MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CAMPUS SÃO JOSÉ – SANTA CATARINA

RDT – Radiotransmissão

Prof. Ramon Mayor Martins, MSc.

ramon.mayor@ifsc.edu.br

Ondas Eletromagnéticas: Espectro Eletromagnético: Ondas de Rádio:
SHF,EHF,sub-mm (Comunicações via Satélite, Comunicações Micro-Ondas)
Disponível em: 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 LF
    - Comunicações MF (OM)
    - Comunicações HF
    - Comunicações VHF UHF
    - Comunicações SHF EHF (Satélite / Micro-ondas)

- Antenas
- Projetos de Enlaces
- Tópicos Extras

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/ Micro-ondas)**

3.2-Radiocomunicações– 3.2.5 - Comunicações SHF EHF sub-mm

Y - Gamma Rays

X-Rays
HX - Hard X-Rays
SX - Soft X-Rays

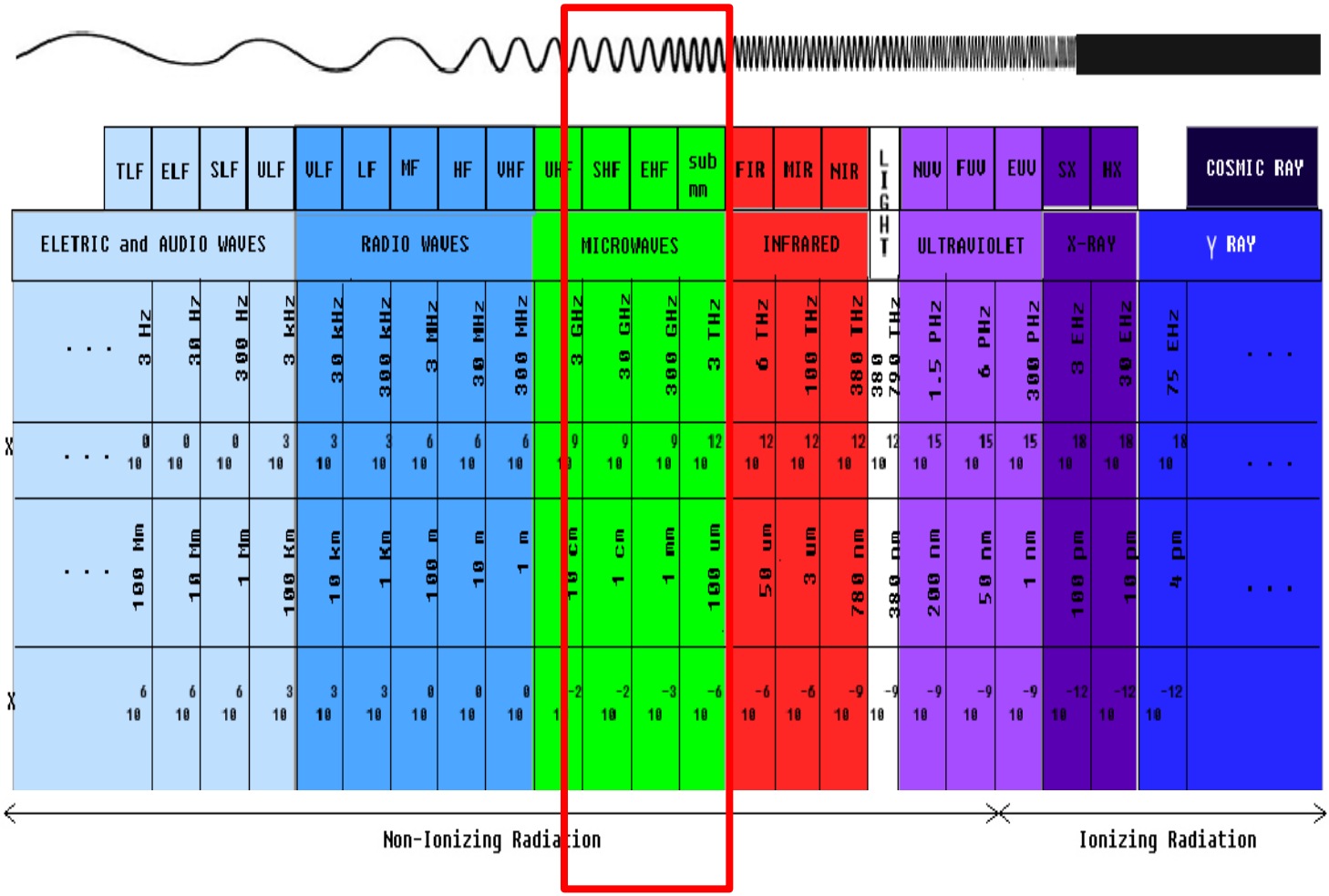
Ultraviolet
EUV - Extreme Ultraviolet
FUV - Far Ultraviolet
NUV - Near Ultraviolet

Infrared
NIR - Near Infrared
MIR - Moderate Infrared
FIR - Far Infrared

Microwaves
EHF - Extremely High Frequency
SHF - Super High Frequency
UHF - Ultra High Frequency

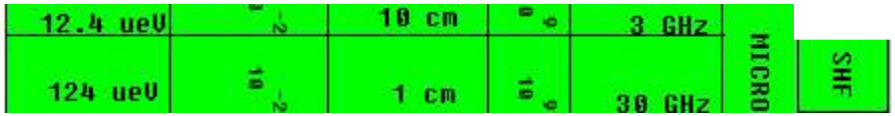
Radio Wave
VHF - Very High Frequency
HF - High Frequency
MF - Medium Frequency
LF - Low Frequency
VLF - Very Low Frequency

Eletric and Audio Waves
SLF - Super Low Frequency
ELF - Extremely Low Frequency
TLF - Tremendously Low Frequency



3.2-Radiocomunicações– 3.2.5 - Comunicações SHF EHF sub-mm

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency



SHF é a designação ITU para:

Frequencia: entre 3 GHz e 30 GHz

Comprimentos de onda entre: 10 cm e 1 cm.

3.2-Radiocomunicações– 3.2.5 - Comunicações SHF EHF sub-mm

FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

124 ueV	10^{-2}	1 cm	10^{9}	30 GHz		
1.24 meV	10^{-3}	1 mm	10^{9}	300 GHz	ONDAS	EHF
12.4 meV	10^{-6}	100 um	10^{12}	3 THz		sub mm

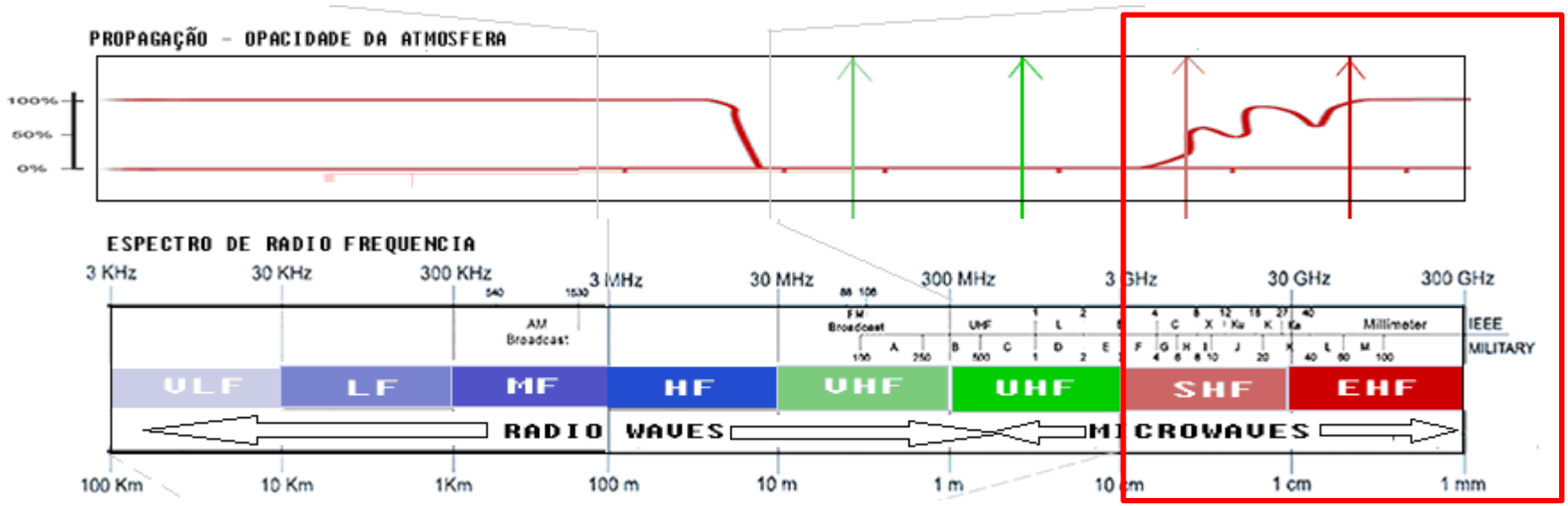
EHF é a designação ITU para:

