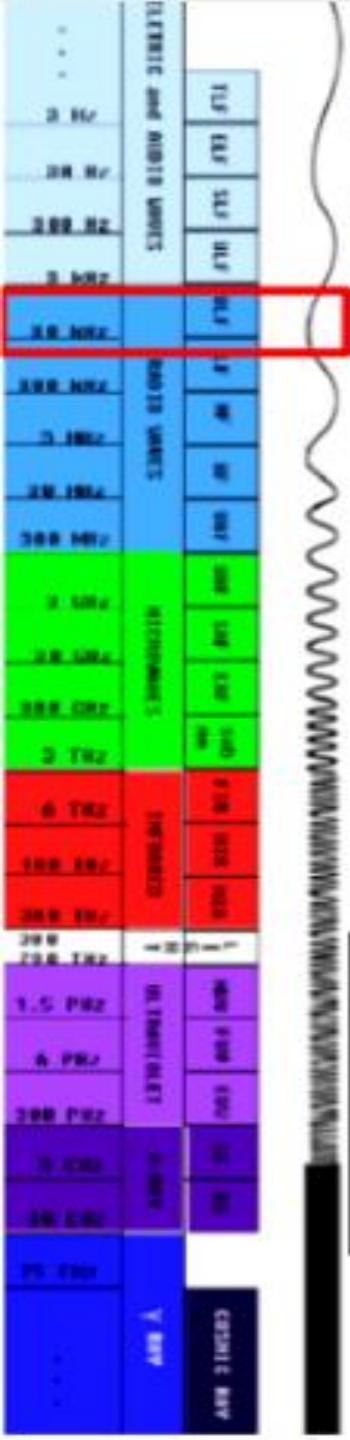


2– Espectro Eletromagnético

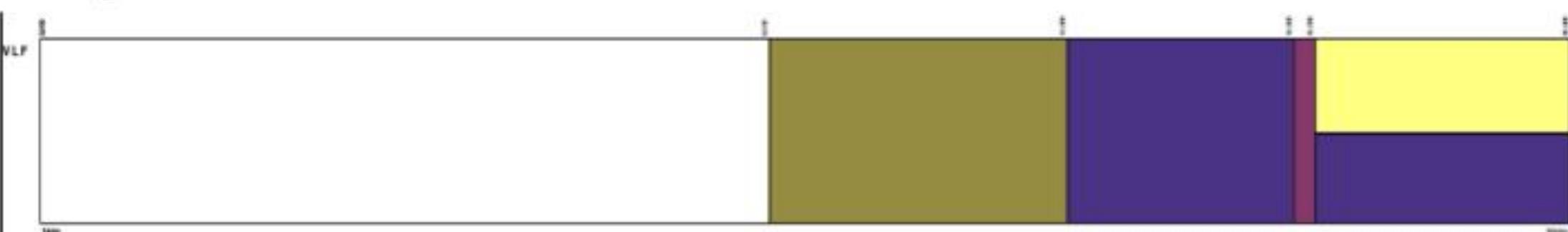
2.3 – Ondas de Radio: VLF – Low Frequency

Aplicação:

Comunicação Submarina



Atribuição:



2– Espectro Eletromagnético

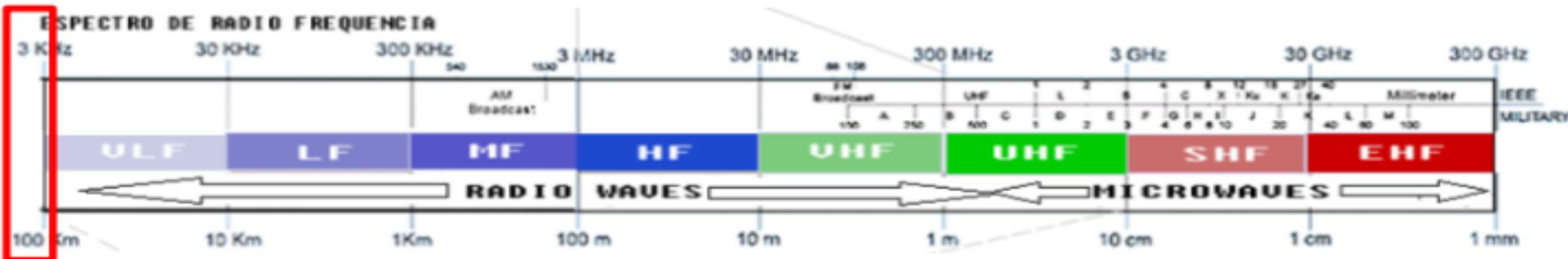
2.3 – Ondas de Radio: VLF – Low Frequency

Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: ULF – Ultra Low Frequency



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: ULF – Ultra Low Frequency



Frequência: 0.3 kHz a 3 kHz

Comprimento de onda: 1000 km a 100 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: penetrância

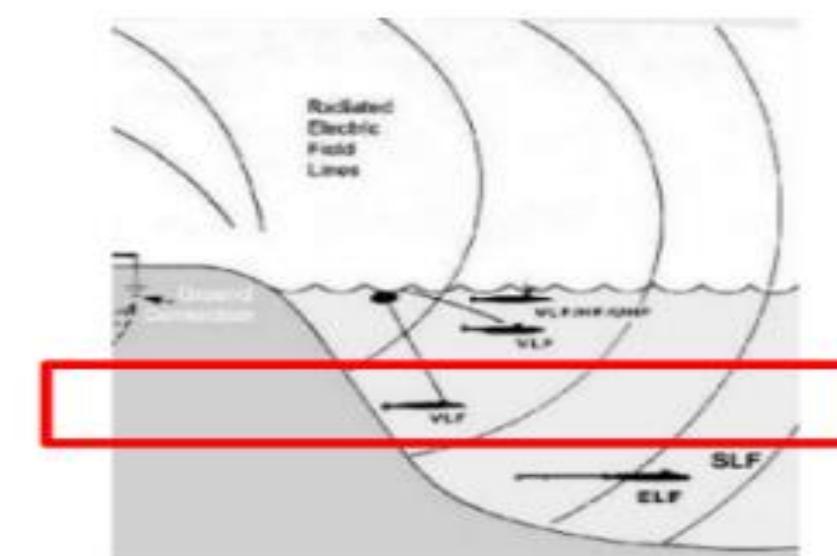
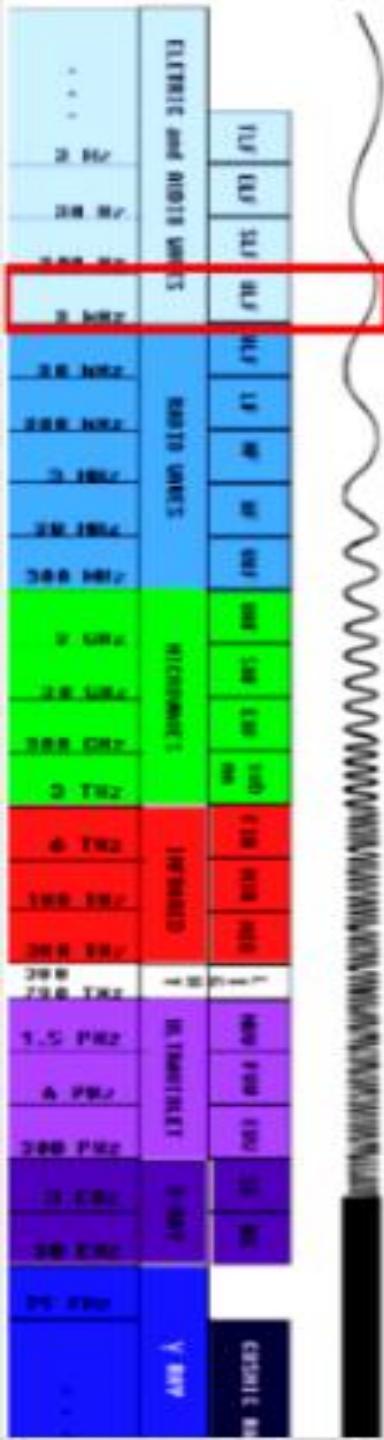
Propagação: ondas de superfície

