

Introdução à Modulação Multiportadora OFDM

Prof. Dr.: Jair Adriano Lima Silva

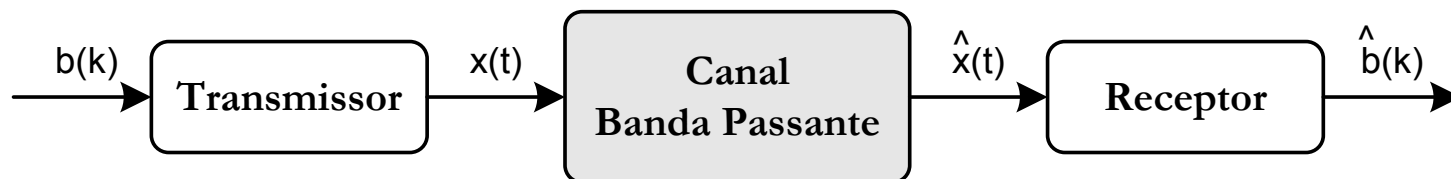


- ◆ 1. Introdução
 - ◆ Contextualização
 - ◆ Motivação
- ◆ 2. Modulação Multiportadora
 - ◆ Transmissão Paralela
 - ◆ Transmissão Uniportadora X Transmissão Multiportadora
 - ◆ Sobreposição Espectral
 - ◆ Modulação via IDFT
 - ◆ **Transmissão OFDM** - Multiplexação por Divisão de Frequências Ortogonais
 - ◆ Intervalo de Guarda - Extensão Cíclica
 - ◆ Vantagens e Desvantagens desta Comunicação Multiportadora
 - ◆ Projeto de Sistemas OFDM
- ◆ 3. Aplicações OFDM
 - ◆ *Wireless*
 - ◆ *Wireline*
- ◆ 4. Conclusão
- ◆ 5. Referências

1. Introdução

1.1. Contextualização

Comunicação Digital – Sistema Convencional



◆ **Seqüência de bits (Adimensional e Independente de Mídia)**

◆ $b(k) \in [0,1] \forall k$

◆ **Sinal Modulado $x(t)$**

◆ Com $R_b = 1/T_b \rightarrow k \cong t$

◆ **Modulação (Sinal tempo Contínuo)**

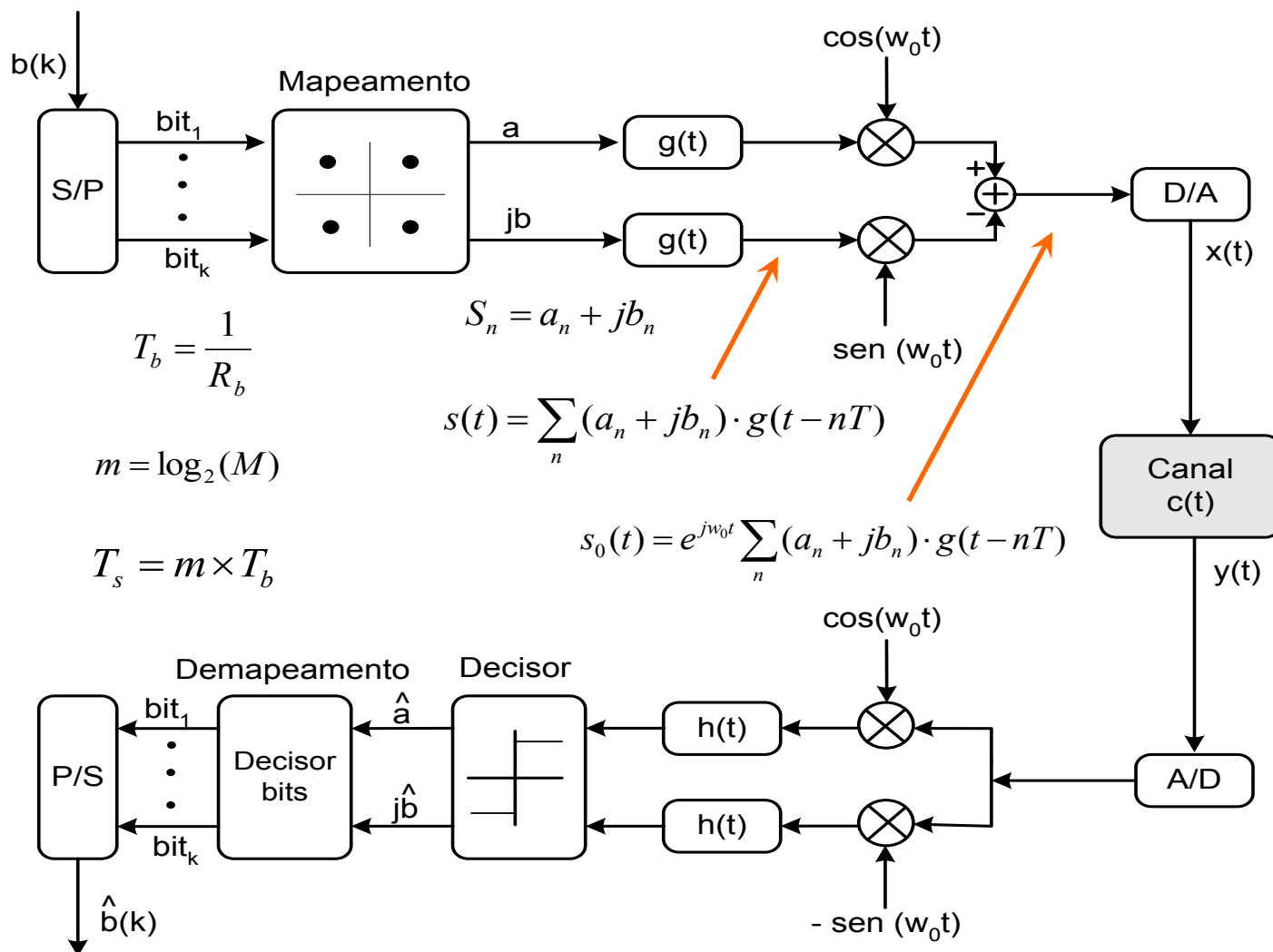
◆ **Mapeamento** – Diagrama de Constelação

◆ **Pulse Shaping** – Envoltória (Filtro de Interpolação ou de Transmissão)

◆ **Upconverter** – Deslocamento em Frequência

1.1. Contextualização

Sistema Portadora Única – Diagrama



1.1. Contextualização

Modulação Sistema Convencional

Mapeamento

Mapeamento de bits em Símbolos a partir de um alfabeto \mathcal{A} de $M = 2^m$ níveis equiprováveis e equiespaçados, com média zero, para m a qtd de bits por símbolo.