Frequencia: entre 30 GHz e 300 GHz

Comprimentos de onda entre: 1cm e 1 mm.

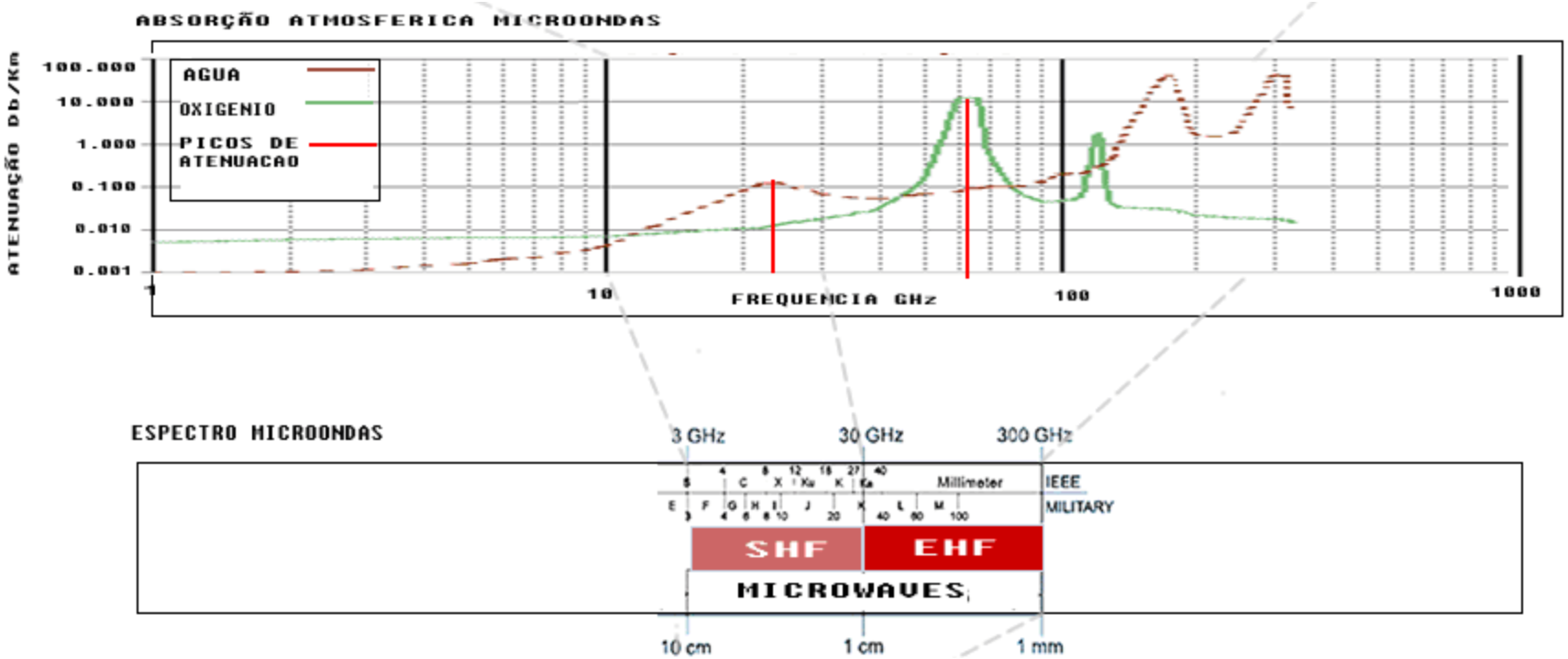
3.2-Radiocomunicações– 3.2.5 - Comunicações SHF EHF sub-mm

>>Absorção Atmosférica



3.2-Radiocomunicações– 3.2.5 - Comunicações SHF EHF sub-mm

>>Absorção Atmosférica

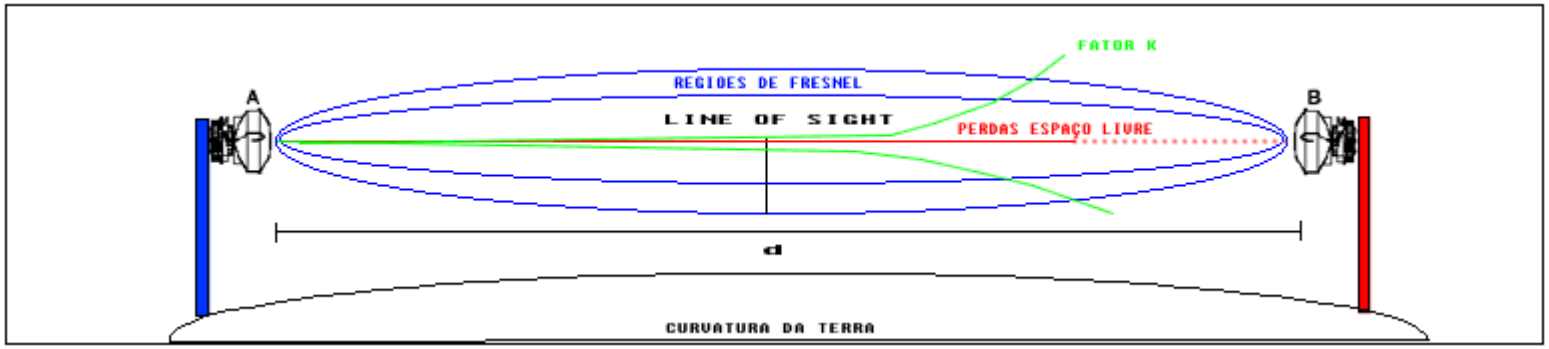


3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Introdução

- Nas faixas SHF e EHF a propagação é por visada direta.



3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Introdução

- São utilizados principalmente em enlaces ponto-a-ponto Micro-ondas e comunicações via Satélite.

