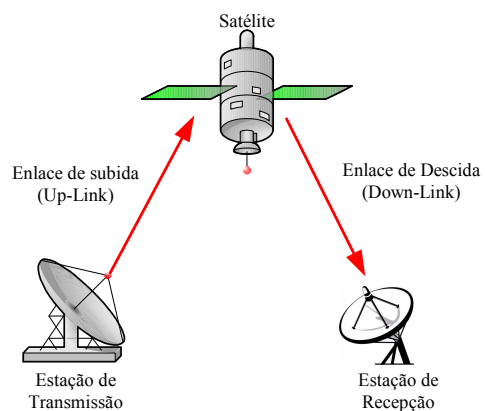


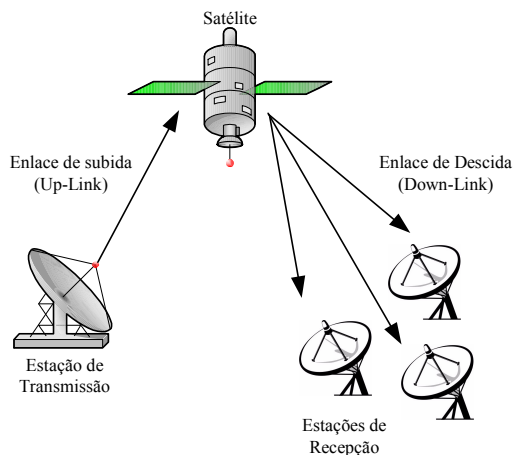
Capítulo 2

Estações Terrenas em Comunicações Via Satélite com Órbita Geo-Estacionária

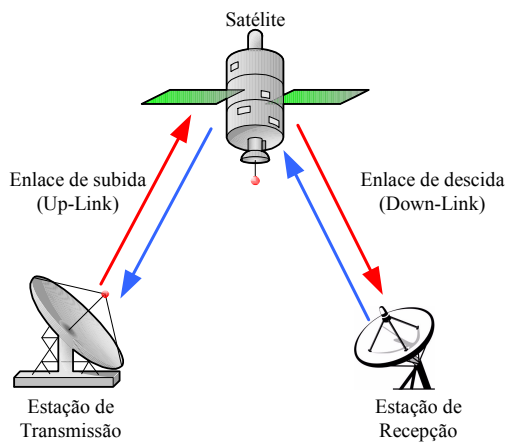
Enlace Ponto-Ponto em apenas um sentido



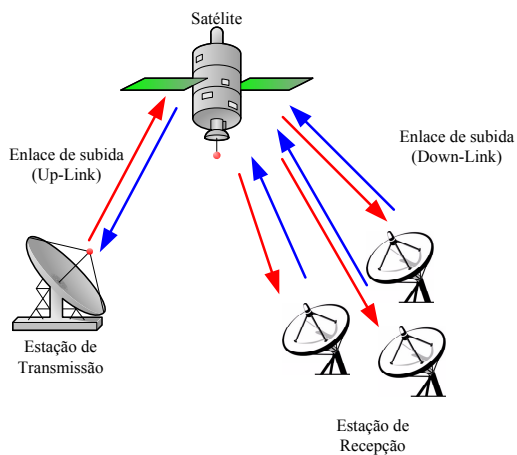
Enlace Ponto-Múltiplos Pontos em apenas um sentido



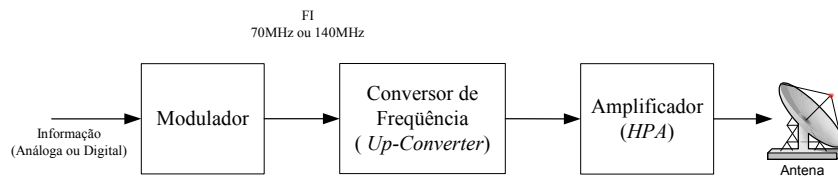
Enlace Ponto-Ponto nos dois sentidos



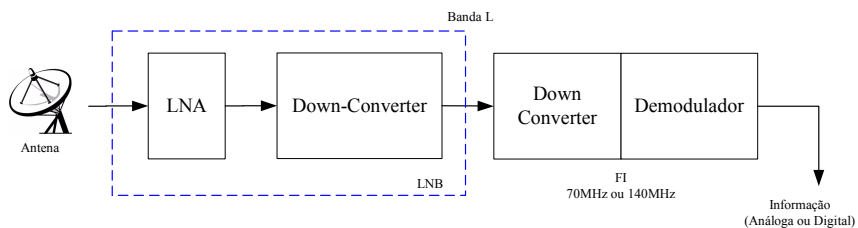
Enlace Ponto-Múltiplos Pontos nos dois sentidos



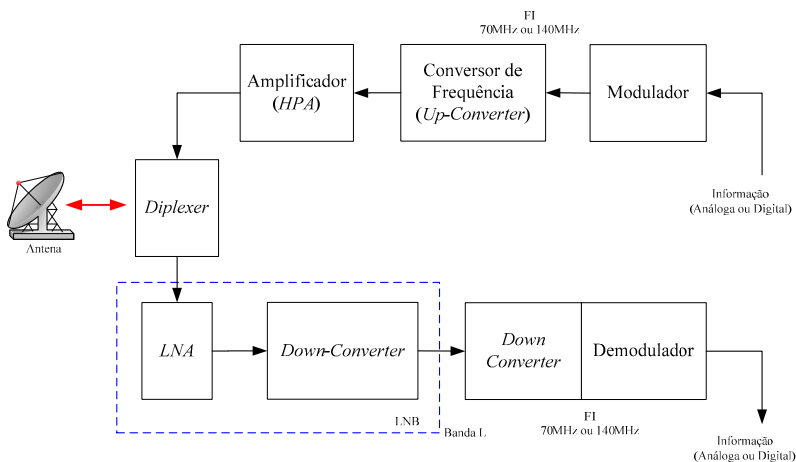
Estação de Transmissão para Operação em apenas um Sentido



Estação de Recepção para Operação em apenas um Sentido



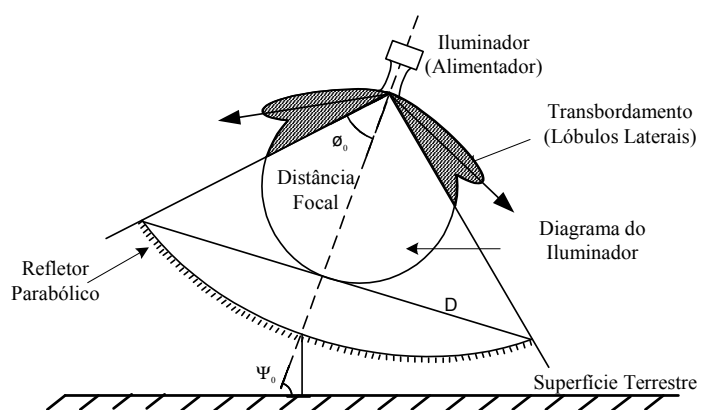
Estação Terrena para Operação Bidirecional



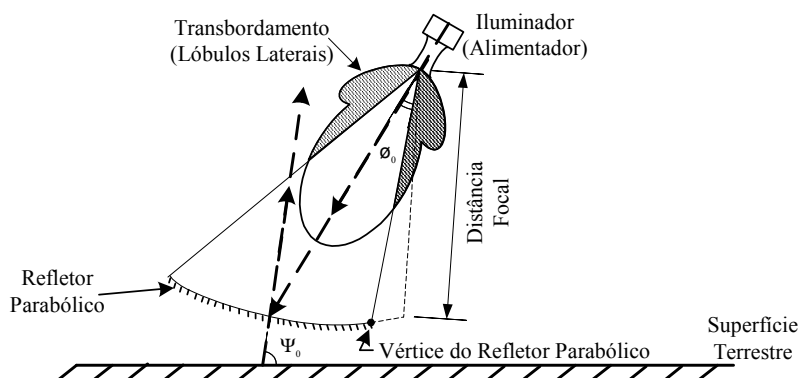
Antenas Empregadas nas Estações Terrenas.

- ☐ Antenas Cornetas (*Horn Antenna*)
- ☐ Rede de Antenas em Fase (*Phased Array Antenna*)
- ☐ Antenas Parabólicas (*Parabolic Antennas*)

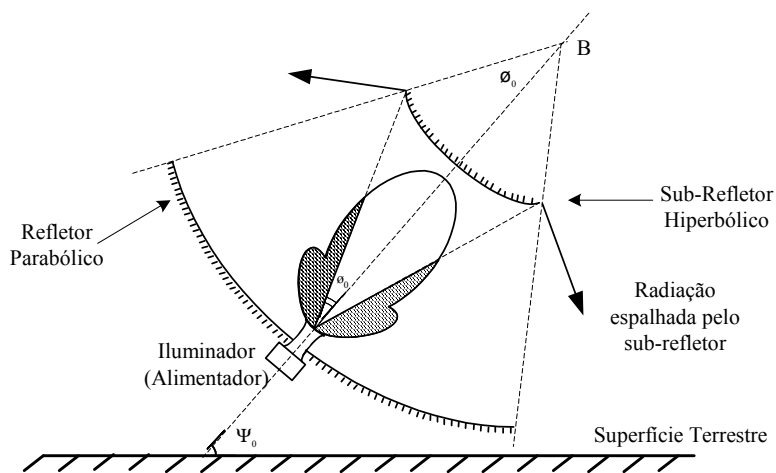
Antena Prime-Focus



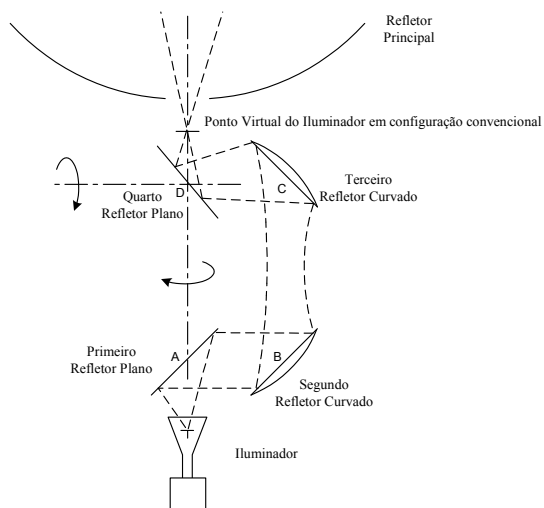
Antena Prime-Focus com Montagem Off-Set



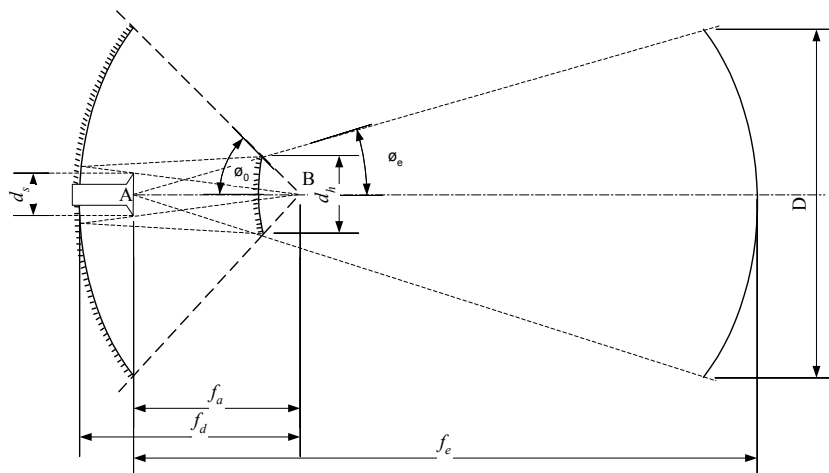
Antena Cassegrain



Estrutura para reflexão da
onda eletromagnética
para redução de perdas,
evitando o uso de cabos e
guias.