$$\mathcal{A} = \{-A(M-1), \dots, -A, A, \dots, A(M-1)\}$$

$A - \text{const.}$

◆ **PSK** (Phase Shift Keying)
M-PSK

BPSK (Binary Phase Shift Keying)
2-PSK

QPSK (Quarternary Phase Shift Keying)
4-PSK

8-PSK

◆ **QAM** (Quadrature Amplitude Modulation)
M-QAM

4-QAM

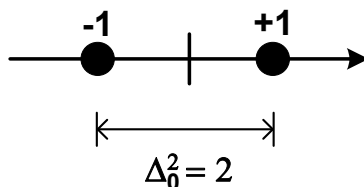
16-QAM

1.1. Contextualização

Modulação Sistema Convencional Mapeamento – Diagrama de Constelação

Código Gray

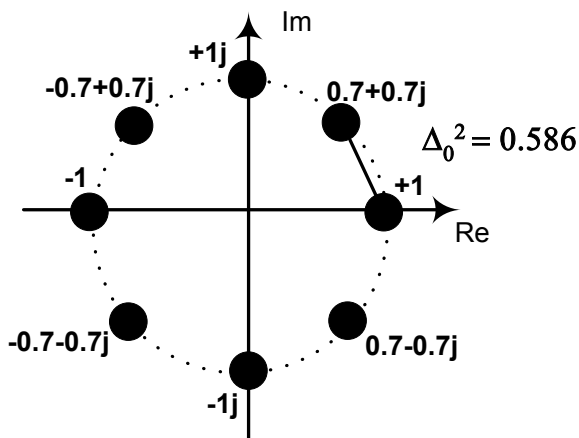
2-PSK



bit	Símbolo
0	-1
1	+1

Δ_0 - Mínima Distância Euclidiana

8-PSK



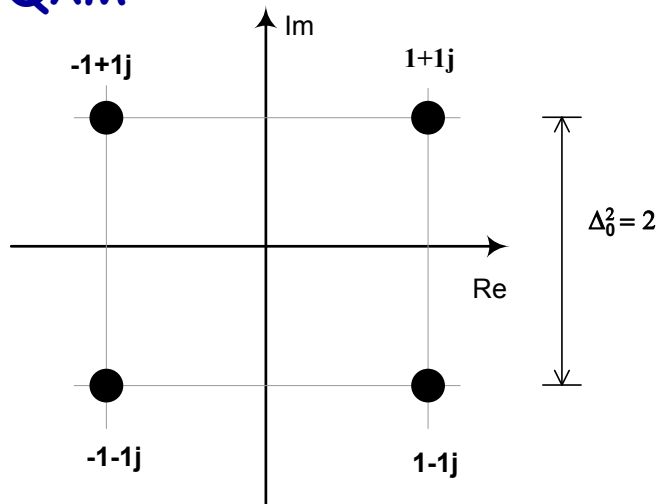
$E_s = 1$
Raio Unitário

bits	Símbolo
000	+1
001	$0.7071+j0.7071$
011	+j1
010	$-0.7071+j0.7071$
110	-1
111	$-0.7071-j0.7071$
101	-j1
100	$0.7071-j0.7071$

1.1. Contextualização

Modulação Sistema Convencional Mapeamento – Diagrama de Constelação

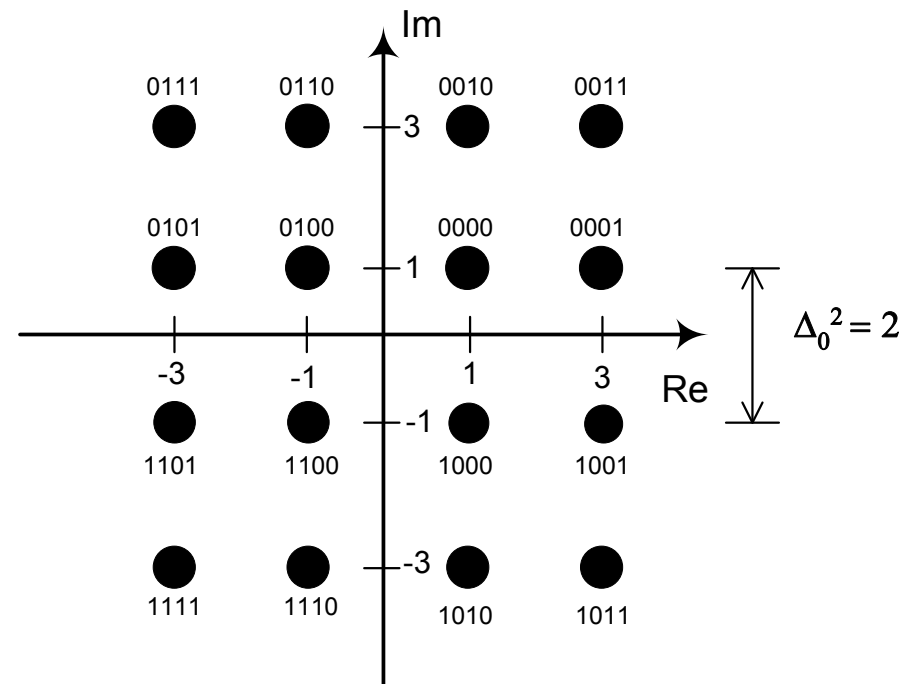
4-QAM



bit	Símbolo
00	1+1j
01	-1+1j
11	-1-1j
10	+1-1j

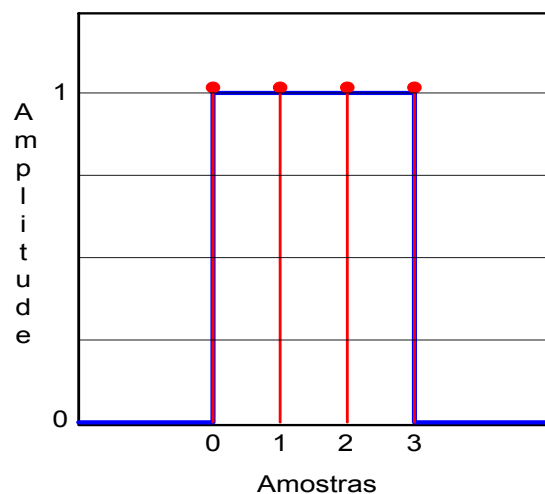
Código Gray

16-QAM



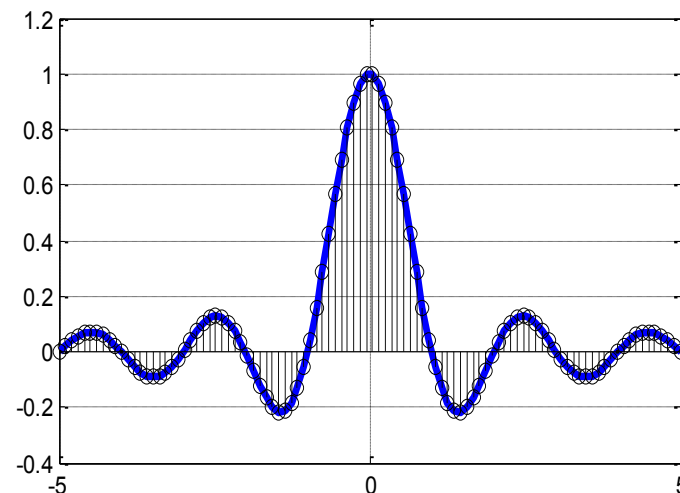
1.1. Contextualização

Modulação Sistema Convencional Enjanelamento - Filtro Transmissão



Pulso Retangular

Transformada
Fourier



Superamostragem $w = 4$

◆ Para Transmissão sem distorção e para maximizar a SNR:

◆ 1º Critério de Nyquist $g(t) * h(t) = 1$

◆ Condição de Filtros Casados $h(t) = k \cdot g(t)$

1.1. Contextualização

Projeto de Sistema Uniportadora

Taxa de transmissão 4 Mbps, Modulação 4-PSK (QPSK), Filtro retangular e Frequência Central igual a 3 MHz...!