- Tópicos a serem visto em Comunicações Micro-ondas

    - Funcionamento
    - Perda de Caminho (Path Loss)
    - Aplicação

- Tópicos a serem visto em Comunicações via Satélite

    - Tipos de Orbitas de Satelites
    - Partes dos Satélite
    - Frequencias/Bandas de Operacao
    - Finalidade dos Satelites
    - Vantagens e Limitações Comunicação por Satélite

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

Comunicações Micro-ondas

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>> Comunicações Micro-ondas

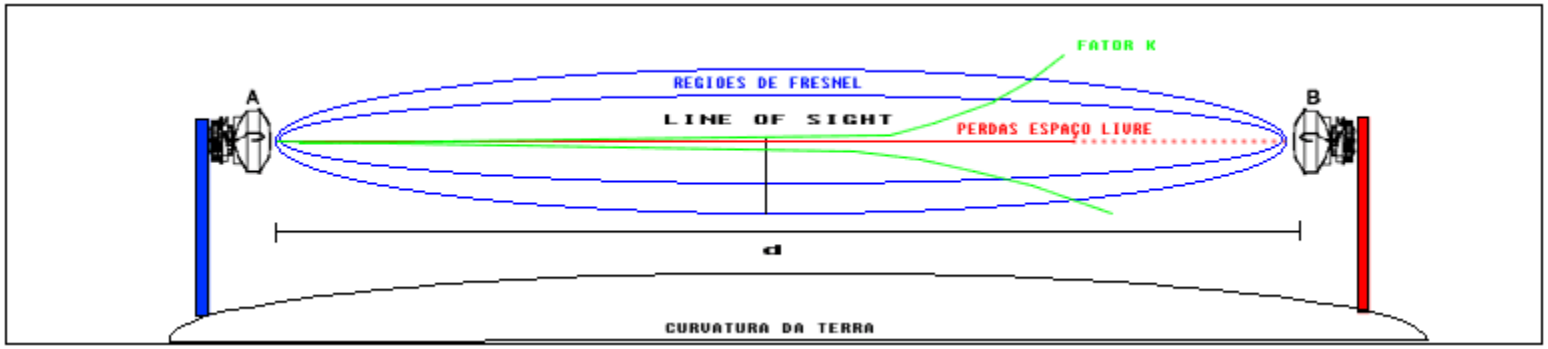
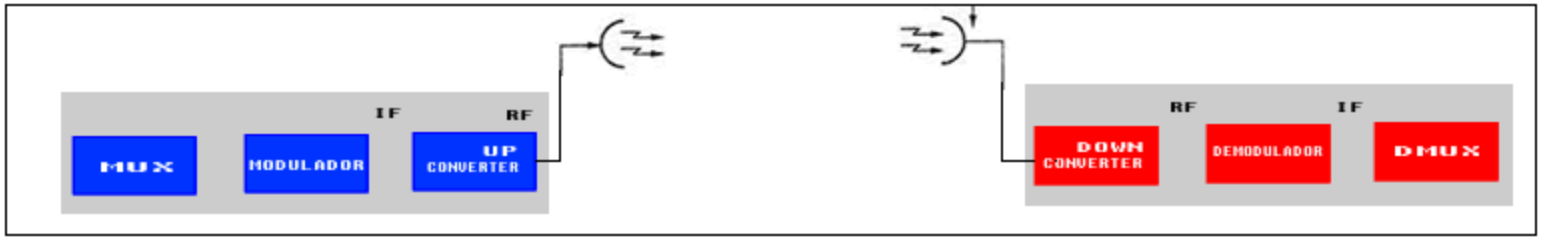


DIAGRAMA BASICO DE COMUNICACAO MICROONDAS

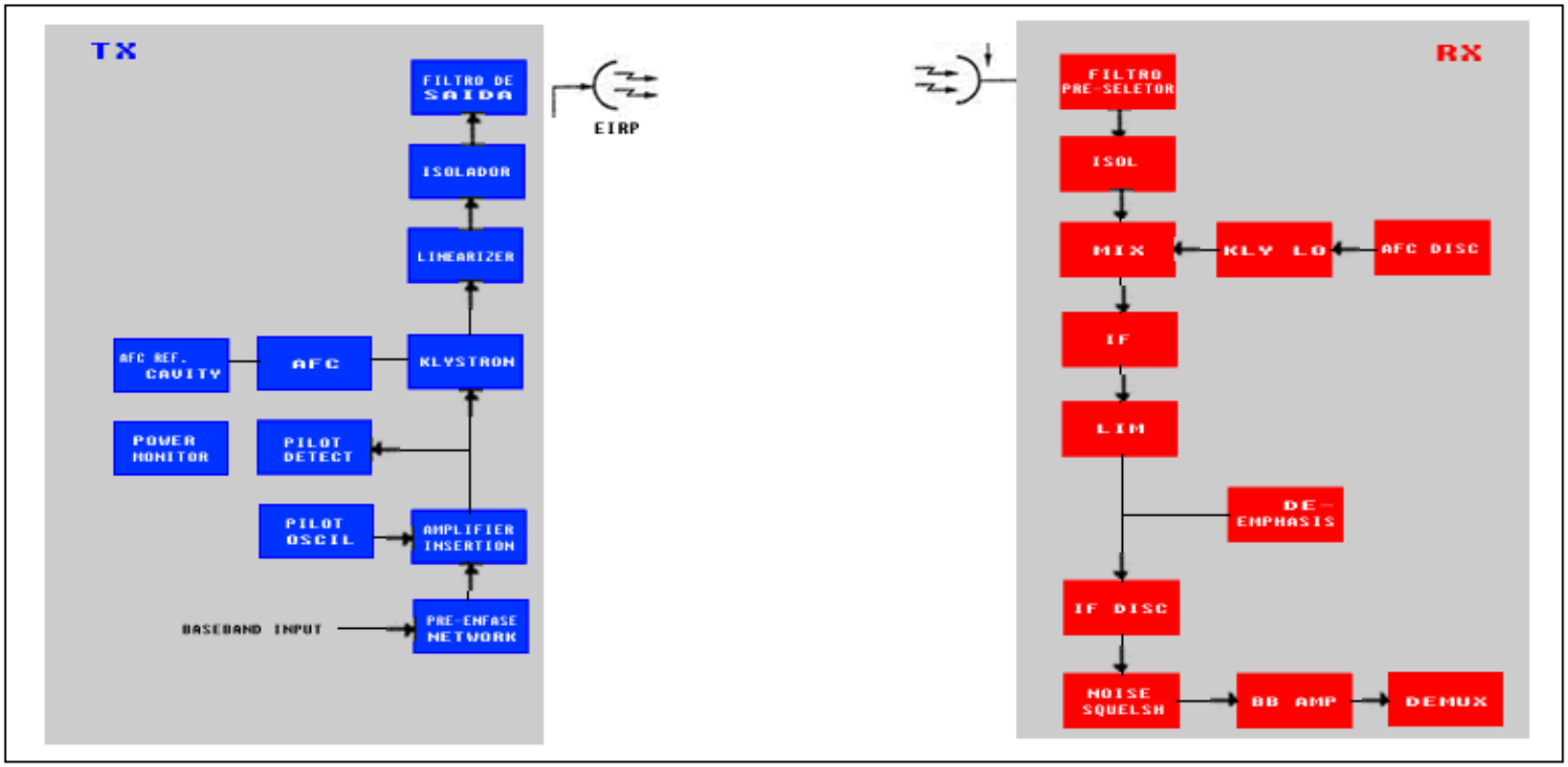


3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>> Comunicações Micro-ondas