Modelo Equivalente da Antena *Casegrain*

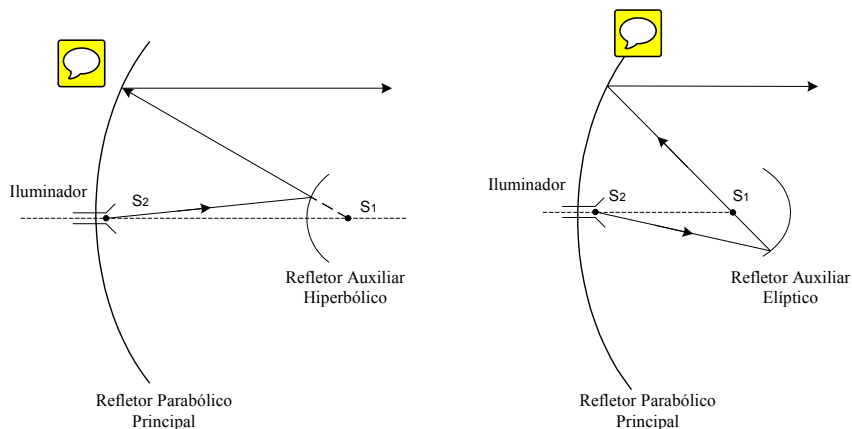


A refletor auxiliar da antena casegrain causa obstrução do sinal e provoca a redução de ganho, a diminuição da largura de feixe e o aumento dos lóbulos laterais. Estes efeitos podem ser minimizados se as relações apresentadas abaixo forem atendidas.

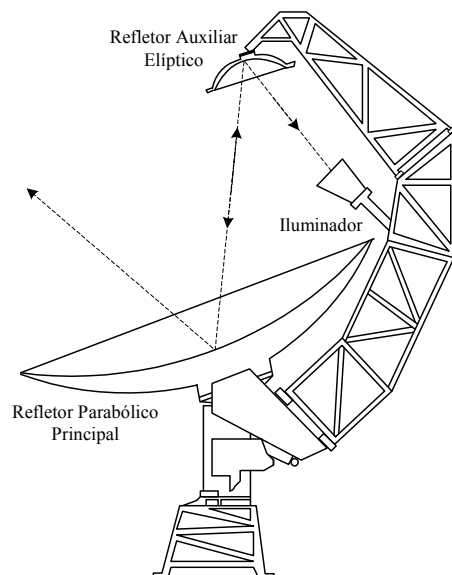
$$\frac{f_a}{f_d} = \frac{d_a}{d_h}$$

$$d_a = \sqrt{\left(\frac{2f_d\lambda}{\eta_a}\right)}$$

Antena Gregoriana



Antena Gregoriana com Montagem *Off-Set*



Eficiências Parciais e Total de Antenas *Casegrain*

Fator de Eficiência	Símbolo	Perda (%)	Perda (dB)	Eficiência (%)
Alimentador	η_a	1,34	0,059	98,66
Refletor hiperbólico auxiliar	η_h	11,73	0,542	88,27
Refletor parabólico principal	η_p	4,00	0,177	96,00
Perdas por obstrução do refletor auxiliar	η_{oh}	7,40	0,334	92,60
Erros de Fase e erros de superfície	η_{efs}	7,56	0,340	92,44
Erros de Polarização	η_{ep}	1,15	0,050	98,85
Eficiência Total	η	-	-	70,74
Perda Total	-	-	1,502	-

Parâmetros Elétricos das Antenas

Polarização

Este parâmetro é de grande importância na antena, pois os satélites geo-estacionários utilizam como forma de múltiplo acesso as polarizações contrárias, exigindo que as antenas ofereçam elevados valores de isolamento entre polarizações.

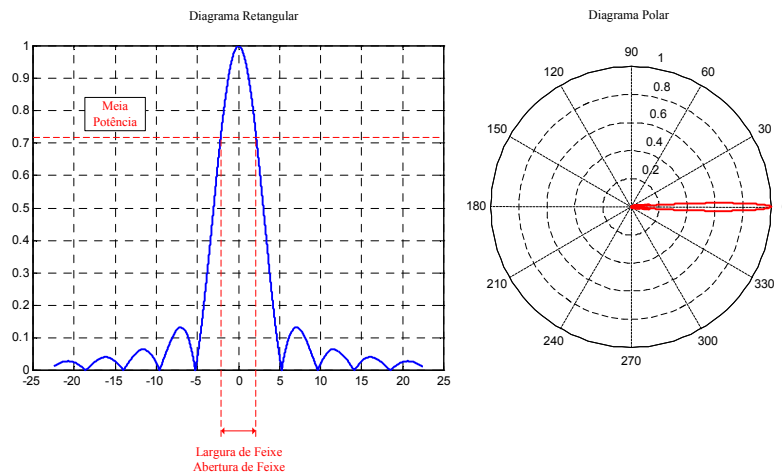
Polarização Linear

Polarização Horizontal e Polarização Vertical

Polarização Circular

Polarização circular horária e anti-horária

Diagrama de Irradiação.



Abertura de Feixe para Iluminações Uniformes

$$\theta_{3dB} = 58,5 \cdot \left(\frac{\lambda}{D} \right) \quad G = \eta \left(\frac{58,5\pi}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

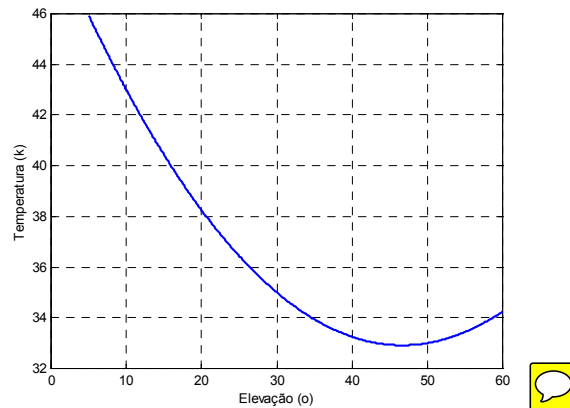
$$G(\theta)_{dB} = G - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

Abertura de Feixe para Iluminações Não Uniformes

$$\theta_{3dB} = 70 \cdot \left(\frac{\lambda}{D} \right) \quad G = \eta \left(\frac{70\pi}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

$$G(\theta)_{dB} = G - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

Temperatura Equivalente de Ruído



$$T_A = \left(\frac{1}{4\pi} \right) \iint T_b(\theta, \phi) G(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi$$

Modulação e Demodulação

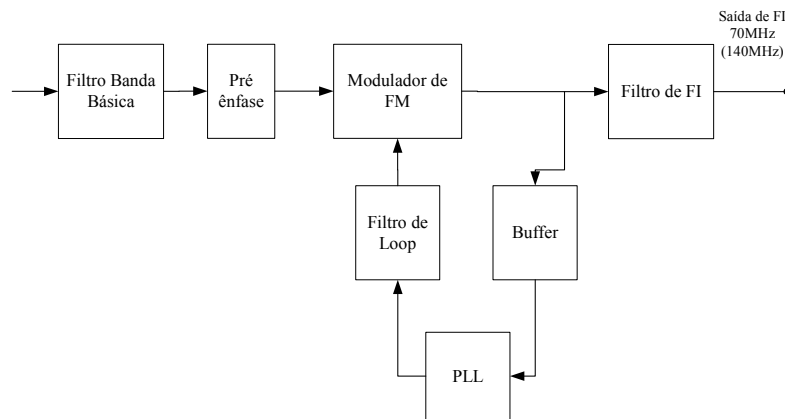
FM (Analógica)

BPSK, QPSK e 8PSK

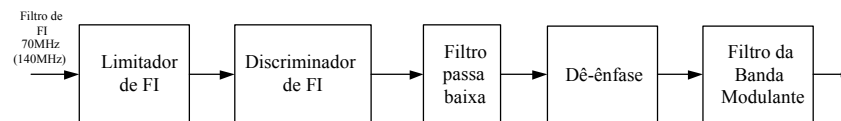
16QAM

2FSK

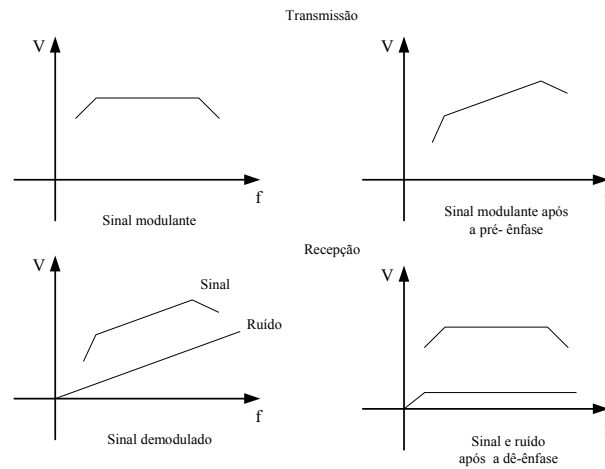
Modulação FM em Sistemas Analógicos



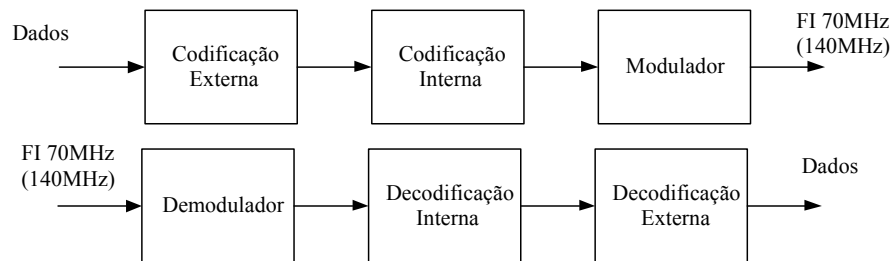
Demodulação FM em Sistemas Analógicos



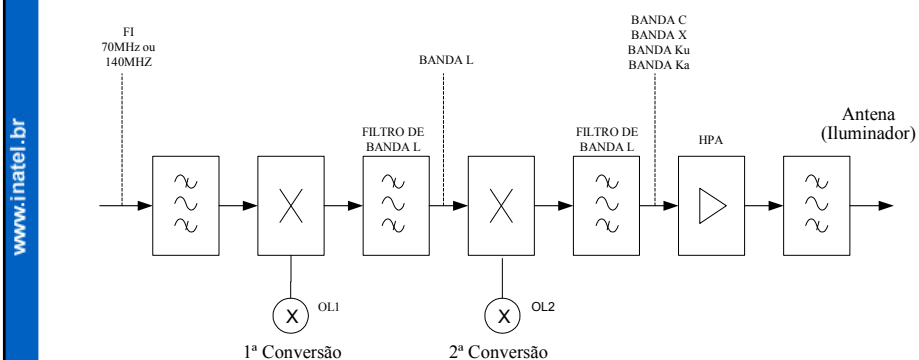
Pré-ênfase e dê-ênfase empregadas na modulação e demodulação FM