Projeto

$$R_b = 4 \times 10^6 \Rightarrow T_b = \frac{1}{R_b} = 0.25 \mu s$$

$$M = 4 \Rightarrow m = \log_2(M) = 2$$

$$B = \frac{R_b}{m} (1 + \alpha) = 2 \text{ MHz}$$

$$T_s = m \times T_b = 2 \times 0.25 = 0.5 \mu s$$

$$R_s = \frac{1}{T_s} = 2 \text{ Msps}$$

$$f_a \geq 2 \times \left(\frac{1}{T_s} \right) \geq 2 \times B = 4 \text{ M sample/s}$$

$$F_a = 2 \times \left(F_c + \frac{B}{2} \right) = 8 \text{ M sample/s}$$

$$w = \frac{F_a}{f_a} = 4$$

Parâmetros

R_b	Taxa de Transmissão (bps)
T_b	Tempo de Bit (s)
M	Ordem da Constelação
m	Bits por Símbolo
T_s	Duração do Símbolo
R_s	Taxa de Sinalização
f_a	Taxa de Amostragem
F_c	Frequência Central
F_a	Nova Taxa de Amostragem
w	Fator de Reamostragem

Em um Canal AWG com SNR = 10 dB :

$$\text{SNR} = \frac{E_s}{N_0} \Rightarrow \frac{E_b}{N_0} = \frac{E_s}{N_0} - 10 \times \log_{10}(m) + 10 \times \log_{10}(w) \approx 13 \text{ dB}$$

1.1. Contextualização

Sistema Portadora Única – Aplicação

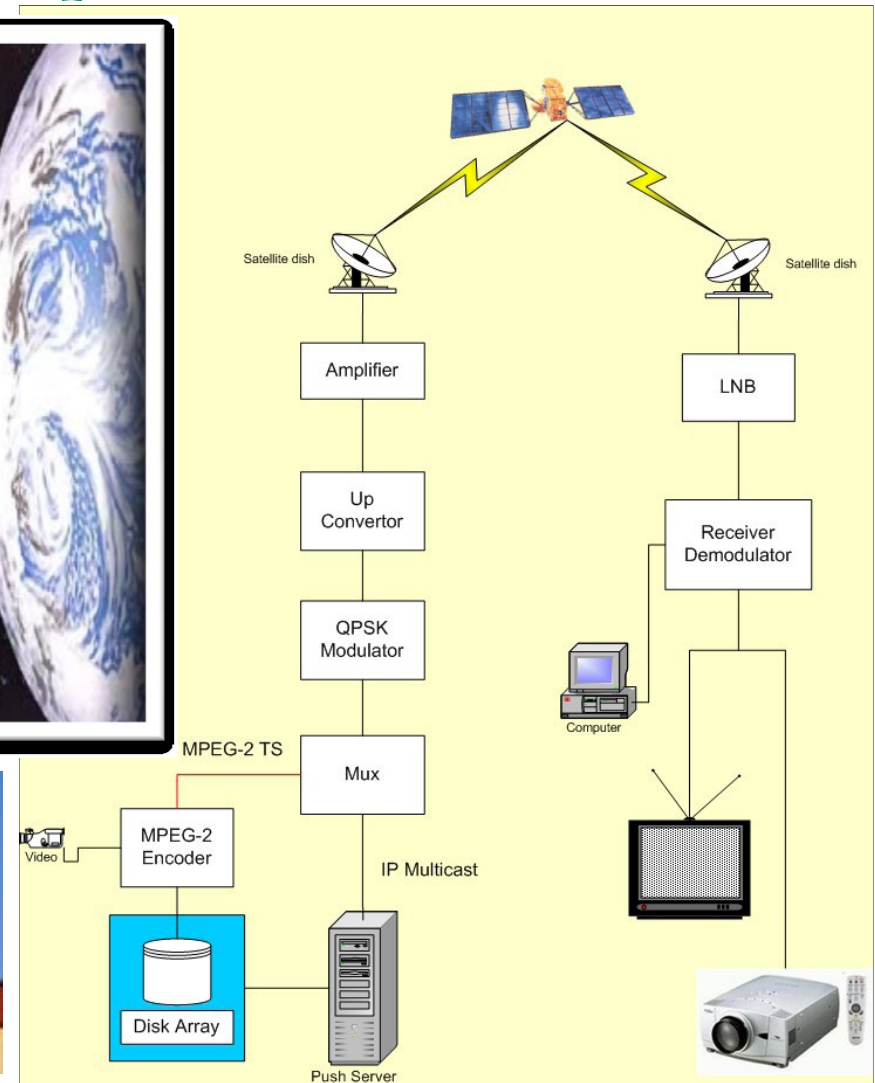
DVB-S

Rádiodifusão Digital de
Sinal de Vídeo via Satélite

$$R_b \approx 38\text{Mbps}$$

$$M = 4 \Rightarrow \text{QPSK}$$

$$B \approx 2\text{GHz}$$

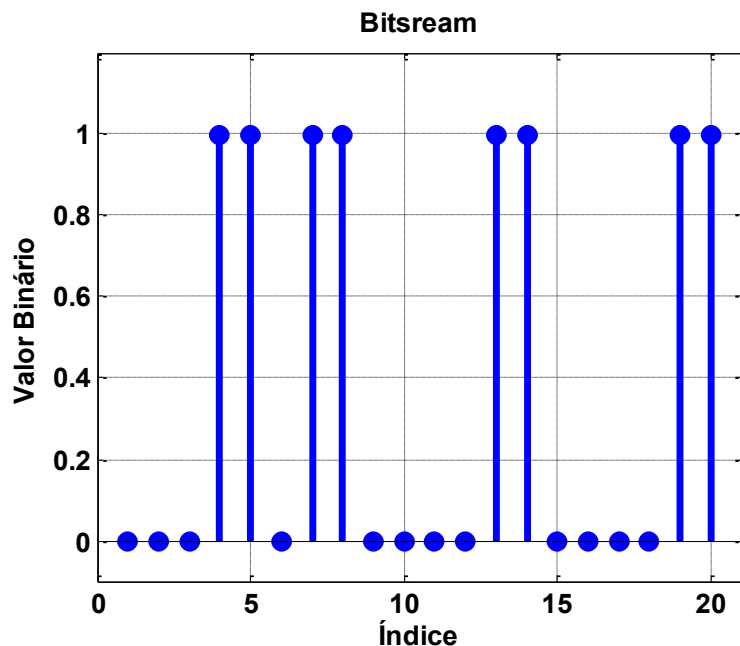


1.1. Contextualização

Sistema Uniportadora - Simulação em Matlab

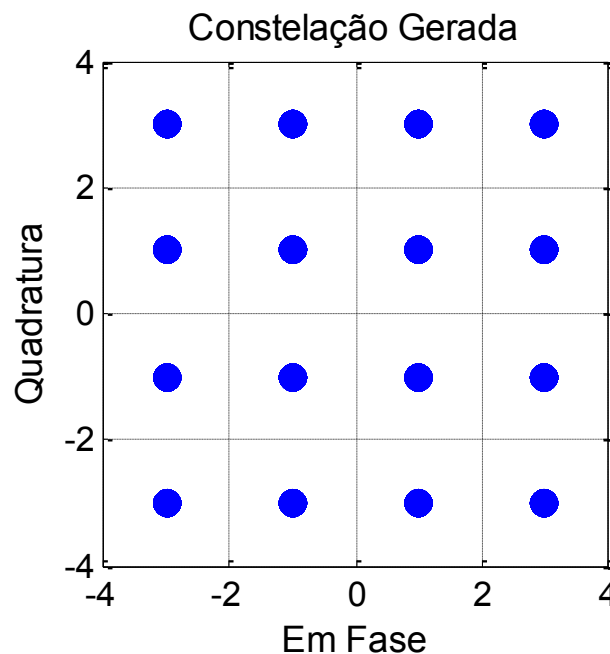
◆ Seqüência de Bits $b(k)$

00011011000011000011,...