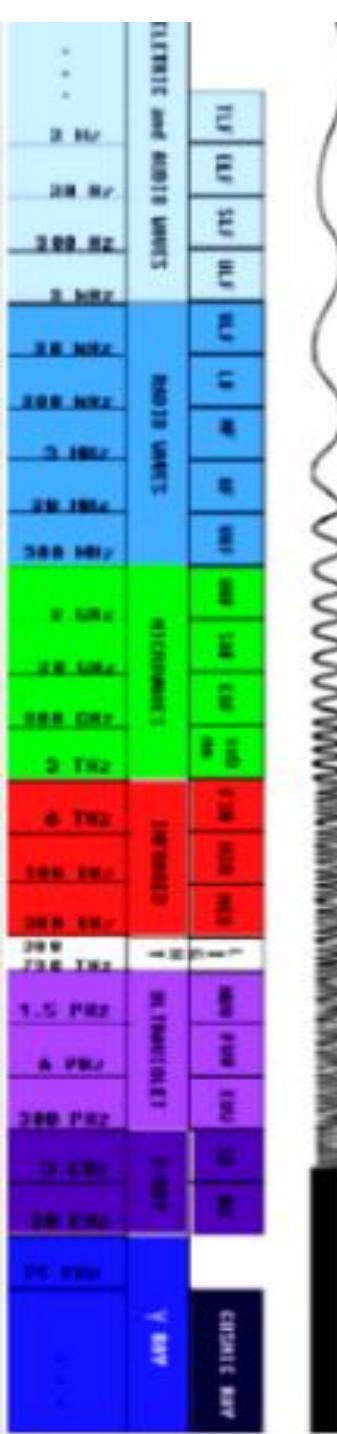
2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: ULF – Ultra Low Frequency

Aplicação:

Comunicação Submarina
Comunicação Minas
Previsão de terremotos





2– Espectro Eletromagnético

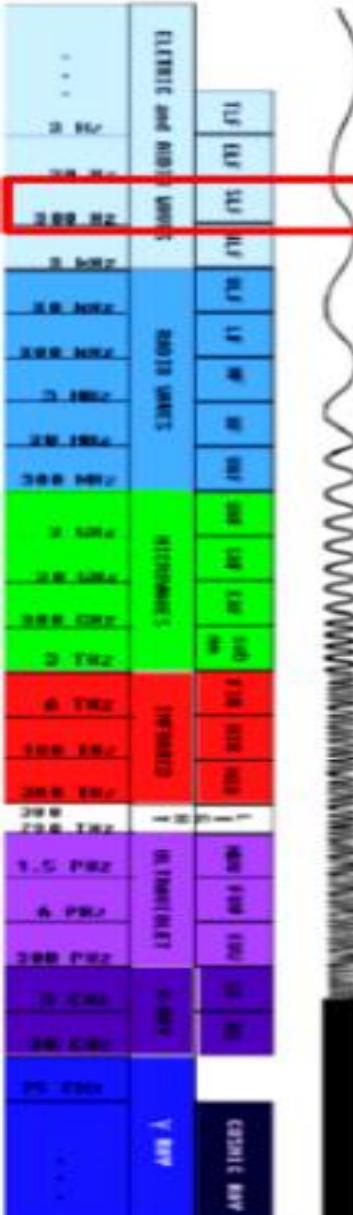
2.3 – Ondas de Radio: ULF – Ultra Low Frequency

Exemplo de antenas:



2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: SLF – Super Low Frequency



Frequência: 30 Hz a 300 Hz

Comprimento de onda: 10.000 km a 1000 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: penetrância

Propagação: ondas de superfície

Aplicação:

Comunicação Submarina

Comunicação Minas

2– Espectro Eletromagnético

2.3 – Ondas de Radio: ELF – Extreme Low Frequency

Frequência: 3 Hz a 30 Hz

Comprimento de onda: 100.000 km a 10.000 km

Desvantagem: antenas de grande dimensão

Vantagem: penetrância

Propagação: ondas de superfície