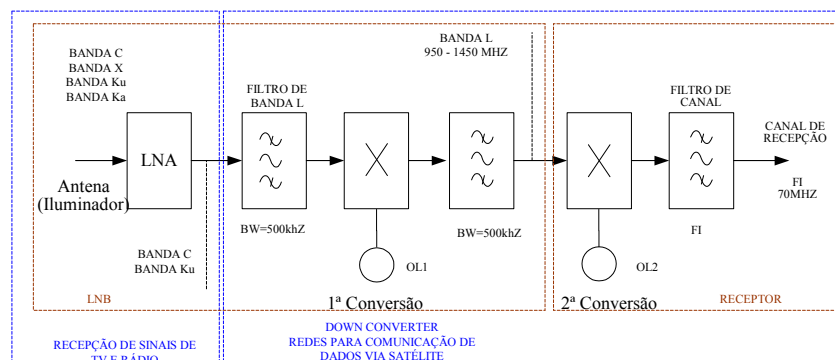
Estrutura Básica do Processo de Modulação e Demodulação Digital



Equipamentos de Transmissão



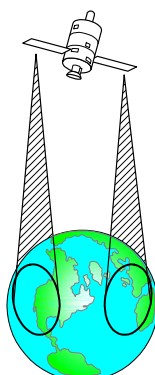
Equipamentos de Recepção



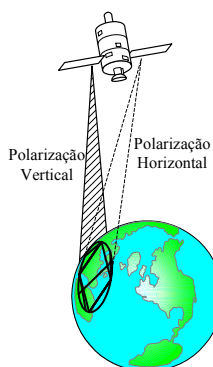
Capítulo 3

Técnicas de Múltiplo Acesso em Comunicação Via Satélite.

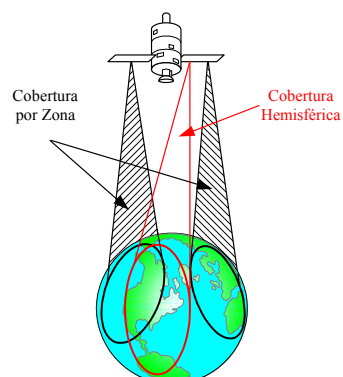
Múltiplos Acessos SDMA e PDMA



SDMA
Mesma Frequência
em Áreas Diferentes

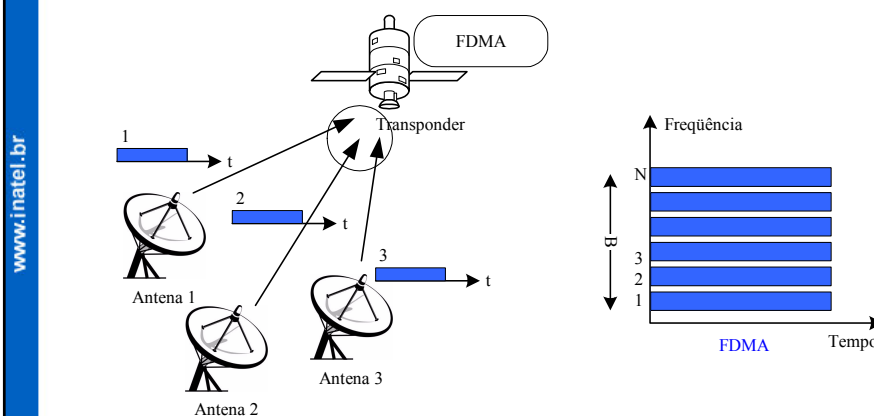


PDMA
Reuso de Frequências com
Difentes Polarizações

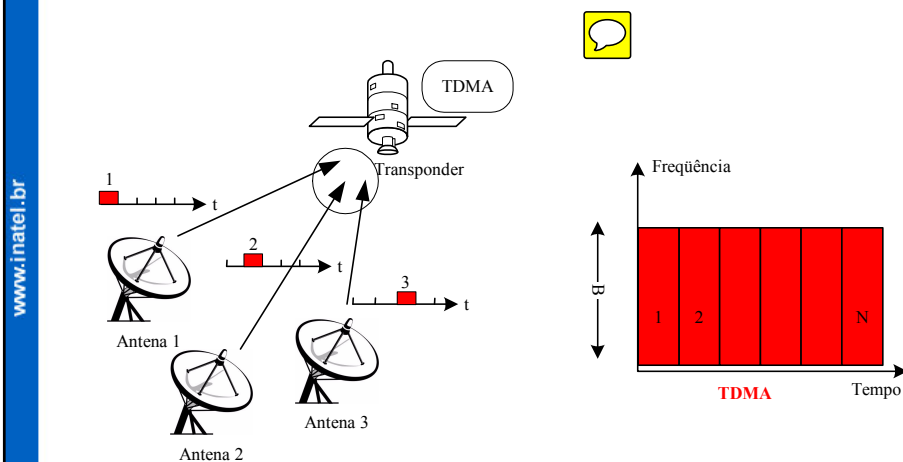


Satélite com Múltiplas
Coberturas em Diferentes
Bandas de Operação

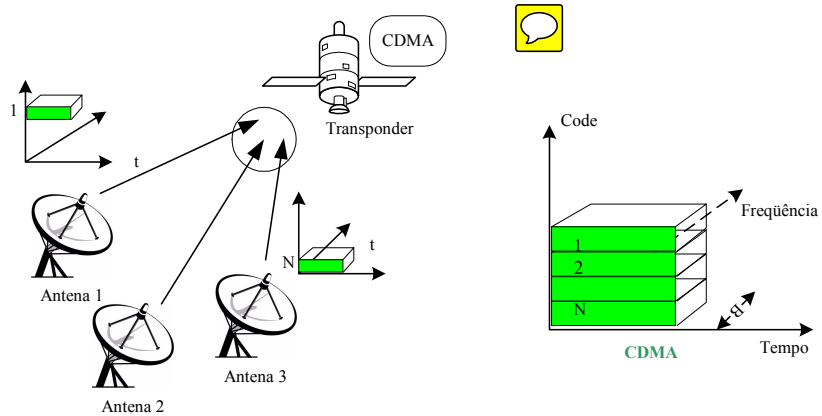
Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência - FDMA



Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo - TDMA

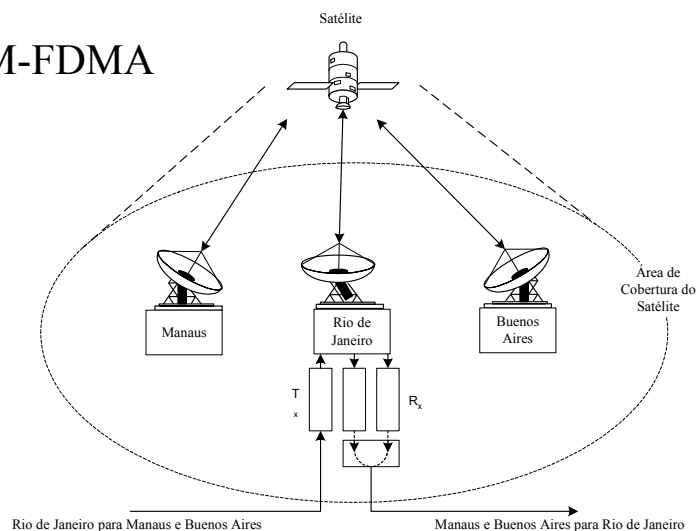


Múltiplo Acesso por Divisão de Código - CDMA

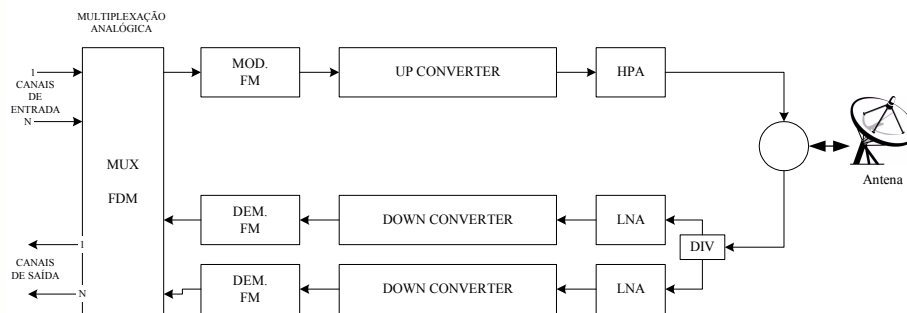


Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência FDMA

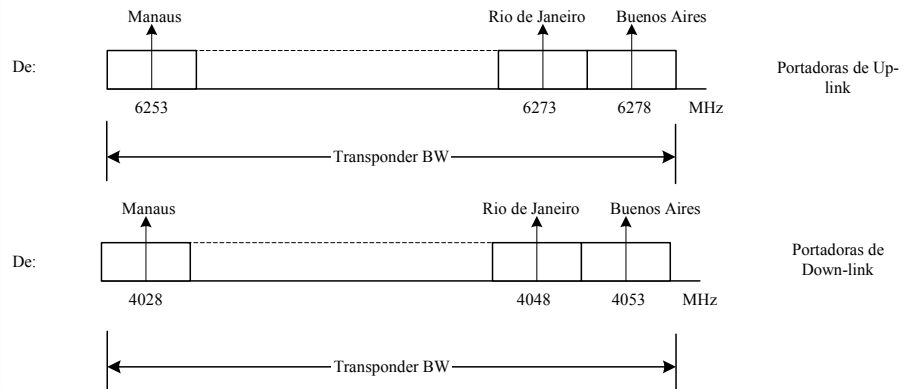
FDM-FM-FDMA



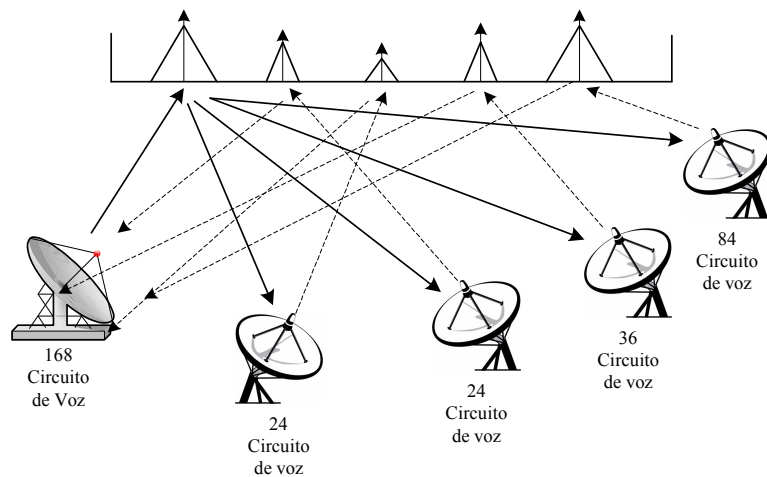
FDM-FM-FDMA



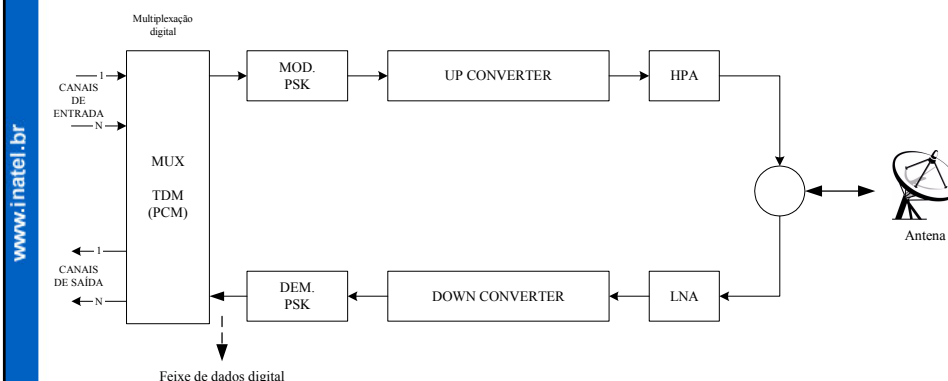
FDM-FM-FDMA



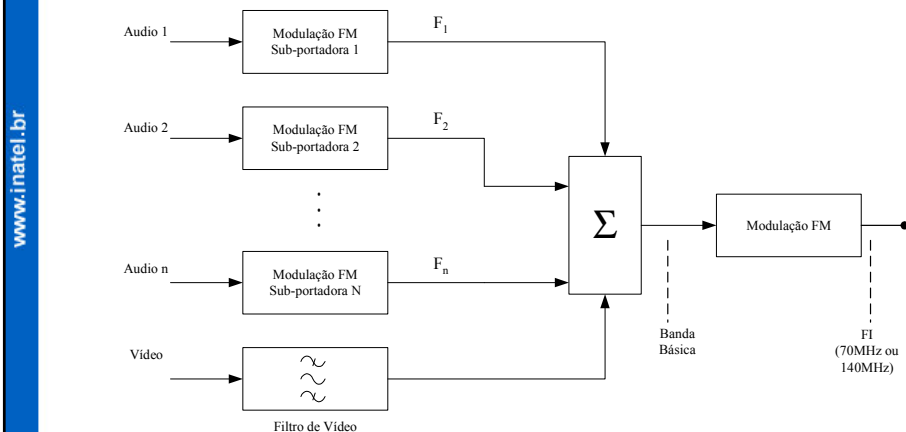
FDM-FM-FDMA



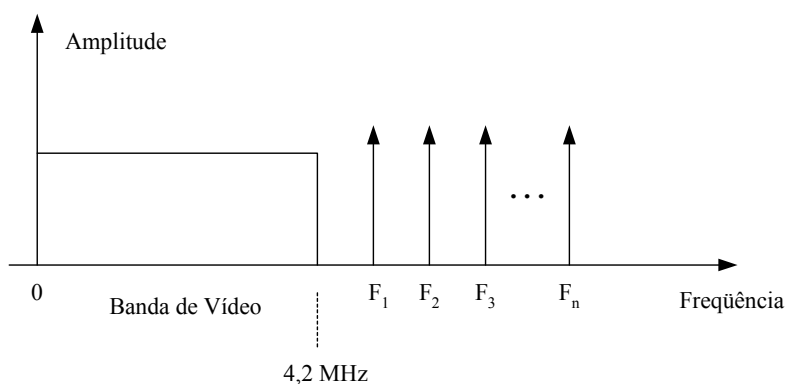
TDM-PSK-FDMA



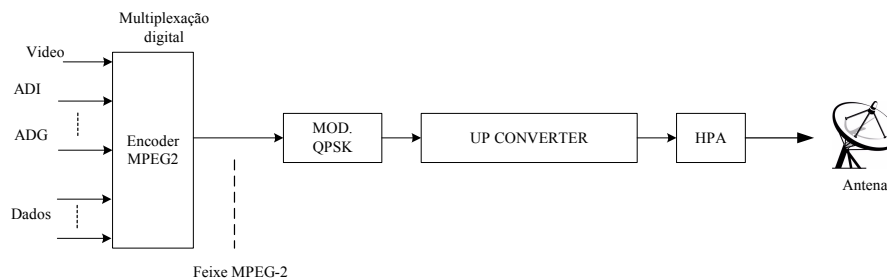
Transmissão de Sinais de Som e Imagem para TV e Rádio



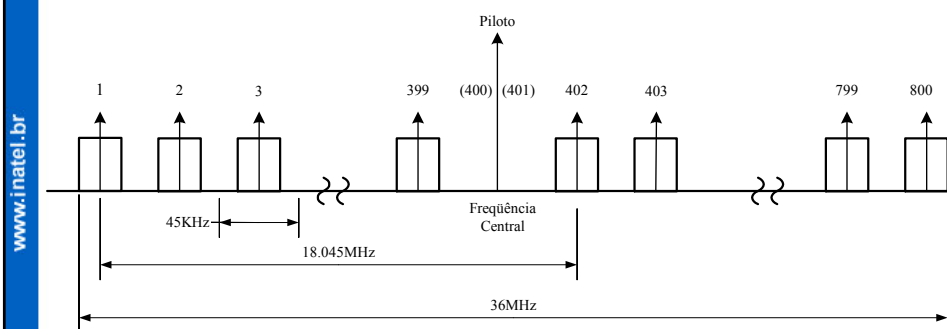
Transmissão de Sinais de Som e Imagem para TV e Rádio



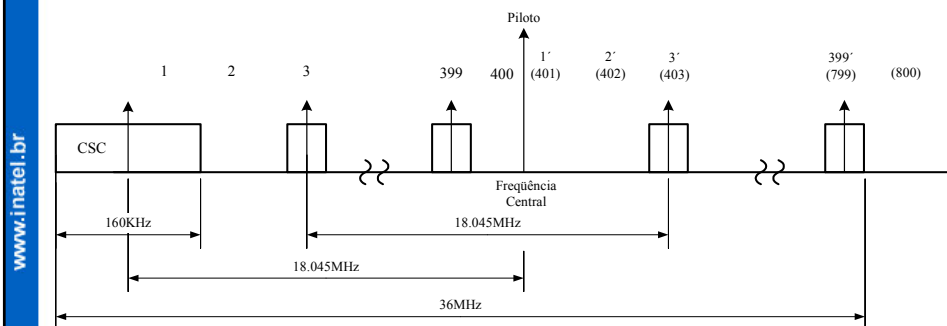
Transmissão de Sinais de Som e Imagem para TV na Concepção Digital.



Sistema INTELSAT SCPC



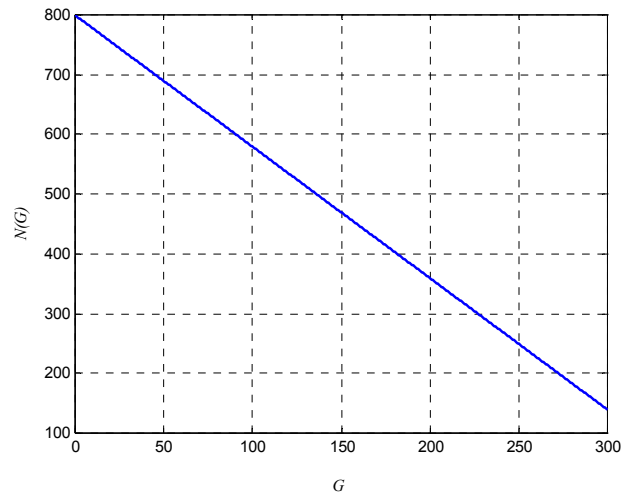
Sistema SPADE



Sistema SPADE

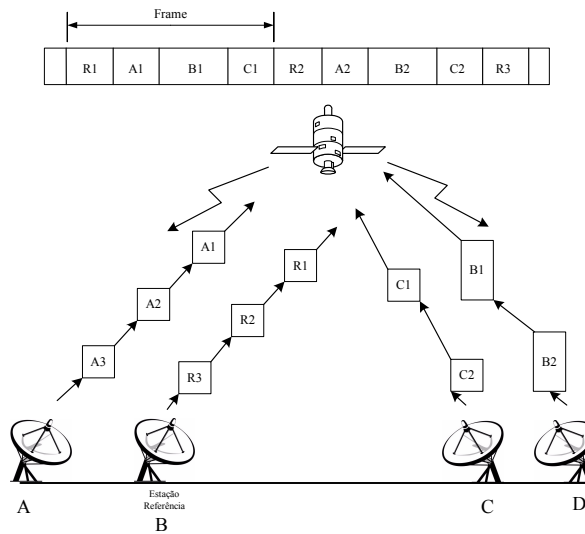
G : Número de Estações com $G/T = 35 \text{ dB/K}$

$N(G)$: Número máximo de canais admitido por transponder

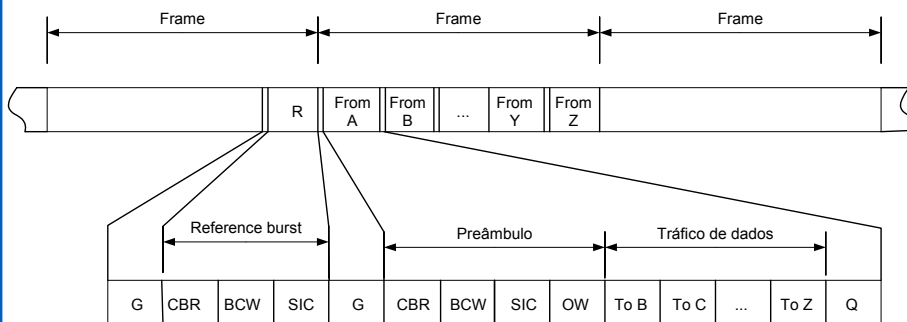


Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo TDMA

TDMA



TDMA



- ❑ Burst de Referência
- ❑ Tempo de Guarda
- ❑ Recuperação de Portadora e Relógio
- ❑ Palavra de Código de Burst
- ❑ Código de Identificação de Estação