◆ Diagrama de Constelação

16-QAM

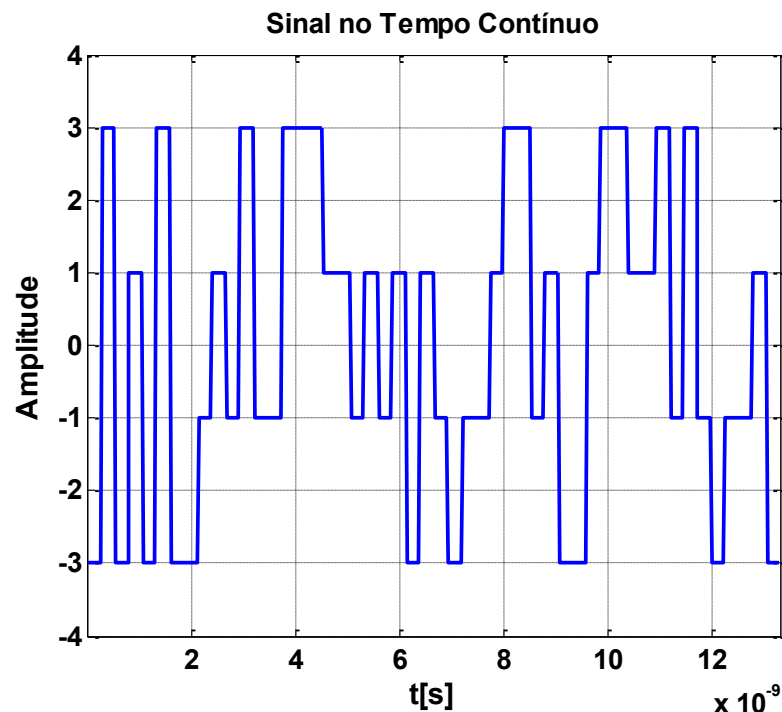


1.1. Contextualização

Sistema Uniportadora - Simulação em Matlab

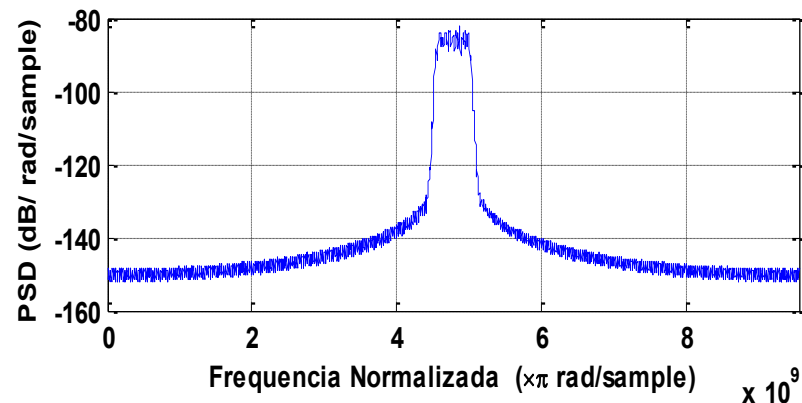
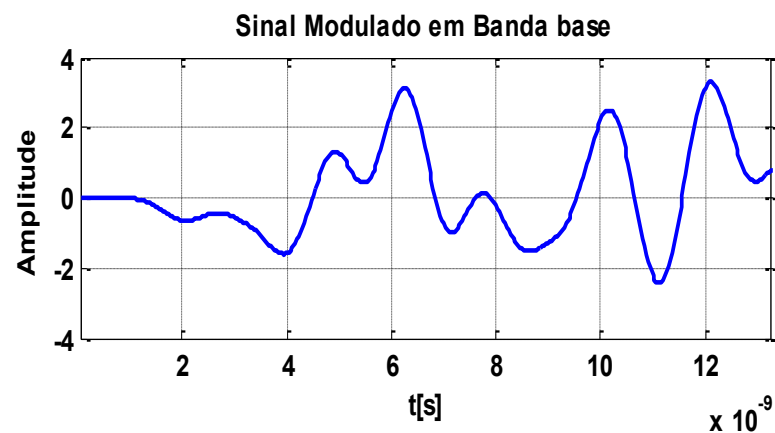
◆ Pulse Shaping

Superamostragem e janela Retangular



◆ Sinal Modulado (Banda Base)

& Densidade Espectral Potência

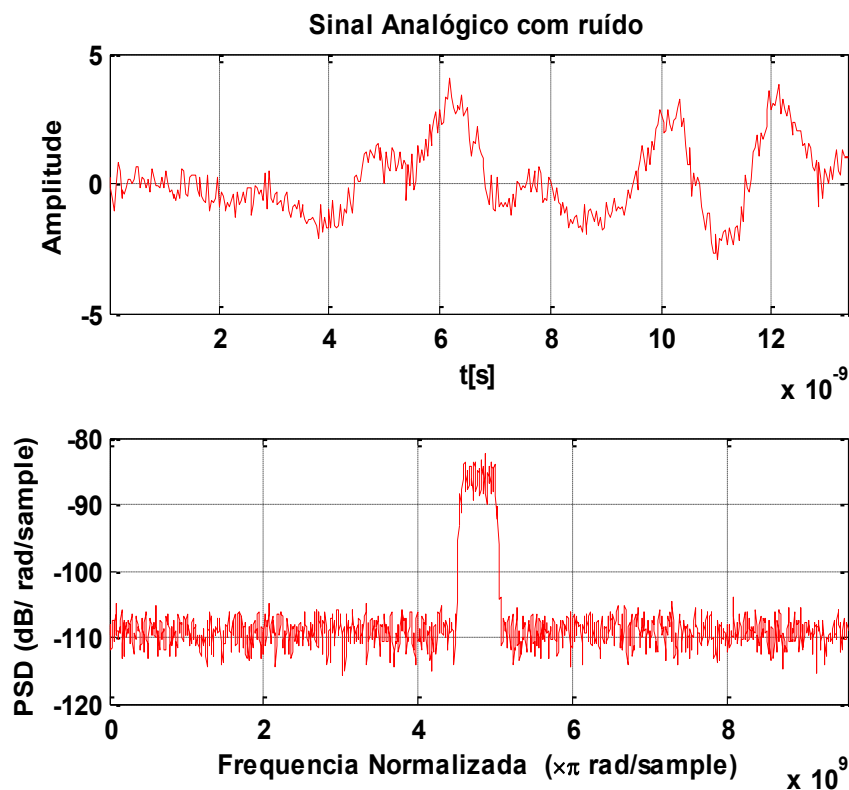


1.1. Contextualização

Sistema Uniportadora - Simulação em Matlab

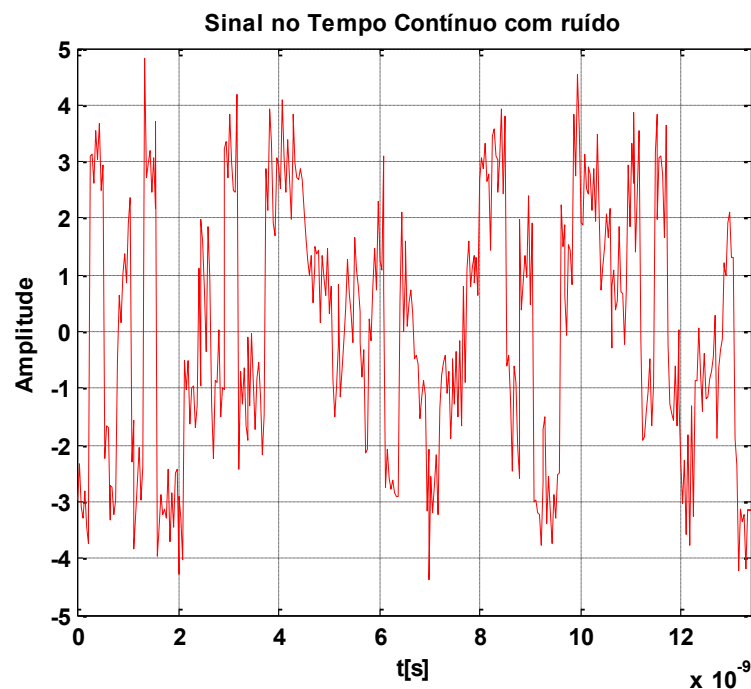
◆ Sinal Recebido (Banda Base)