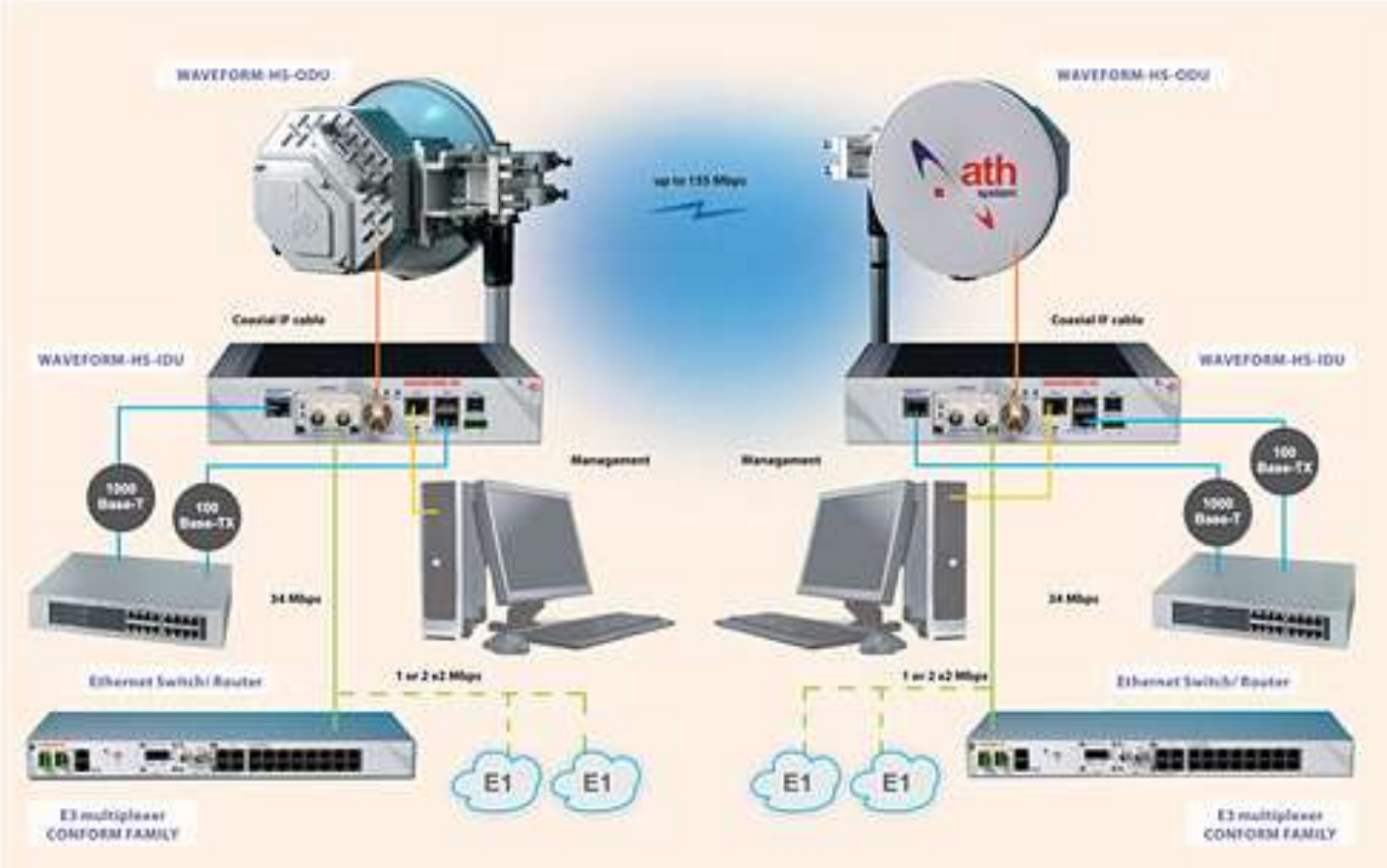
DIAGRAMA COMPLETO DE COMUNICACAO MICROONDAS



3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>> Comunicações Micro-ondas

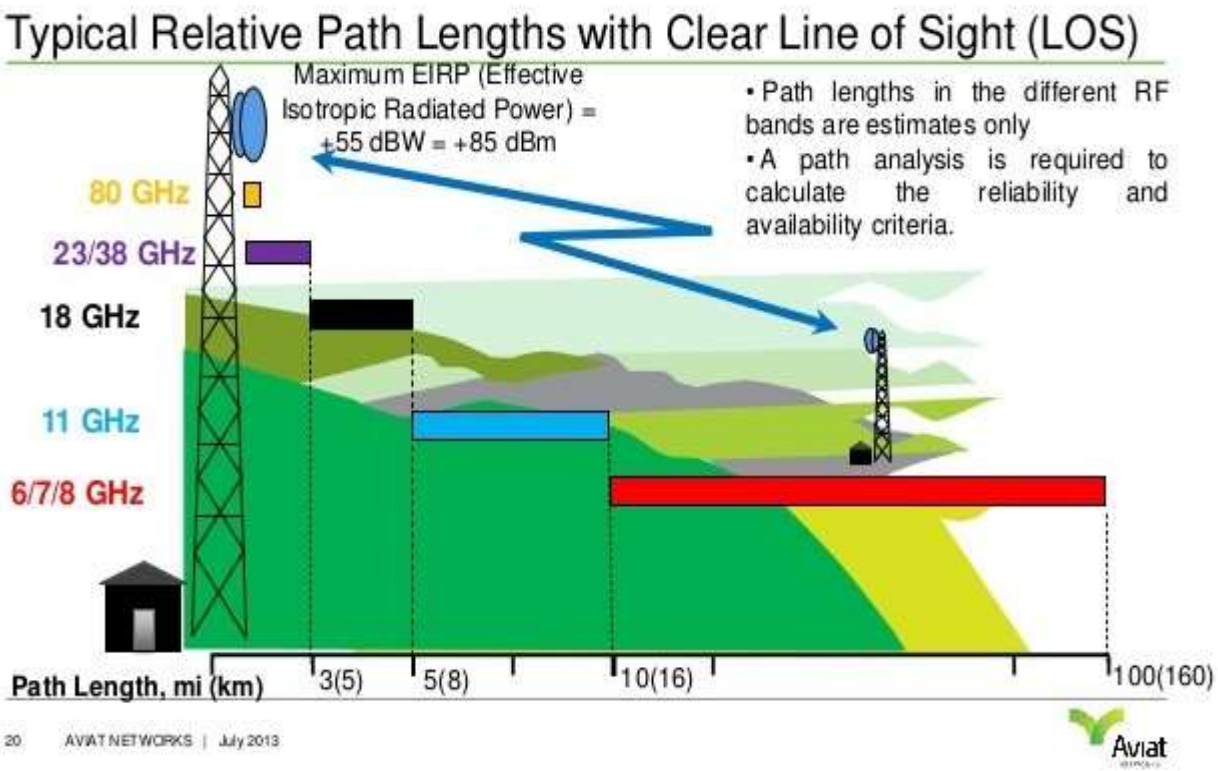


3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>> Comunicações Micro-ondas – Path Loss

Corresponde a perda de potência do sinal de RF pela propagação através do espaço



3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>> Comunicações Micro-ondas – Frequencias