Comparação das Técnicas FDMA e TDMA

As técnicas FDMA e TDMA apresentam a mesma capacidade de transmissão , como pode ser observado nas equações

$$R_{FDMA} = M \cdot \frac{b}{T}$$

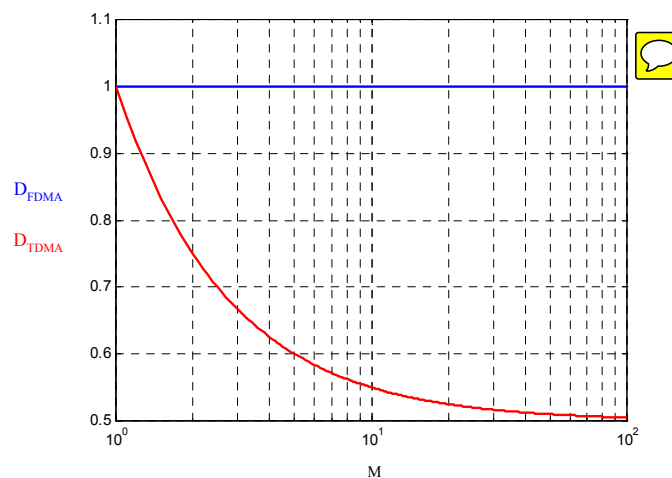
$$R_{TDMA} = \frac{b}{\left(\frac{T}{M}\right)} = M \cdot \frac{b}{T}$$

A diferença significativa entre as técnicas FDMA e TDMA é o tempo médio de atraso.

$$D_{TDMA} = T \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2M} \right) \quad D_{FDMA} = T$$

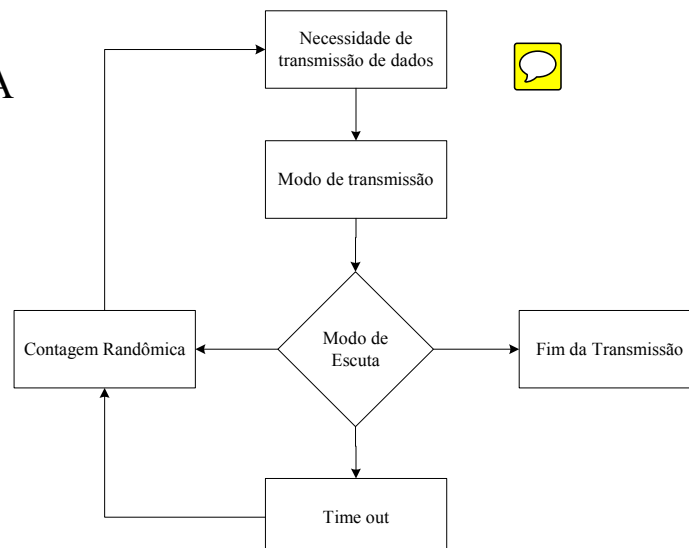
Graficamente esta diferença fica mais evidente.

Comparação das Técnicas FDMA e TDMA

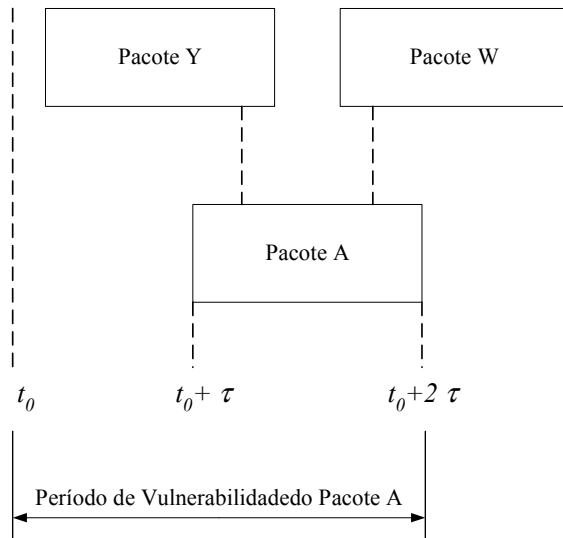


Técnicas de Múltiplo Acesso Empregando Algoritmos com Processo Aleatório.

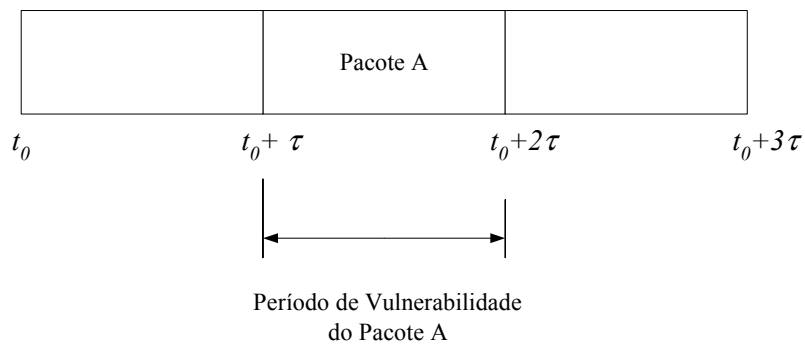
ALOHA



ALOHA

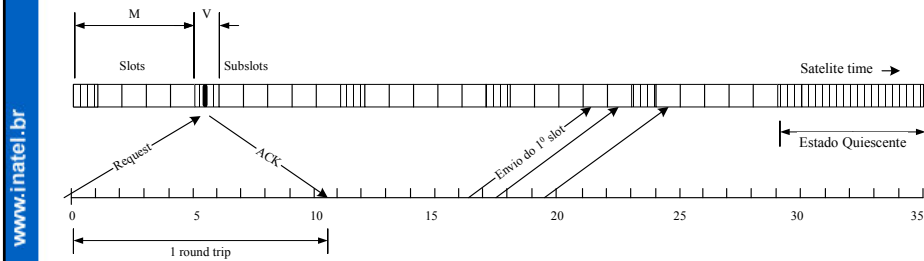


S-ALOHA

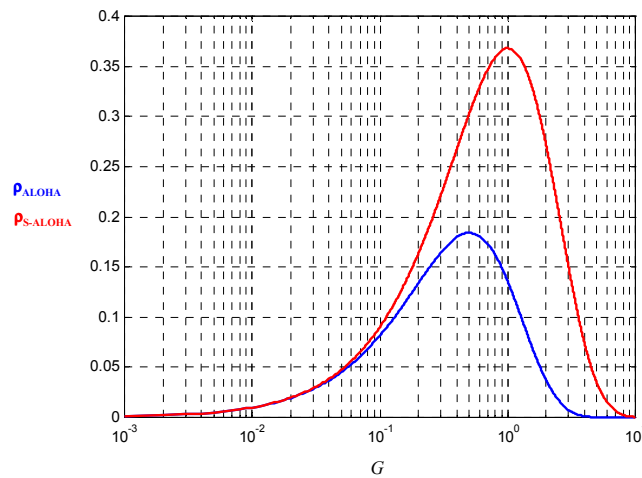




R-ALOHA



Desempenho das Técnicas de Múltiplo
Acesso Empregando Algoritmos com
Processo Aleatório.



ALOHA $\rho = G \cdot e^{-2G}$ S-ALOHA $\rho = G \cdot e^{-G}$

Técnica	Vazão Normalizada	Vazão (%)
ALOHA	$\rho = 0,184$	$\rho = 18,4$
S-ALOHA	$\rho = 0,368$	$\rho = 36,8$
R-ALOHA	$\rho = 0,670$	$\rho = 67,0$

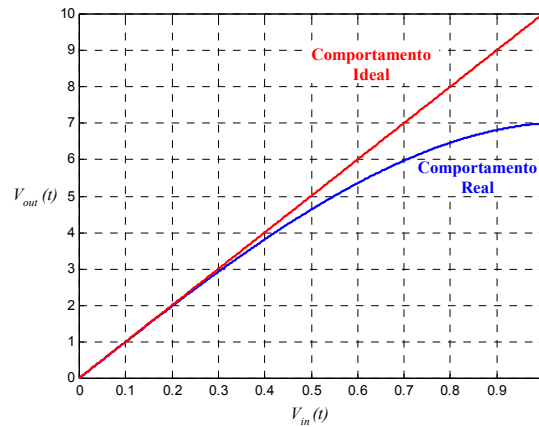
Capítulo 4

Análise do Comportamento Não Linear do *Transponder* de Satélite, como Repetidor de Sinais de Rádio Freqüência.

Representação da Função de Transferência dos *Transponders*

- ▣ Séries de Taylor;
- ▣ Funções de Saleh
- ▣ Modelo de Blum e Jeruchim
- ▣ Séries de Volterra

Representação da Função de Transferência dos Transponders



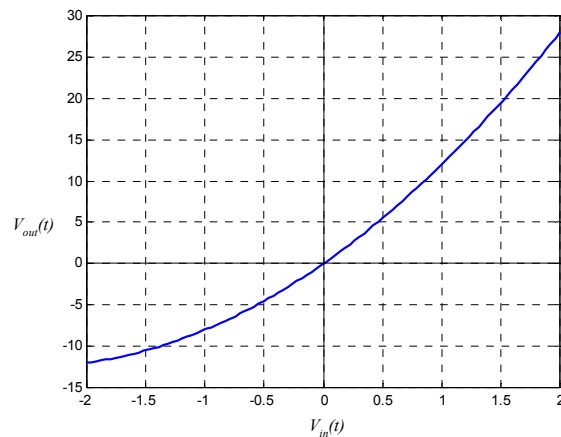
Representação da Função de Transferência dos Transponders

$$V_{out}(t) = \sum_{j=1}^n K_j V_{in}^j(t)$$

$$V_{out}(t) = K_1 V_{in}(t) + K_2 V_{in}^2(t) + K_3 V_{in}^3(t) + K_4 V_{in}^4(t) + \dots + K_n V_{in}^n(t)$$