Densidade Espectral Potência



◆ Decisor

Subamostragem e janela Retangular



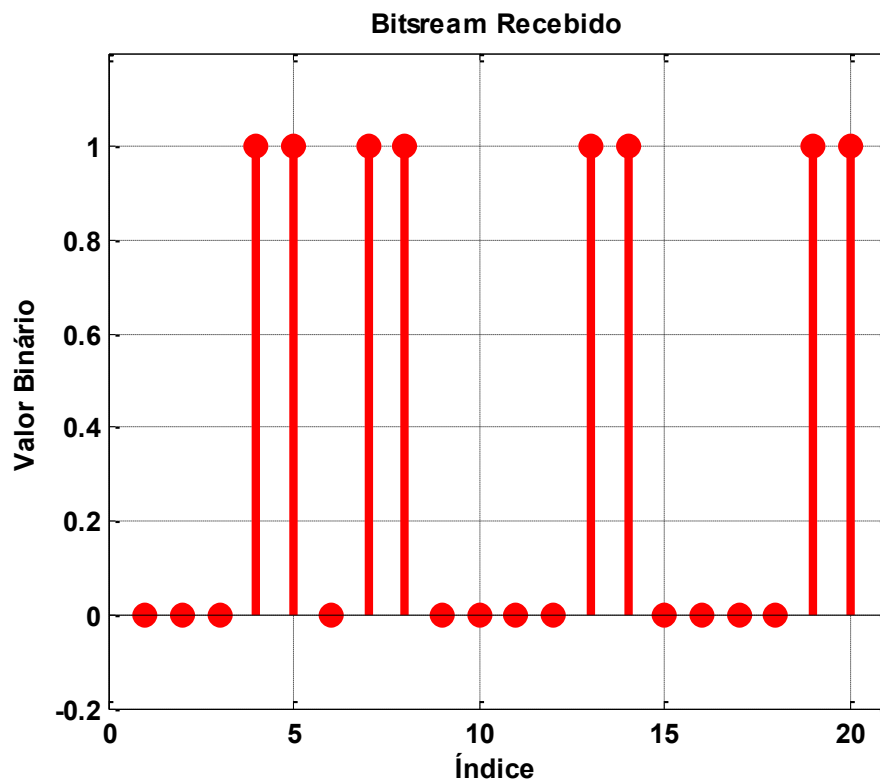
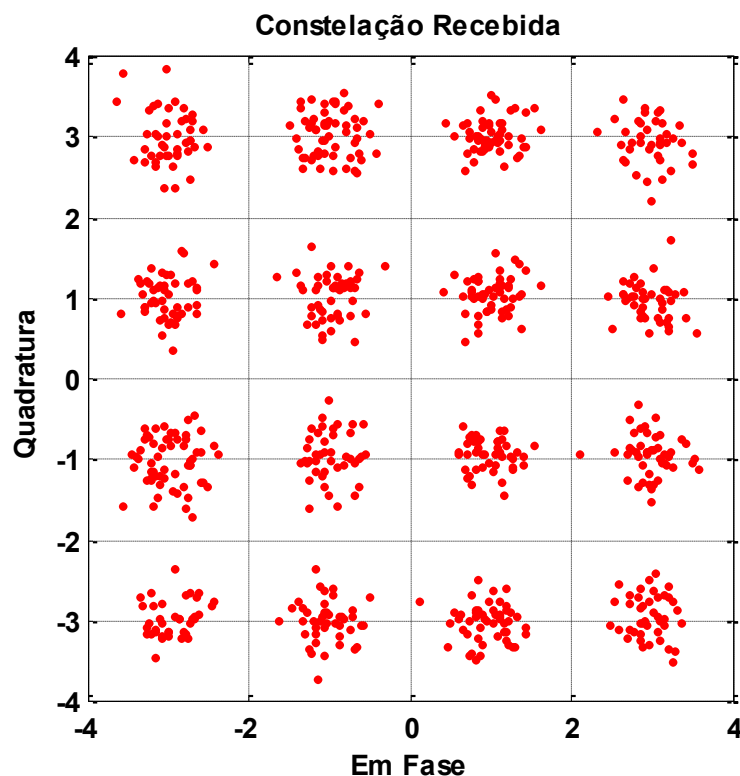
1.1. Contextualização