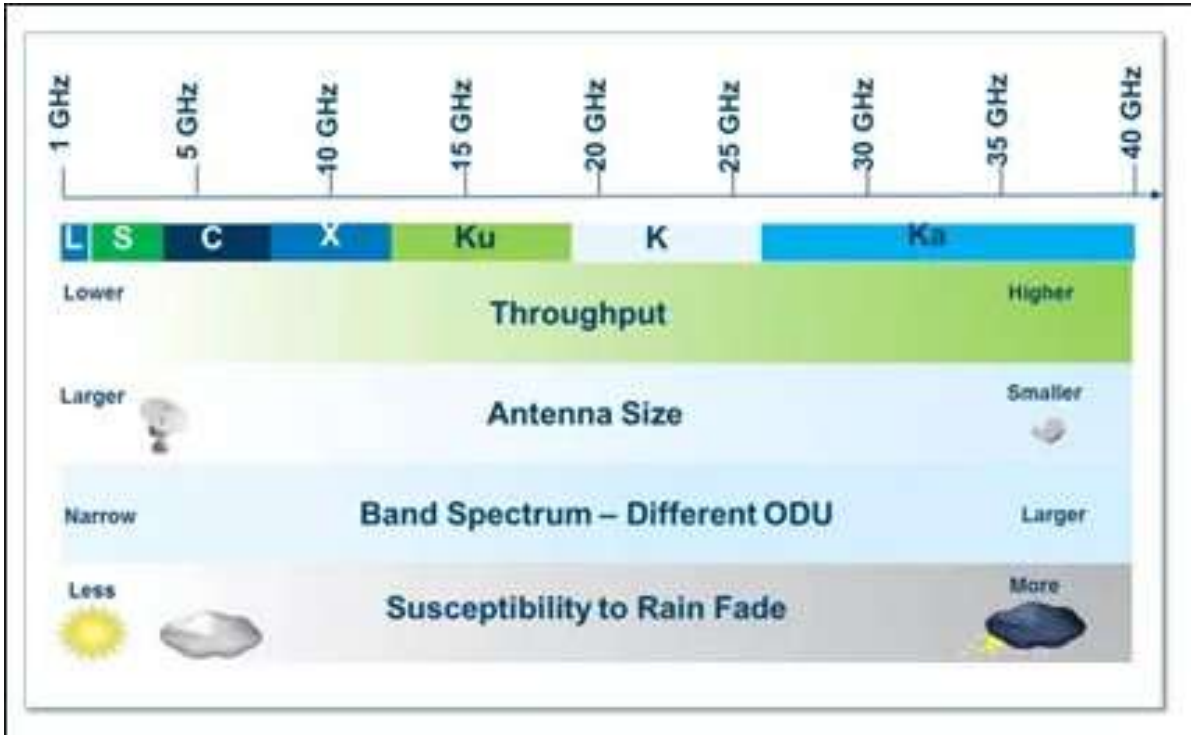
TABLE 1: MICROWAVE LETTER BAND DESIGNATIONS

Band	Frequency range	Applications
L	1 to 2 GHz	Satellite, navigation (GPS, etc.), cellular phones
S	2 to 4 GHz	Satellite, SiriusXM radio, unlicensed (Wi-Fi, Bluetooth, etc.), cellular phones
C	4 to 8 GHz	Satellite, microwave relay
X	8 to 12 GHz	Radar
K_u	12 to 18 GHz	Satellite TV, police radar
K	18 to 26.5 GHz	Microwave backhaul
K_a	26.5 to 40 GHz	Microwave backhaul
Q	30 to 50 GHz	Microwave backhaul
U	40 to 60 GHz	Experimental, radar
V	50 to 75 GHz	New WLAN, 802.11ad/WiGig
E	60 to 90 GHz	Microwave backhaul
W	75 to 110 GHz	Automotive radar
F	90 to 140 GHz	Experimental, radar
D	110 to 170 GHz	Experimental, radar

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>> Comunicações Micro-ondas – Frequencias



FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

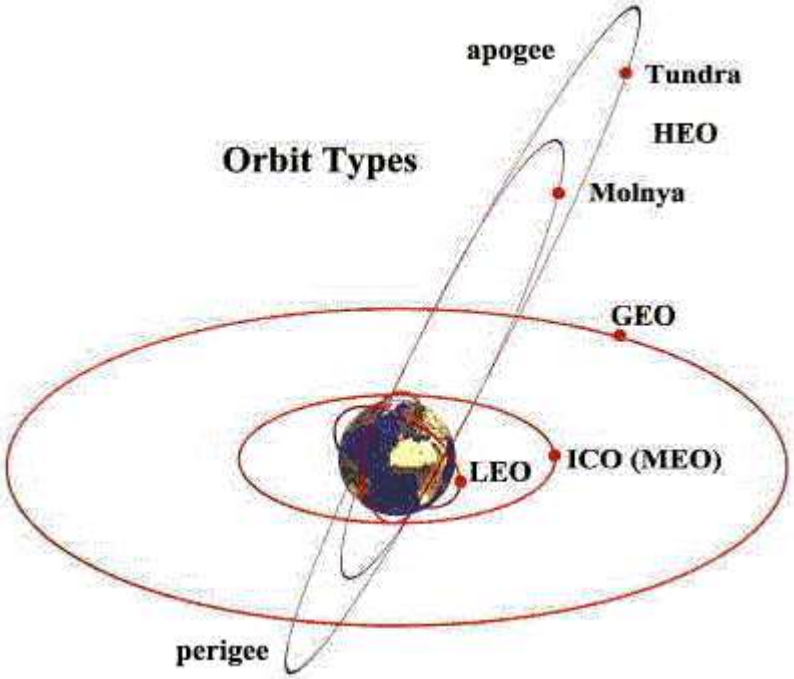
Comunicações via Satélite

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Tipos de Orbitas

-LEO (Low Earth Orbit): 500-1500 km
-MEO (Medium Earth Orbit) : acima de 2000, menor que 36000 km
-HEO (High Earth Orbit): A partir de 2000 km
-GEO (Geoestacionary Orbit): 36000 km



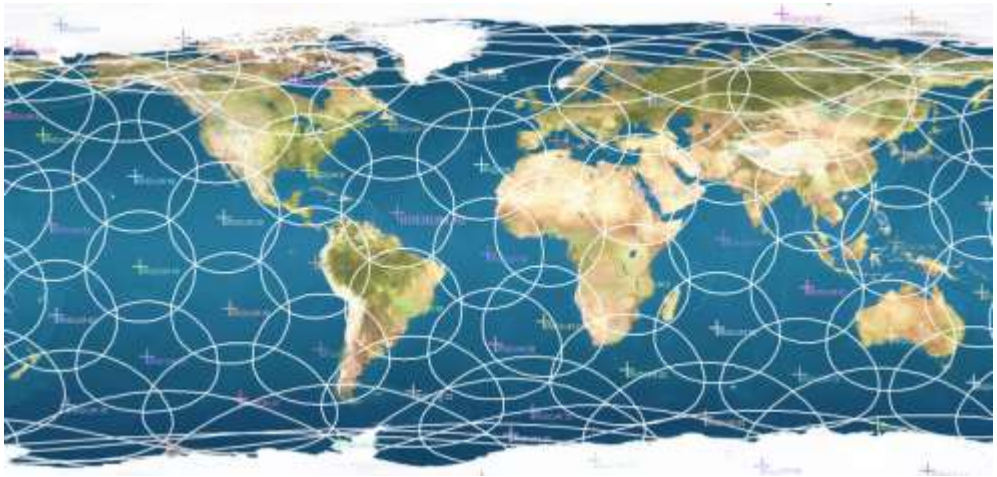
3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

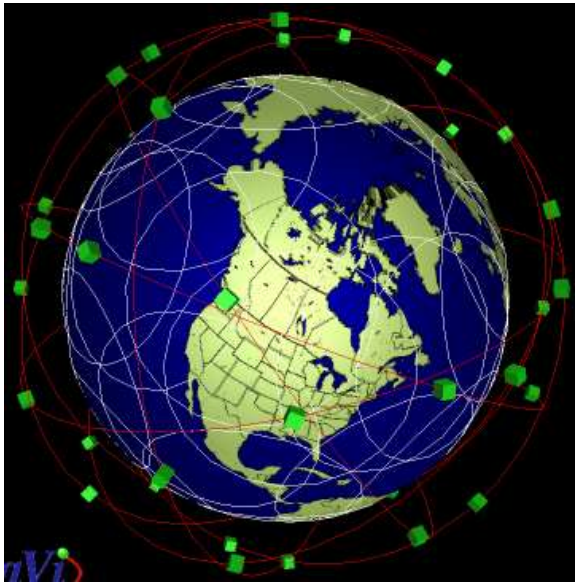
FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Tipos de Orbitas

-LEO (Low Earth Orbit): 500-1500 km

- - Os satélites numa LEO viajam a cerca de 27 400 km/h (8 km/s), o que representa uma revolução de cerca de 90 minutos
- Big Leo's (usam frequência acima d 1Ghz) e Small Leo's (abaixo d 1Ghz)
- -os satélites de comunicação utilizam essa orbita (fazendo com q os equipamentos necessitem d pouca potencia para tx)