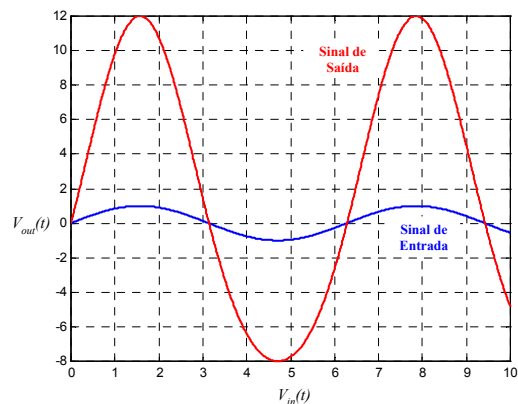
Análise do Comportamento Quadrático

$$V_{out}(t) = K_1 V_{in}(t) + K_2 V_{in}^2(t)$$

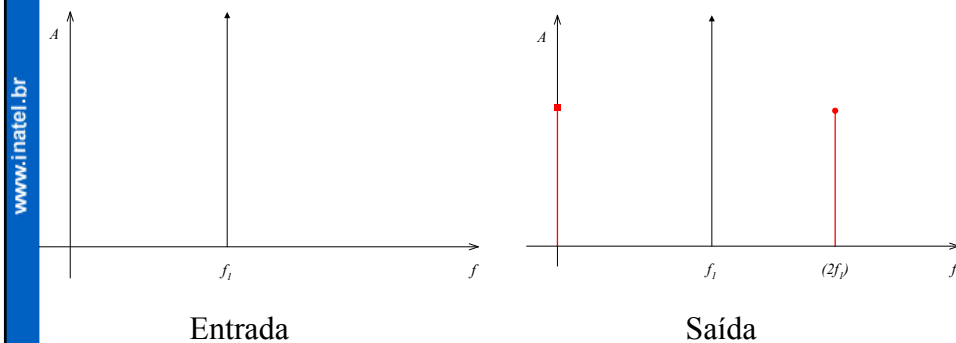


Análise do Comportamento Quadrático

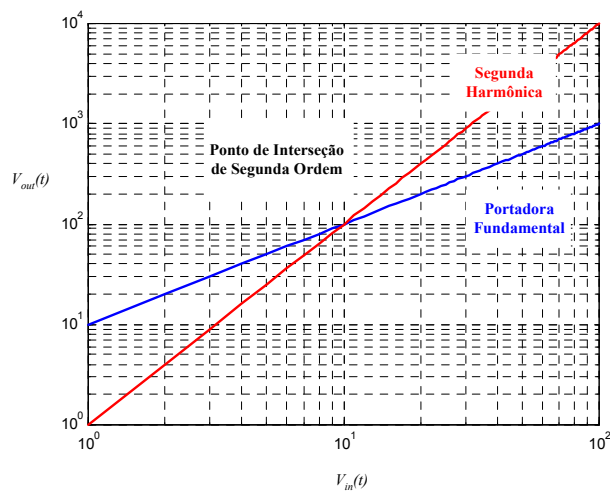
$$V_{out}(t) = K_1 A_1 \cos \omega_1 t + \frac{K_2 A_1^2}{2} + \frac{K_2 A_1^2}{2} \cos(2\omega_1 t)$$



Análise do Comportamento Quadrático

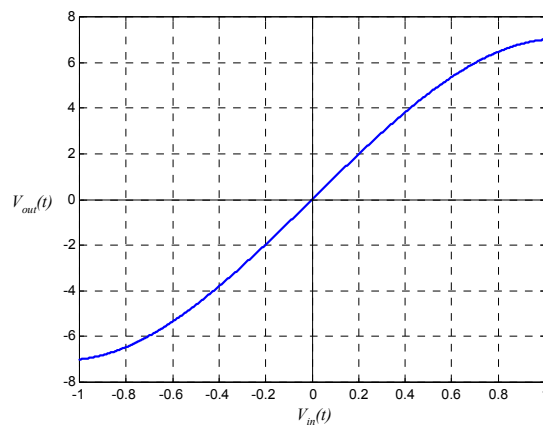


Ponto de Interseção de Segunda Ordem



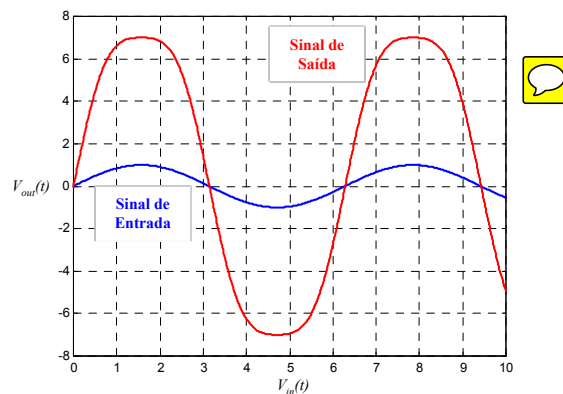
Análise do Comportamento Cúbico

$$V_{out}(t) = K_1 V_{in}(t) + K_3 V_{in}^3(t)$$

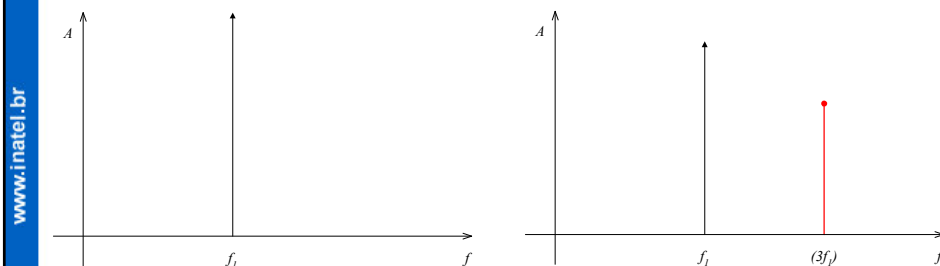


Análise do Comportamento Cúbico

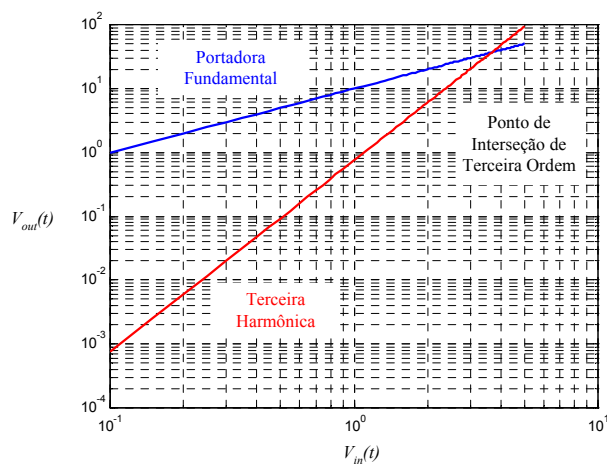
$$V_{out}(t) = K_1 A_1 \cos \omega_1 t + \frac{3}{4} K_3 A_1^3 \cos(\omega_1 t) + \frac{1}{4} K_3 A_1^3 \cos(3\omega_1 t)$$



Análise do Comportamento Cúbico

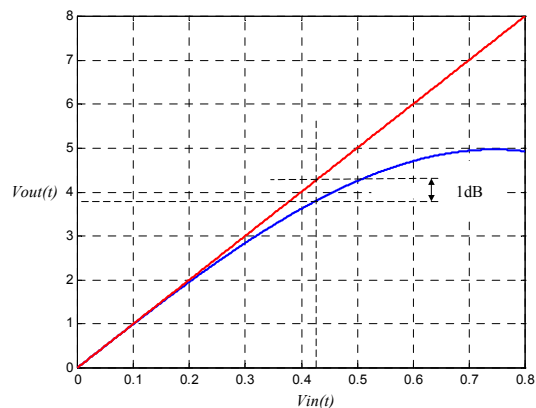


Ponto de Interseção de Terceira Ordem

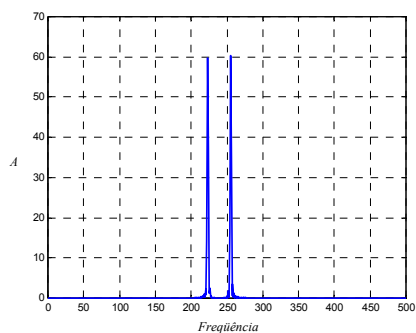
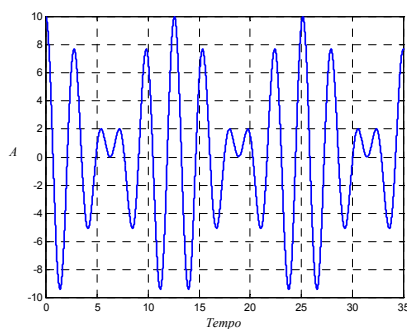


Ponto de Compressão de 1dB

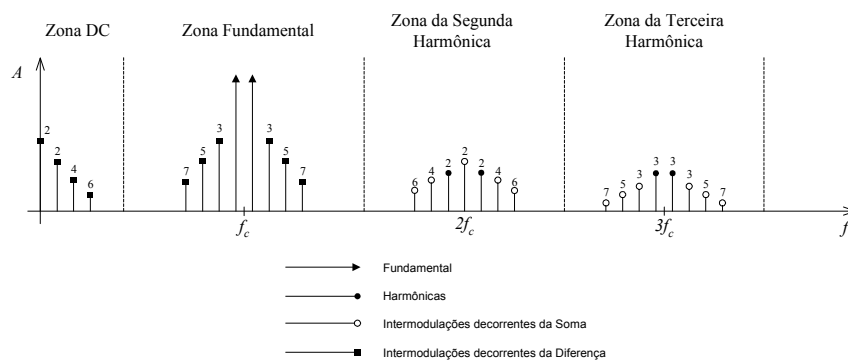
$$\frac{K_1 V_{in}(t)}{K_1 V_{in}(t) + K_2 V_{in}^2(t) + K_3 V_{in}^3(t) + K_4 V_{in}^4(t) + \dots + K_n V_{in}^N(t)} = 1 \text{ (dB)}$$



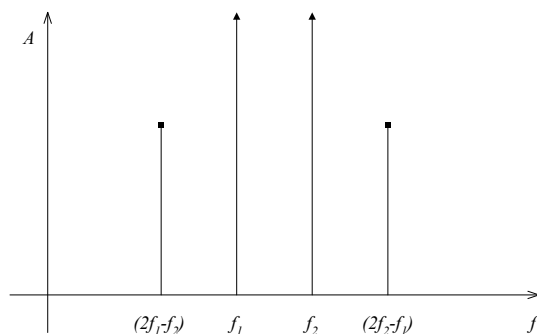
Produtos de Intermodulação de Ordens Elevadas



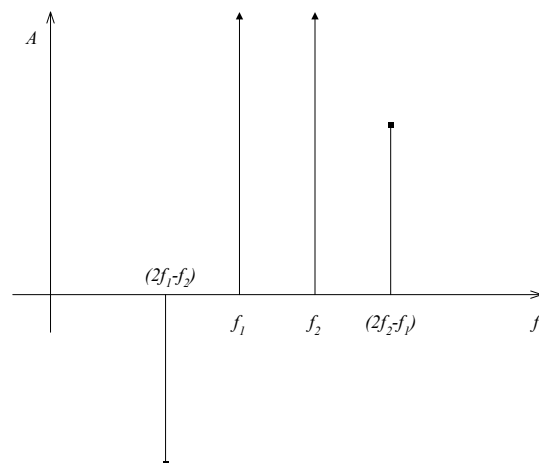
Produtos de Intermodulação de Ordens Elevadas