Sistema Uniportadora - Simulação em Matlab

◆ Diagrama de Constelação Recebida

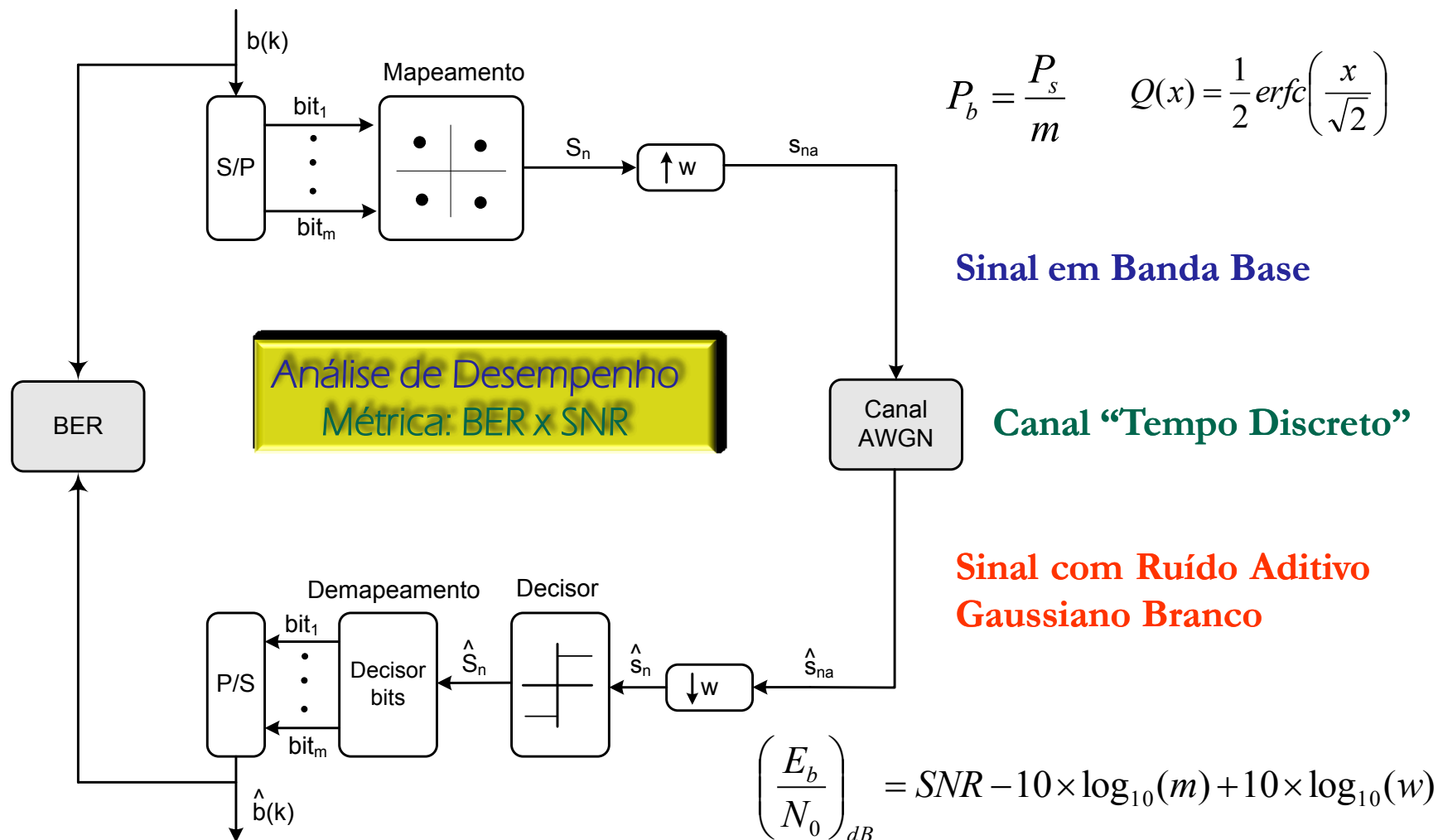
◆ Seqüência de Bits $\hat{b}(k)$

00011011000011000011,...



1.1. Contextualização

Sistema Uniportadora - Simulação em Matlab



1.1. Contextualização

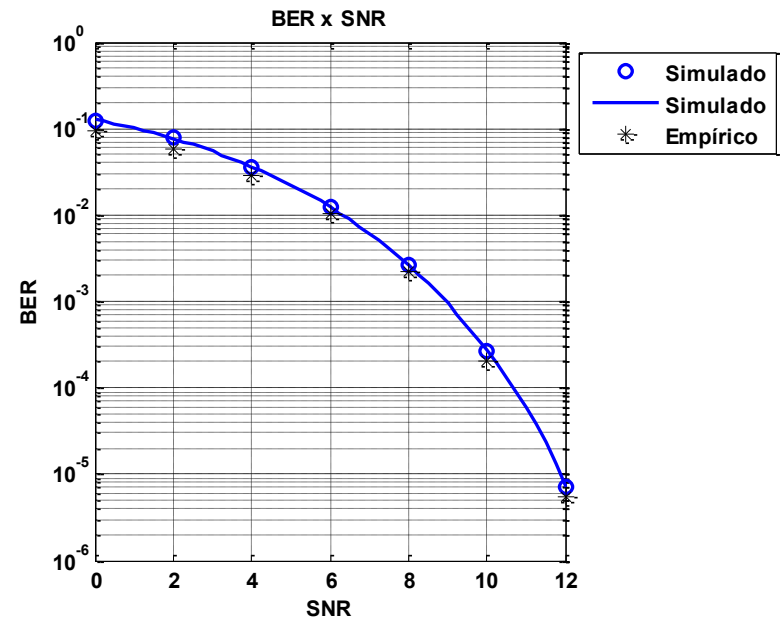
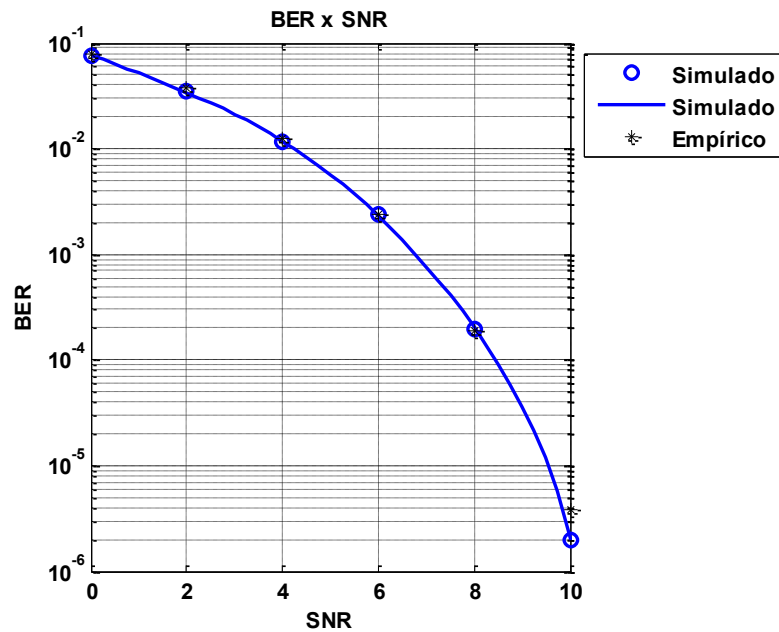
Sistema Uniportadora - Simulação em Matlab

BPSK

$$P_s \approx Q(\sqrt{2 \cdot SNR})$$

8PSK

$$P_s \approx 2Q\left[\sqrt{2 \cdot m \cdot SNR} \times \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right]$$



1.1. Contextualização

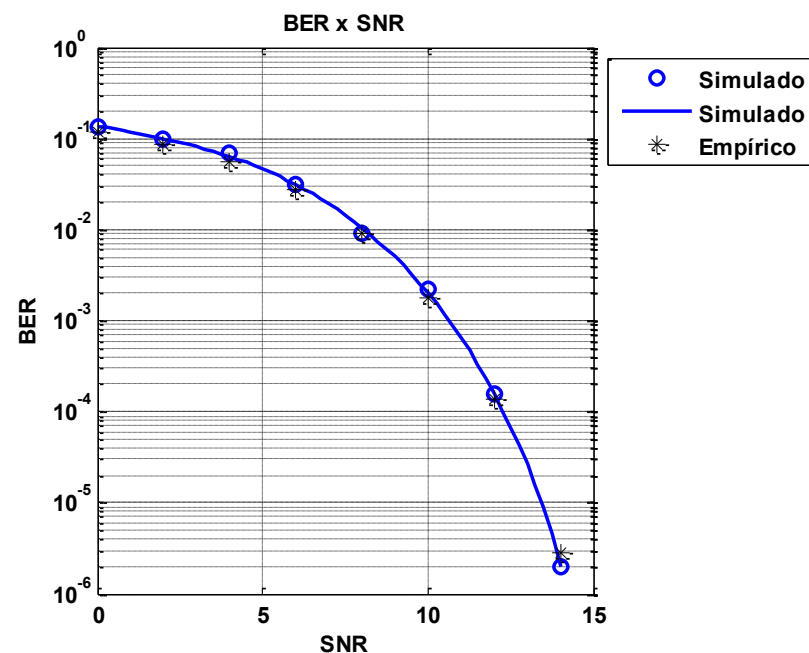
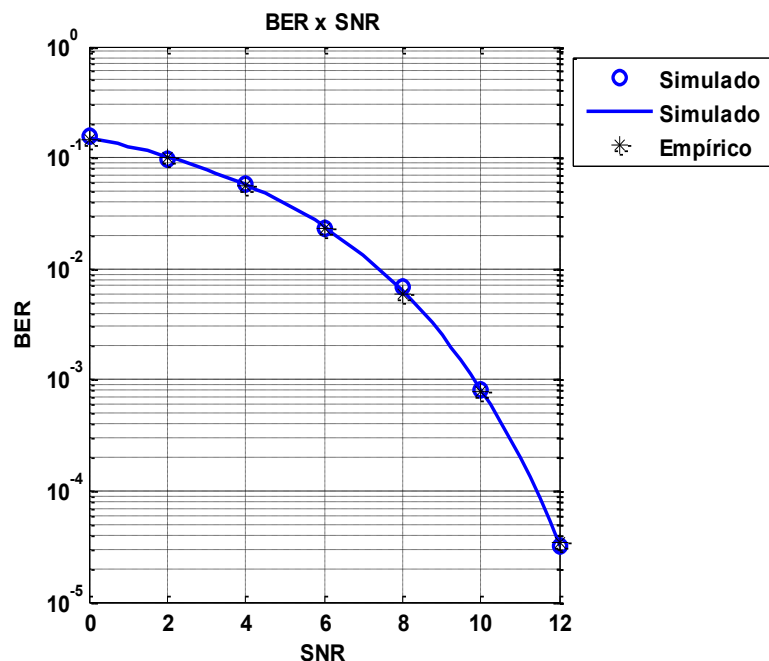
Sistema Uniportadora - Simulação em Matlab