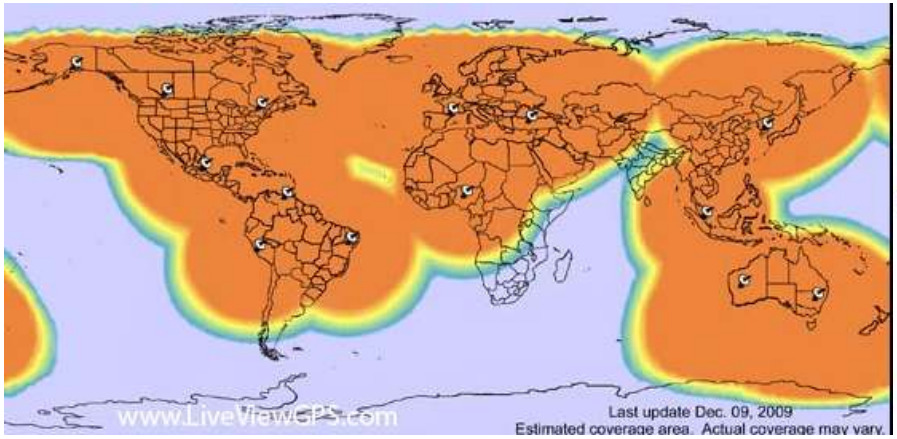
3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

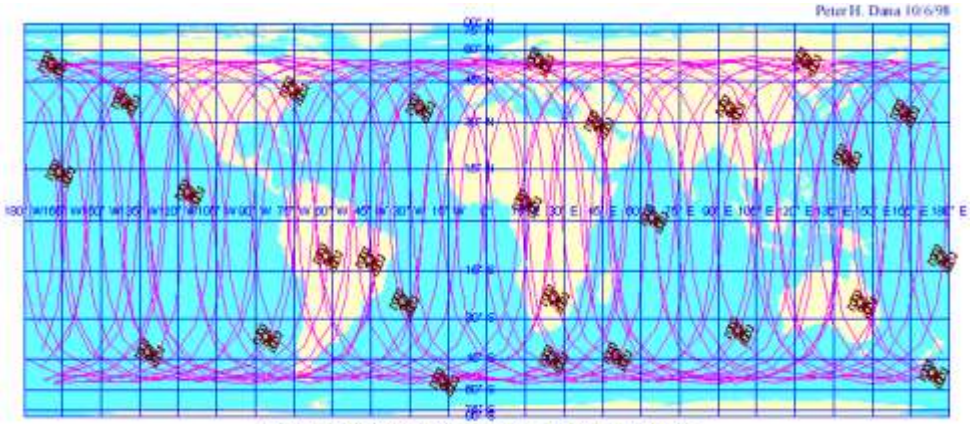
FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Tipos de Orbitas

-MEO (Medium Earth Orbit) :

- Acima de 2000 km e abaixo de 36000 km
- Usos: Navegação, Comunicação
- Altitude mais comum: 20.200 km período orbital de 12 horas (usado pelo GPS)
- Periodo orbital entre: 2 e 24 horas.





Global Positioning System Satellites and Orbits

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

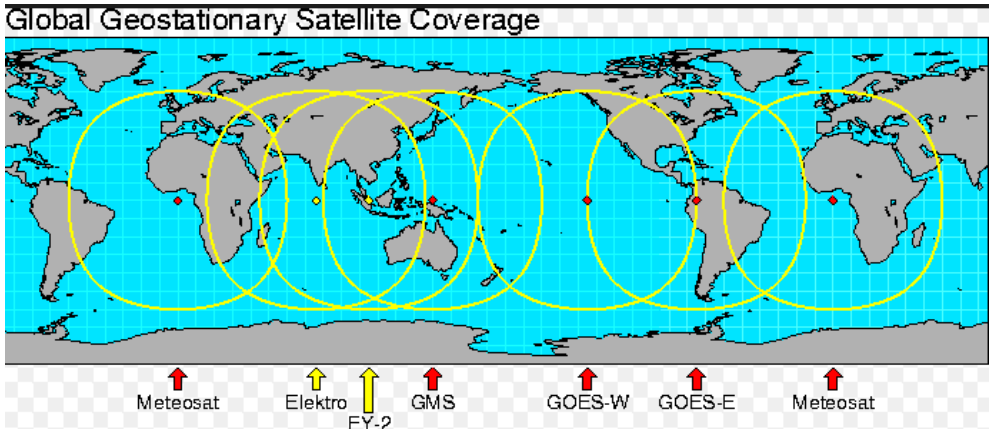
FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

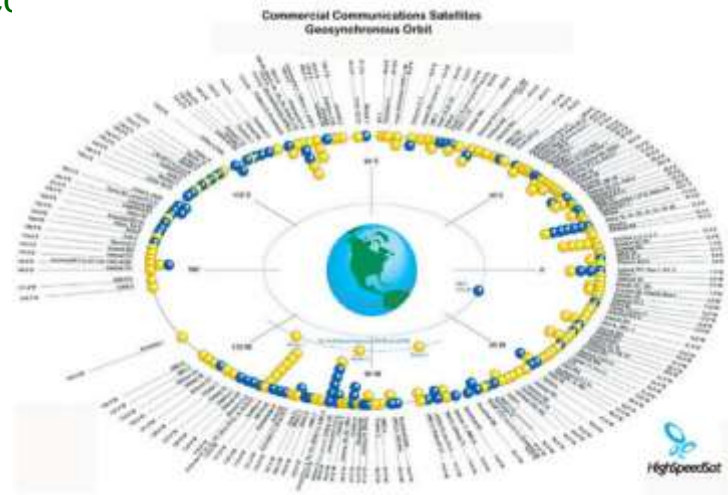
>>Comunicações via Satélite – Tipos de Orbitas

-GEO

- 36000 km
- colocadas em uma órbita sobre o equador de tal forma que o satélite tenha um período de rotação igual ao do nosso planeta Terra, ou seja, 24 horas.
- Com isso a velocidade angular de rotação do satélite se iguala à da Terra e tudo se passa como se o satélite estivesse parado no espaço em relação a um observador na Terra.

- o espaço geoestacionário tem 180 posicoes orbitais, cada uma separada da outra d um ângulo de 2 graus.O Brasil tem 7 posiçoes





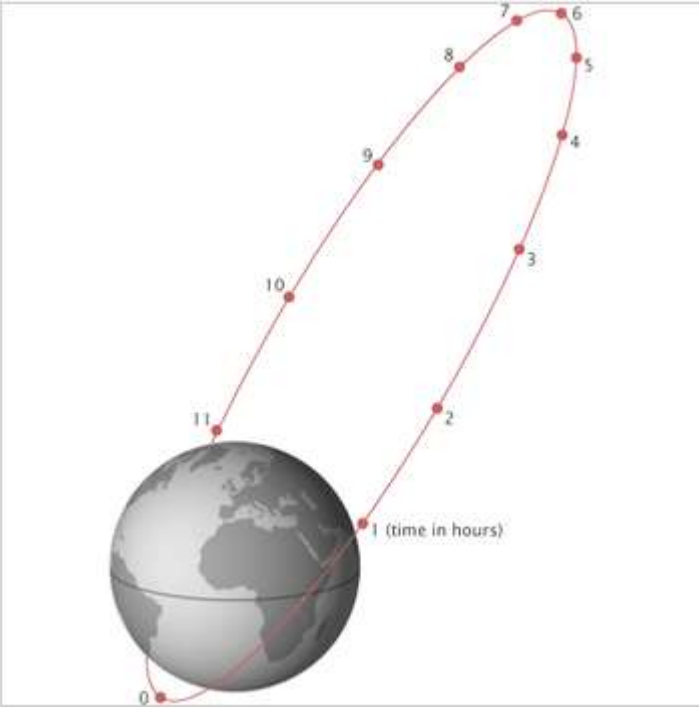
3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Tipos de Orbitas

- HEO (High Earth Orbit):

- A partir de 2000 km
- Serve para cobrir areas que o GEO não cobre
- se move a grandes velocidades no perigeu, e diminui a velocidade no apogeu.