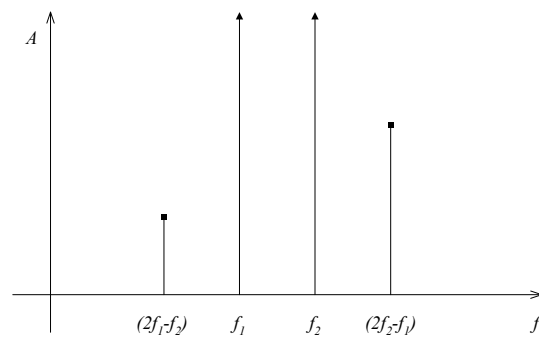
Conversões AM-AM e AM-PM em amplificadores não lineares



Conversões AM-AM e AM-PM em amplificadores não lineares

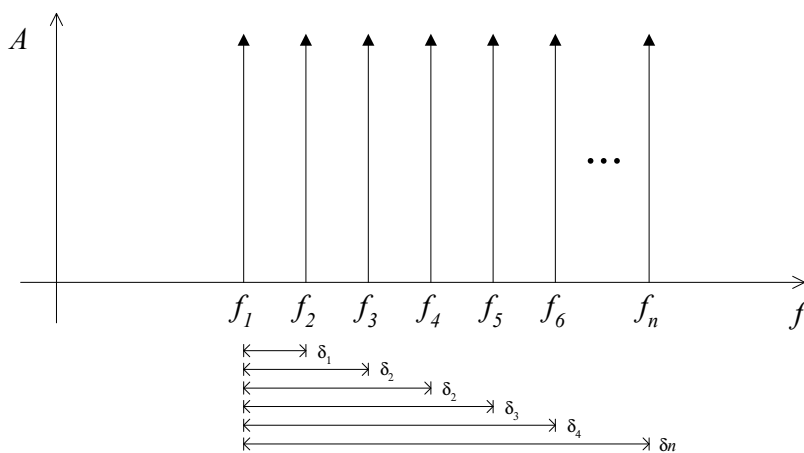
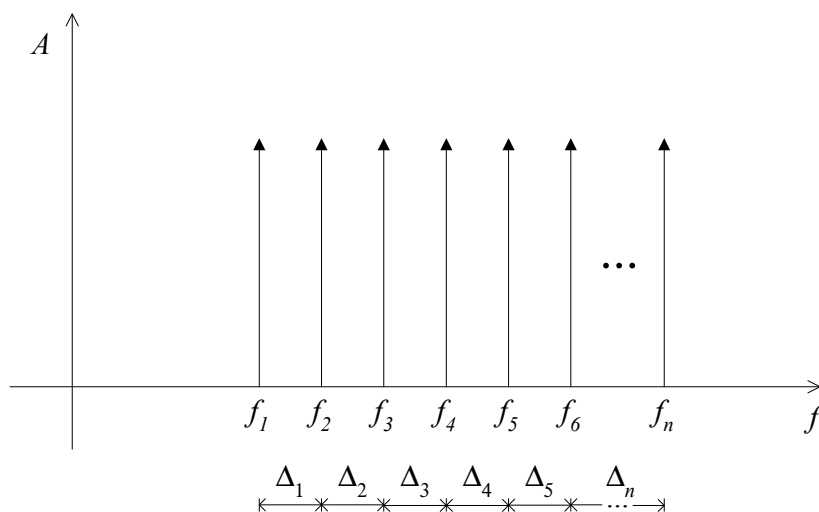


Conversões AM-AM e AM-PM em amplificadores não lineares



Determinação dos Níveis de Intermodulação

Lema da Não Coincidência



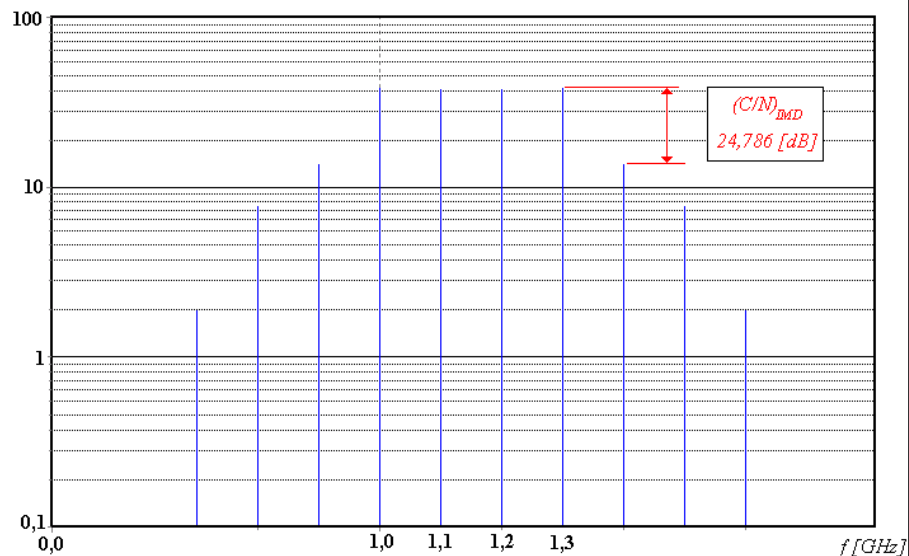
Lema 1 – Não Coincidência: Considere o tráfego de N portadoras múltiplas pelo *transponder* de um satélite.

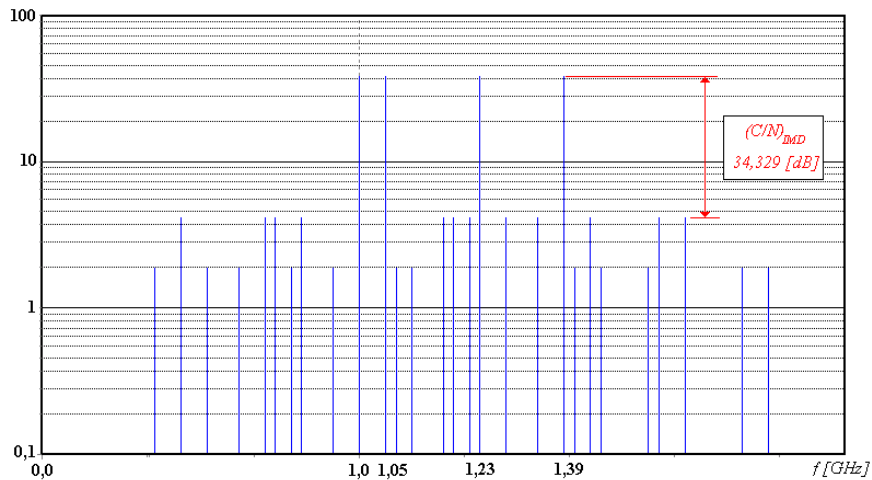
Seja $I = \{1, 2, 3, \dots, N\} \subset \mathbb{N}$ e f_i a frequência de cada portadora, $i \in I$. Se $\Delta_i = f_{i+1} - f_i$, $i \in I - \{N\}$ é o espaçamento entre elas, então existe a não coincidência dos produtos de intermodulação se e somente se:

$$\Delta_i \neq \Delta_j$$

$$\frac{\delta_i}{\delta_j} = \alpha \quad ; \quad \alpha \notin \mathbb{N}^*$$

$$\forall \quad i \neq j \quad ; \quad i, j \in I$$





Lema 2 – Relação Portadora/Ruído de intermodulação:

Assumindo verificadas as hipóteses do *Lema 1*. Se as portadoras têm amplitudes satisfazendo:

$$A_i = A_{i+1} = A \quad \forall i \in I - \{N\},$$

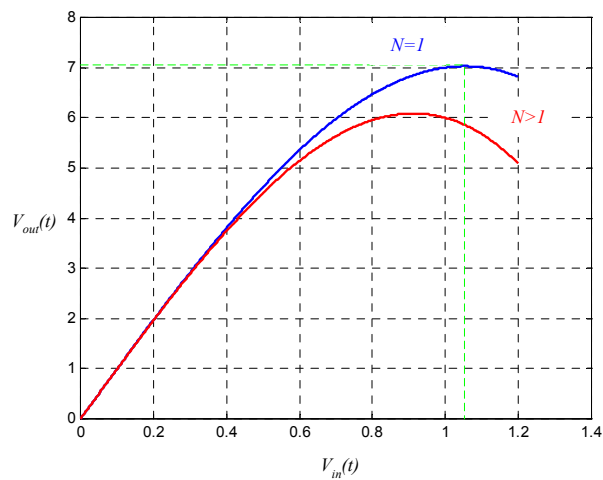
Então, a relação portadora/ruído de intermodulação satisfaz:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{IMD} = \frac{\left|K_1 - \frac{1}{4}K_3A^2[9 + 3!(N-2)]\right|}{\left|\frac{6}{4}K_3A^2\right|}$$

Lema 1 atendido

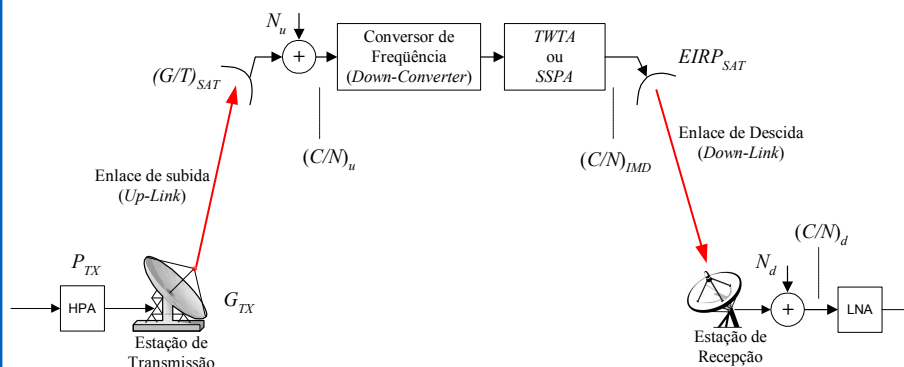
$$\left(\frac{C}{N}\right)_{IMD} = \frac{\left|K_1 - \frac{1}{4}K_3A^2[9 + 3!(N-2)]\right|}{\left|\frac{1}{4}K_3A^2 \sum_{n=1}^{(N-1)} 3n\right|}$$

Lema 1 não atendido



Capítulo 5

Equacionamento de um Enlace Via Satélite em Condição Geo-Estacionária



Equações para Desempenho do Enlace

$$\left(\frac{C}{N}\right)_T = \left[\left(\frac{C}{N}\right)_u^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_d^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_{IMD}^{-1} \right]^{-1}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{N}\right) \cdot \left(\frac{R}{B}\right)$$