4-QAM

$$P_s \approx 1 - \left[1 - \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M}} Q \left(\sqrt{\frac{3 \cdot m \cdot SNR}{M - 1}} \right) \right]^2$$

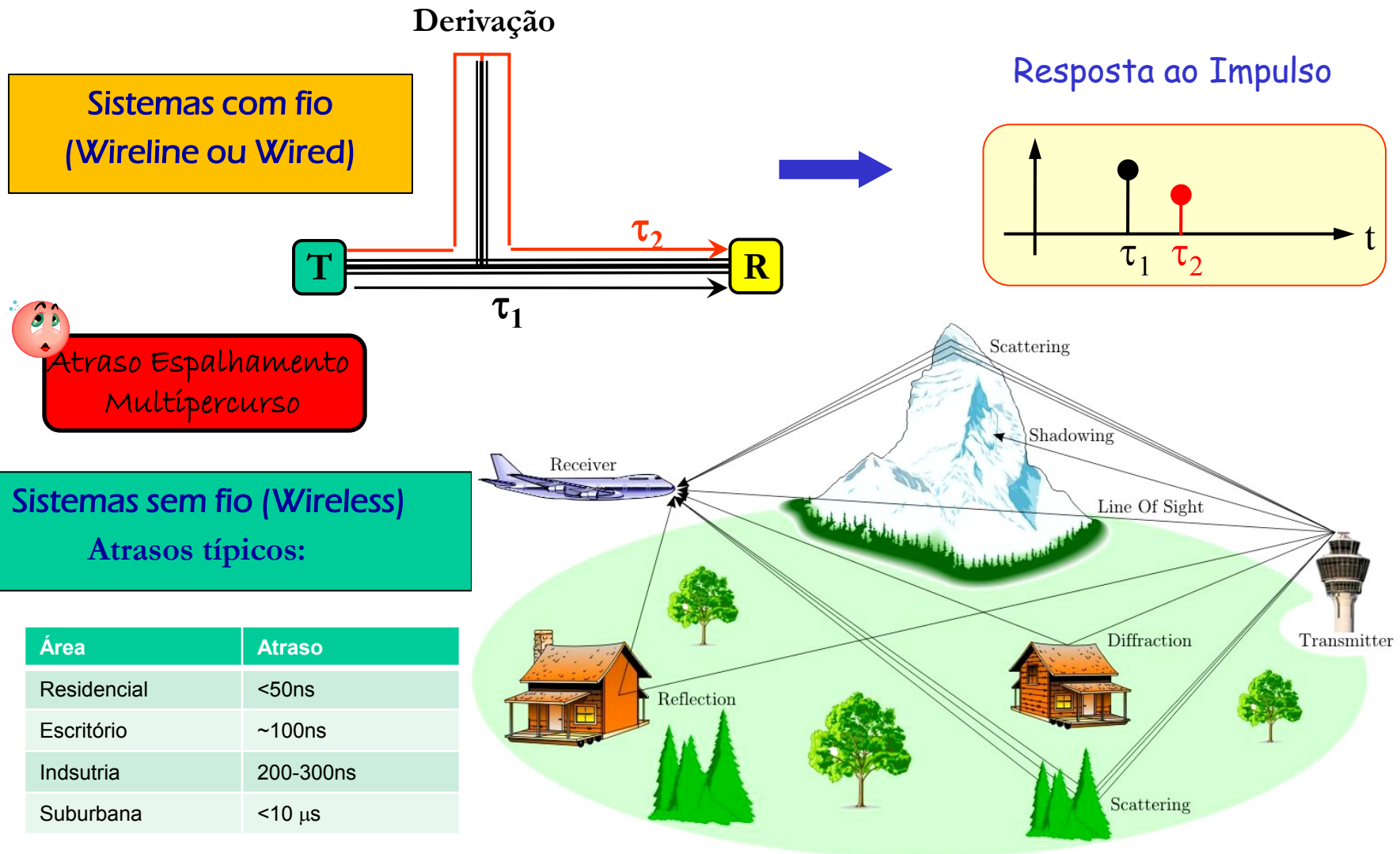
16-QAM

$$P_s \approx 1 - \left[1 - \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M}} Q \left(\sqrt{\frac{3 \cdot m \cdot SNR}{M - 1}} \right) \right]^2$$



1.2. Motivação

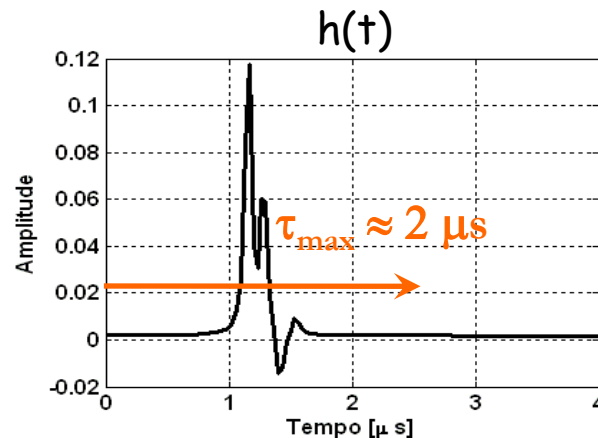
Transmissão em Canais Multipercurso



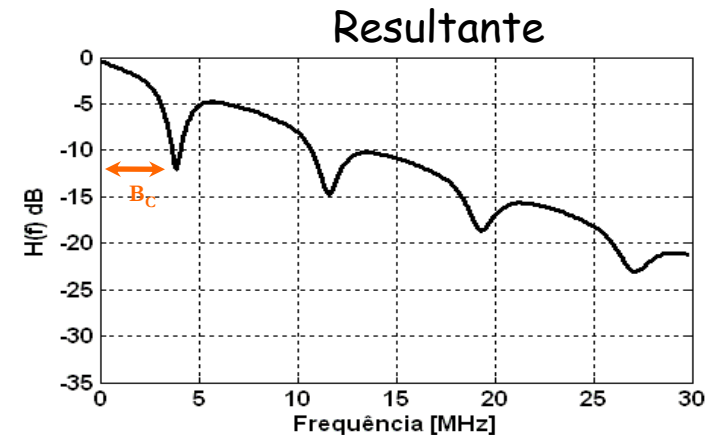
1.2. Motivação



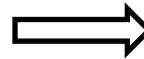
Transmissão com Multipercurso - Questionamento