3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Tipos de Orbitas

Comparação LEO-MEO-HEO
-Os Satélites GEO possuem uma vantagem de abranger uma área de cobertura muito maior do que as dos satélites LEO e MEO.
-Em contra partida, a elevada altitude provoca um retardo de aproximadamente 0,5 s no sinal.

Comparação entre os tipos de órbita mais importantes

Características	Tipo de órbita			
	GEO	LEO (polar)	MEO	HEO (Molniya)
cobertura terrestre assegurada por cada satélite	1/2 - 1/3 da Terra pólos não cobertos	global ↑	global ↑	1/2 - 1/3 da Terra
tempo útil de passagem de cada satélite	ilimitado ↑	10 - 15 min	2 horas	8 horas ↑
necessidade de constelação para cobertura local permanente	não ↑	≥ 48 satélites (ex: 6 sat × 8 planos)	≥ 10 satélites (ex: 5 sat × 2 planos)	3 satélites
perdas em espaço livre (distância terra-satélite)	elevadas	reduzidas ↑	médias ↑	elevadas
atraso propagação (ida e retorno)	250 ms	5 - 7 ms (750 km) 10-25 ms (1 500 km)↑	70 - 100 ms	150-300 ms
efeito Doppler (velocidade radial)	muito reduzido ↑	médio	médio	elevado
elevação do satélite no ponto de recepção	grande junto do equador ↑	variável com passagem do satélite	variável com passagem do satélite	grande em latitudes intermédias ↑
seguimento do satélite	geralmente não necessário ↑	indispensável, excepto com antenas de feixe largo	indispensável, excepto com antenas de feixe largo	necessário, mas pouco complexo ↑

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Tipos de Orbitas

PERÍODO E VELOCIDADE DE SATÉLITE EM ÓRBITA CIRCULAR

$P^2 = 4\pi^2 r^3 / G M$ $\quad V = (G M / r)^{1/2}$

r = raio do satélite ao centro da Terra r = R + h

P = período em segundos h = altura do satélite

$G M = 3{,}986.10^{14}\ m^3 / s^2$ R = raio da Terra = 6378 km (no equador)

h (km)	V (km / h)	Período	Observações
1	28547	1 h 24 mn 30 s	*
100	28238	1 h 26 mn	*
300	27813	1 h 30 mn	ISS
1700	25446	2 h	-
6400	20106	4 h	-
20240	13930	12 h	GPS
35786	11069	23 h 56 mn 04 s	GEO
380000	3650	654 h	Lua

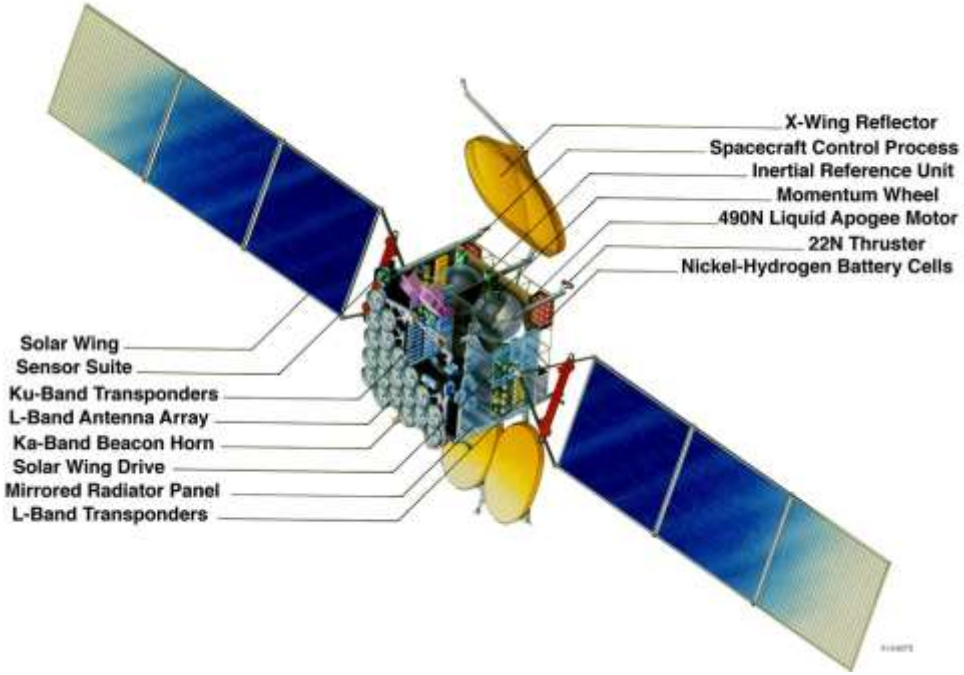
3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Partes dos Satélite

Um satélite típico é composto de uma parte comum (“bus”) onde se encontram as baterias, painéis solares, circuitos de telemetria e a parte de propulsão.

Além do “bus” temos a carga útil (“payload”) composta essencialmente dos circuitos repetidores, denominados “transponders

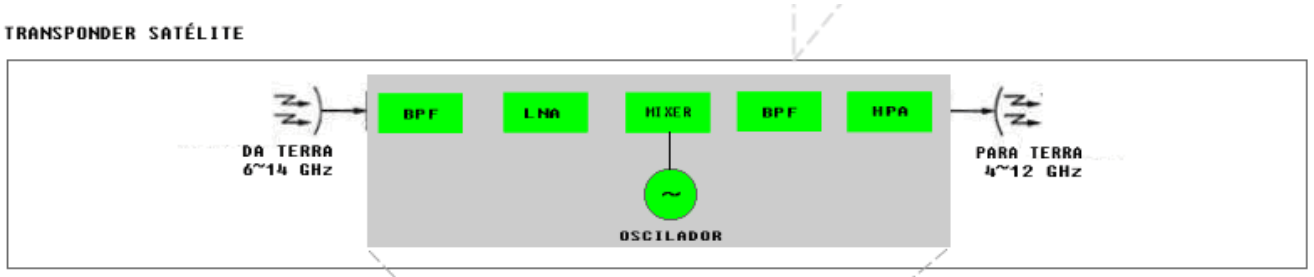


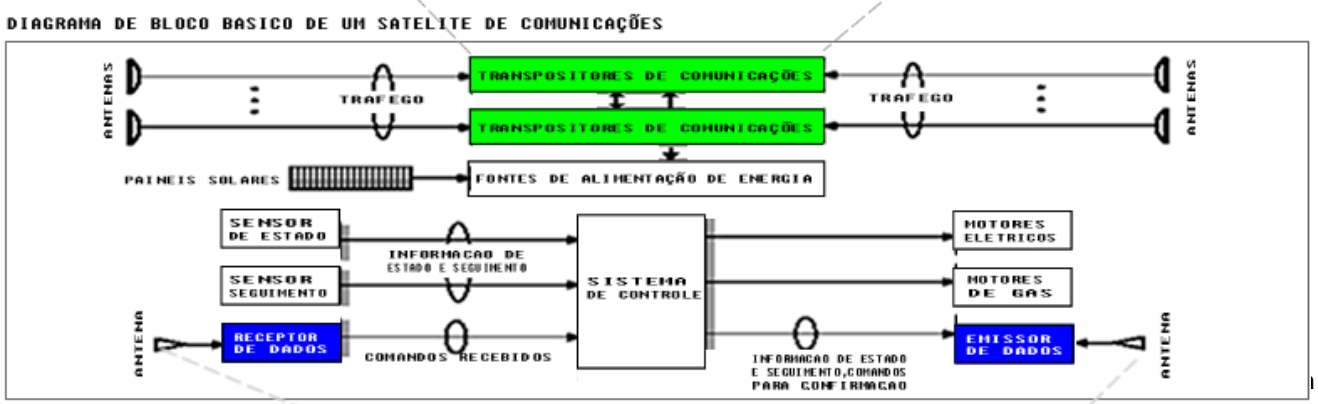
3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Partes dos Satélite