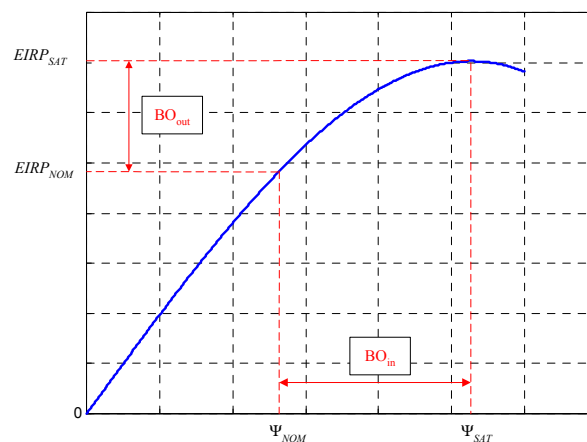
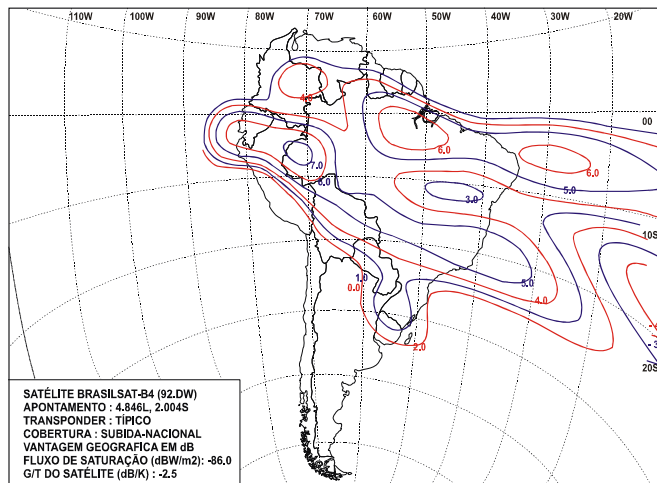
$$BER = f\left(\frac{1}{E_b/N_0}\right)$$

Análise do Enlace de Subida

$$\left(\frac{C}{N}\right)_u [dB] = EIRP_u - \sum A_u + \left(\frac{G}{T}\right)_{SAT} - 10 \cdot \log(K \cdot B)$$

$$\Psi_{SAT} = \frac{P_{TX} \cdot G_{TX}}{4\pi \cdot d^2} = \frac{EIRP_u}{4\pi \cdot d^2}$$

Valores de Ψ_{SAT} do Satélite

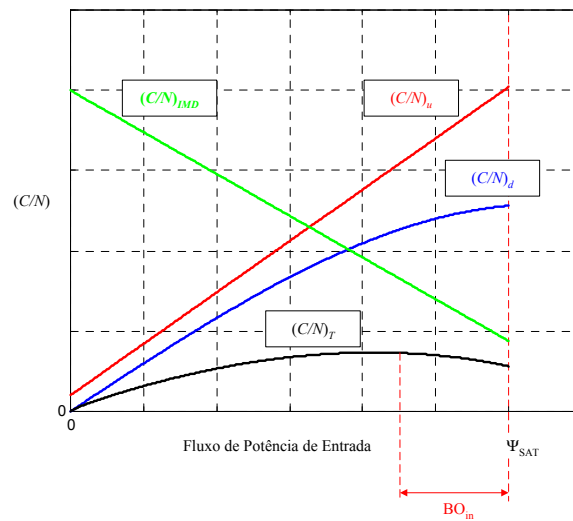


$$BO_{in} [dB] = \Psi_{SAT} - \Psi_{NOM}$$

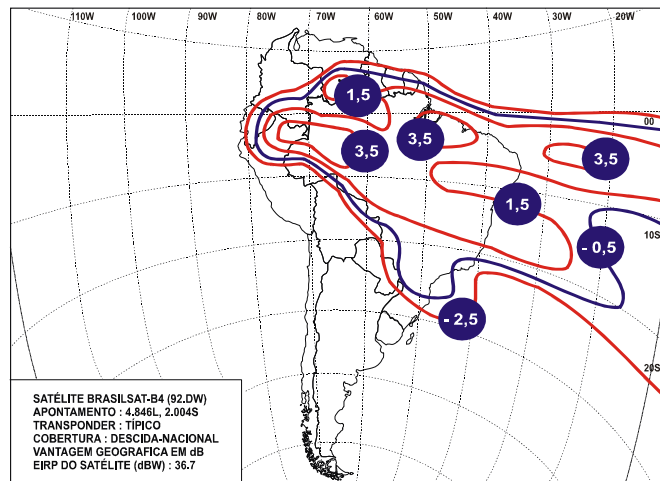
$$BO_{out} [dB] = EIRP_{SAT} - EIRP_{NOM}$$

Relação Portadora Ruído de Intermodulação

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{IMD} = \frac{\left| K_1 - \frac{1}{2} \cdot K_3 \cdot \frac{(\Psi_{SAT} \cdot G_{RX-SAT})}{10^{(0,1 \cdot BO_m)}} \cdot [9 + 3!(N-2)] \right|}{\left| \frac{1}{2} \cdot K_3 \cdot \frac{(\Psi_{SAT} \cdot G_{RX-SAT})}{10^{(0,1 \cdot BO_m)}} \cdot \sum_{n=1}^{(N-1)} 3 \cdot n \right|}$$



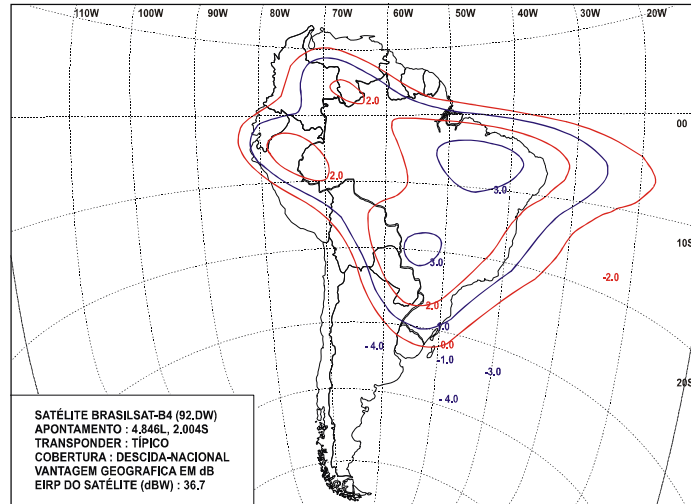
Valores de G/T do Satélite



Análise do Enlace de Descida

$$\left(\frac{C}{N}\right)_d [dB] = EIRP_{SAT} - BO_{OUT} - \sum A_d + \left(\frac{G}{T}\right)_d - 10 \cdot \log(K \cdot B)$$

Valores de EIRP_{SAT} do Satélite



Cálculo do BO_{OUT} no Enlace de Descida

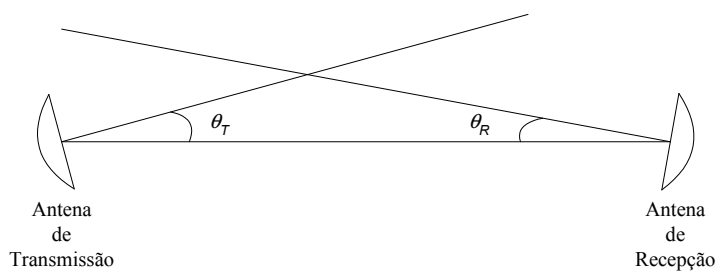
$$BO_{OUT} = 10^{(0,05 \cdot BO_m)} \cdot \frac{\left| K_1 - \frac{1}{2} \cdot K_3 \cdot (\Psi_{SAT} \cdot G_{RX-SAT}) \cdot [9 + 3!(N - 2)] \right|}{\left| K_1 - \frac{1}{2} \cdot K_3 \cdot \frac{(\Psi_{SAT} \cdot G_{RX-SAT})}{10^{(0,1 \cdot BO_m)}} \cdot [9 + 3!(N - 2)] \right|}$$

Atenuações nos Enlaces Via Satélite

Atenuações por Espaço Livre

$$A_e \cong 34,44 + 20 \cdot \log f + 20 \cdot \log d$$

Atenuações por Desapontamento de Antenas



$$A_{A-TX} = 12 \cdot \left(\frac{\theta_T}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

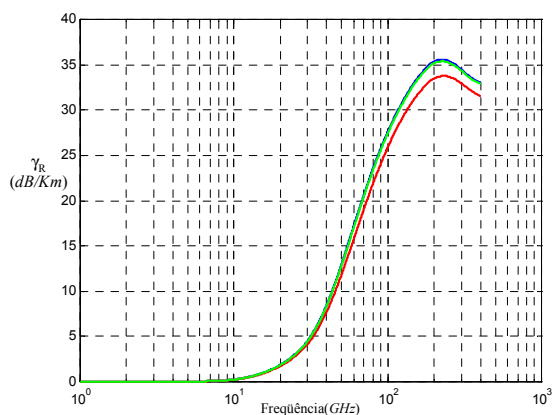
$$A_{A-RX} = 12 \cdot \left(\frac{\theta_R}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

Atenuações por Erros de Polarização.

$$A_{POL} = -20 \cdot \log(\cos \xi)$$

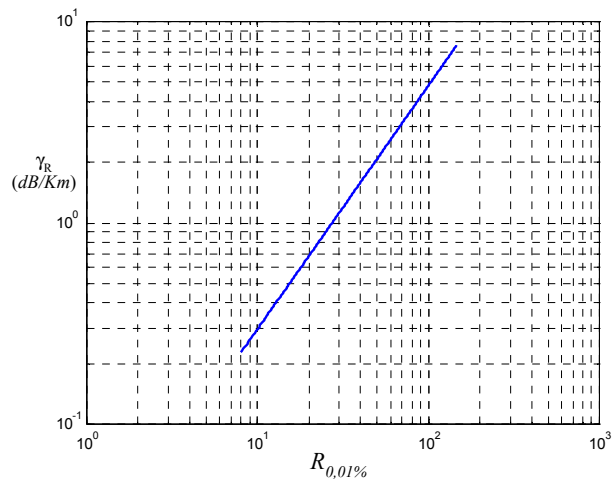
Efeito	Dependência	Frequência.					
		0,1GHZ	0,25GHz	0,5GHz	1GHz	3GHz	10GHz
Rotação de Faraday	$1/f^2$	30 rotações	4,8 rotações	1,2 rotações	108°	12°	1.1°

Atenuação por Chuva



___ Pol. Horizontal, ___ Pol. Vertical, ___ Pol. Circular

Atenuação por Chuva



Atenuação dos Componentes Passivos