- Transponders - Denominação dos diversos canais que o satélite possui. O sistema transponder consiste nada mais que do que um sistema integrado de receptores e transmissores de sinais de rádio que operam em tempo integral e conjuntamente.
- Os satélites podem possuir dezenas ou cententas de transponders e cada transponder representa o par de um receptor e um transmissor de rádio.
- Cada transponder possui uma frequencia de operação para transmissão e recepção (downlink e uplink)





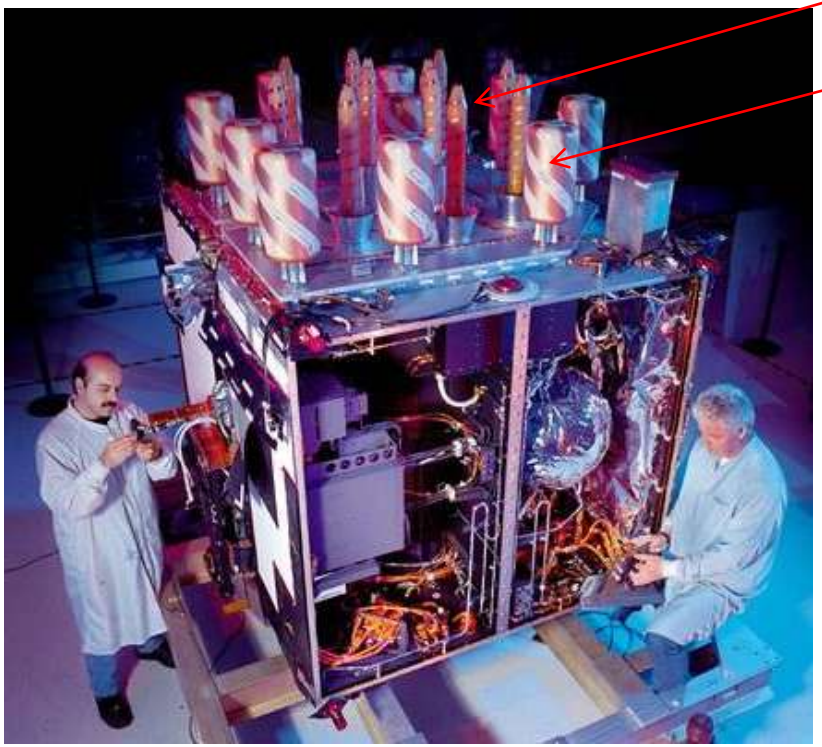
3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Partes dos Satélite

L-Band

UHF



3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Frequencias/Bandas de Operacao

A faixa C é a mais utilizada nas transmissões telefônicas interurbanas e internacionais e na transmissão de TV;

a faixa X é de uso militar

e a Ku permite a TV por assinatura via satélite

Traditional	*f range(GHz)*
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 -18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
V	40 - 75
W	75 - 110
mm	110 - 300
sub-mm	> 300

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Frequencias/Bandas de Operacao

Banda C e Banda Ku

	Banda C	Banda Ku
Frequência de uplink (estação Terrena para Satélite)	5,850 a 6,425 GHz	14,0 a 14,5GHz
Frequência de downlink (satélite para estação terrena)	3,625 a 4,200 GHz	11,7 a 12,2GHz

Traditional	f range(GHz)
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 -18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
V	40 - 75
W	75 - 110
mm	110 - 300
sub-mm	> 300

- -Um transponder em banda C tem, tipicamente, 36MHz de largura de banda, enquanto que os de banda Ku têm tipicamente 27MHz.
- a banda mais popular é a banda Ku, pois permite cursar tráfego com antenas menores que as de banda C, devido ao fato das suas freqüências serem mais altas.
- Entretanto, devido ao mesmo fato, a transmissão em banda Ku é mais suscetível a interrupções causadas pela chuva.
- Dessa forma a banda C é mais popular em países tropicais.
- -No Brasil, por mto tempo usou-se a banda C, mais recentemente a Ku vem recebendo maior aceitação

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Finalidade dos Satelites

Satélites para serviços metereologicos: se encontram nas orbitas GEO e mais baixas, usam frequências mto mais altas q as d comunicações.

-Satélites para serviços d radiodeterminação (RDSS): navegação, posicionamento e msg eletrônicas.

-Satélites para serviços d broadcasting: alta potencia d tx para difusão direta d radio, tv e dados e tb são conhecidos como (BSS) ou (DBS). Custo baixo, antena pequena

-Satélites para serviços móveis (MSS): utilizam GEO, operam na banda L (1.6GHz/1.5GHz), implica necessidade d coordenação severa d frequência, utilizam LEO tb

-Satélites para serviços fixos: utilizam GEO, faixa mais utilizada C (6/4GHz) e Ku (14/12GHz), muitos satélites em orbita.

-Satélites para serviços militares: Banda X com portadoras para enlaces d subida (uplink 7900Mhz~8400Mhz tx) e para enlace d descida (downlink 7250 MHz ~ 7750 MHz rx).

-Satélites para serviços científicos.

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Vantagens e Limitações Comunicação por Satélite

Limitações:

- quanto maior a distância, maior o dispêndio de energia dos equipamentos (tanto em terra como no satélite)
- Segurança – Por abranger áreas tão extensas e usar antenas é necessário ter especial atenção a esse quesito, usando encriptação para garantir que somente pessoas autorizadas tenham acesso as informações transmitidas.
- Clima – fatores climáticos interferem na comunicação. Assim, sistemas críticos que não podem ficar minutos sem comunicação não devem usar VSAT. A atmosfera provoca reflexões de onda, provocando atrasos e erros.
- Custos - Os custos são elevados na construção de satélites, em sua projeção no espaço e sua manutenção, 716 milhões é a verba destinada para o projeto do governo.

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>>Comunicações via Satélite – Vantagens e Limitações Comunicação por Satélite

Vantagens:

- A comunicação que seria impossível ocorrer por meio de cabos, toda informação emitida pode ser recebida em qualquer região do planeta.
- - Rapidez. Instalações práticas mostram que redes VSAT podem ser implementadas e começar a operar em poucos dias.
- - Desenvolvimento economico de localidades mais distantes, unidades fabris e pequenos aglomerados rurais. Localidades insulares, de pouca infraestrutura.
- - Pode ser usada em veículos de mobilidade intercontinental (aviões e navios).

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA VHF (30 MHz A 300 MHz): Very High Frequency
FAIXA UHF (300 MHz A 3 GHz): Ultra High Frequency

>> Antenas

Antenas Micro-ondas

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA VHF (30 MHz A 300 MHz): Very High Frequency
FAIXA UHF (300 MHz A 3 GHz): Ultra High Frequency

>> Antenas

Antenas Micro-ondas

3.2-Radiocomunicações– 3.2.4 - Comunicações VHF e UHF

FAIXA SHF (3 GHz A 30 GHz): Super High Frequency
FAIXA EHF (30 GHz A 300 GHz): Extreme High Frequency

>> Antenas

Antena banda Ka

Antena banda C