FFT



Sistema de transmissão a 4 Mbps,
Modulação 4-PSK (QPSK), $M = 4$,
 $m = 2$, $T_s = 0.5 \mu\text{s}$ e $B = 2\text{MHz}$



ISI - Atraso Espalhamento

$$\tau_{\max} > T_s$$

Seletividade em Frequência

$$B_c \approx B$$



Sistema Inadequado para Comunicação em
canais com Multicaminhos

2. Modulação Multiportadora

2.1. Idéia Básica – Transmissão Paralela

Os Sistemas de Modulação Multiportadora dividem a seqüência de dados em N subseqüências paralelamente moduladas em igual número de portadoras, as quais são simultaneamente transmitidas em N subcanais.

$$T_N = N \times T_s$$

&

$$B_N = \frac{B}{N}$$

Combate a ISI

$$T_N \approx \frac{1}{B_N}$$

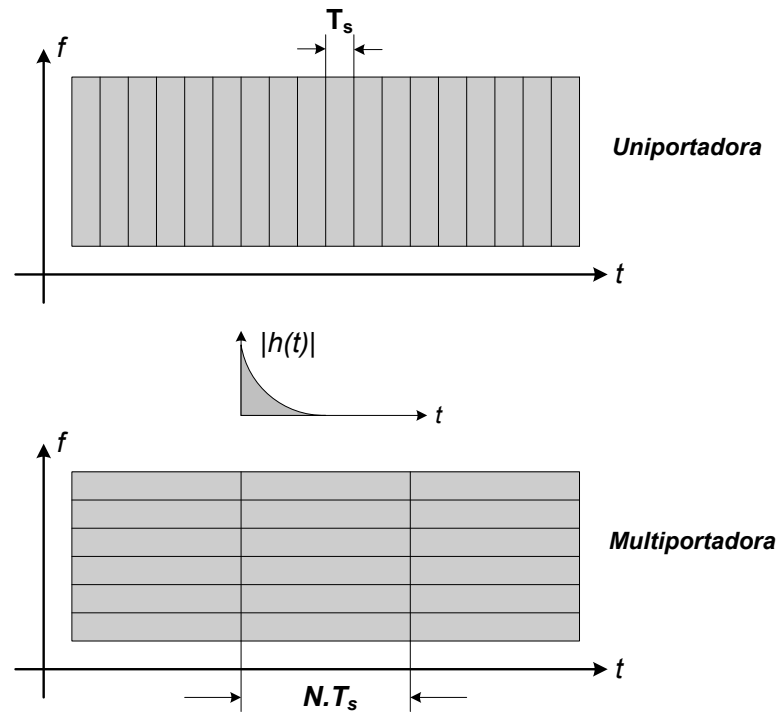
Combate a Seletividade em
Frequência e Reduz a
Complexidade de Equalizadores

$$T_N \gg \tau_{\max}$$

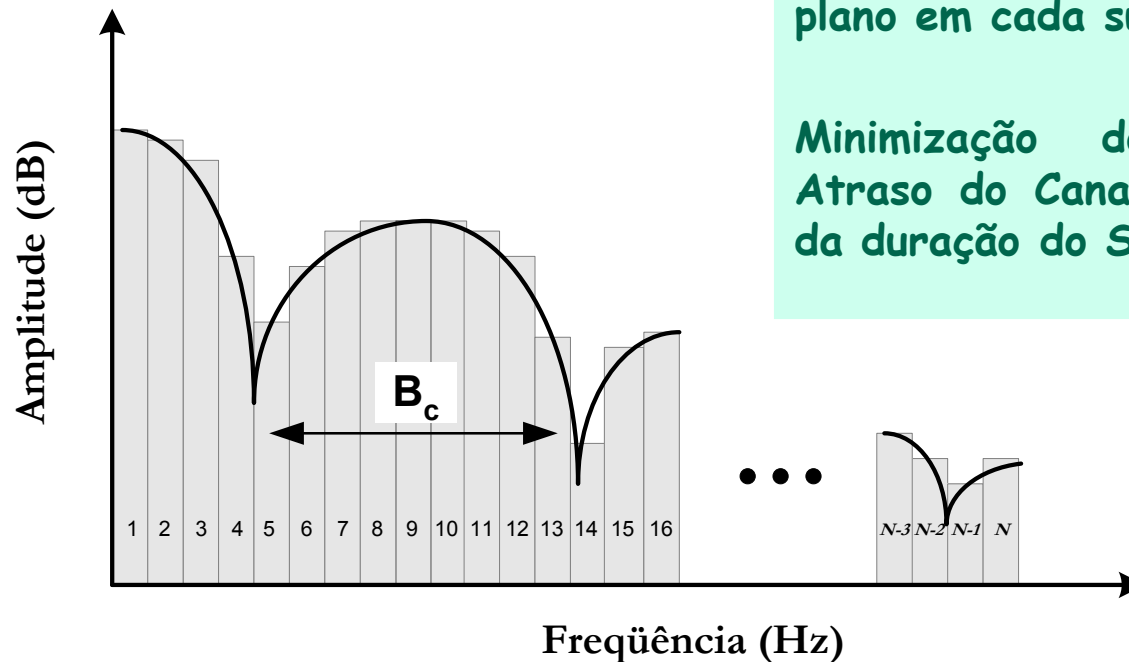
$$B_c \approx \frac{1}{\tau_{\max}}$$

$$B_N < B_c$$

2.1. Idéia Básica – Transmissão Paralela



2.1. Idéia Básica – Transmissão Paralela

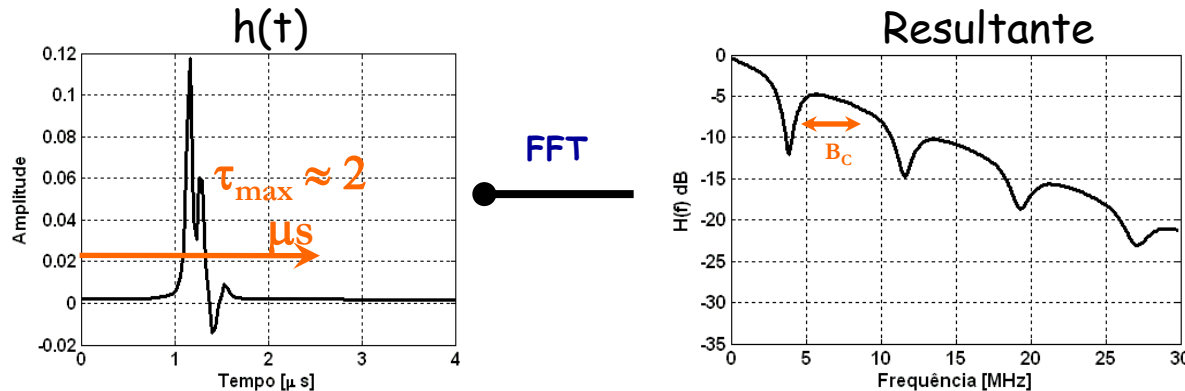


“Fading” Multipercurso quase plano em cada subcanal.



Minimização dos efeitos de Atraso do Canal com o aumento da duração do Símbolo

2.1. Idéia Básica – Melhorias com a Transmissão Paralela



Sistema Uniportadora

Sistema de transmissão a 4 Mbps,
Modulação 4-PSK (QPSK), $M = 4$,
 $m = 2$, $T_s = 0.5 \mu s$ e $B = 2 MHz$

Sistema Multiportadora



Com $N = 100$:

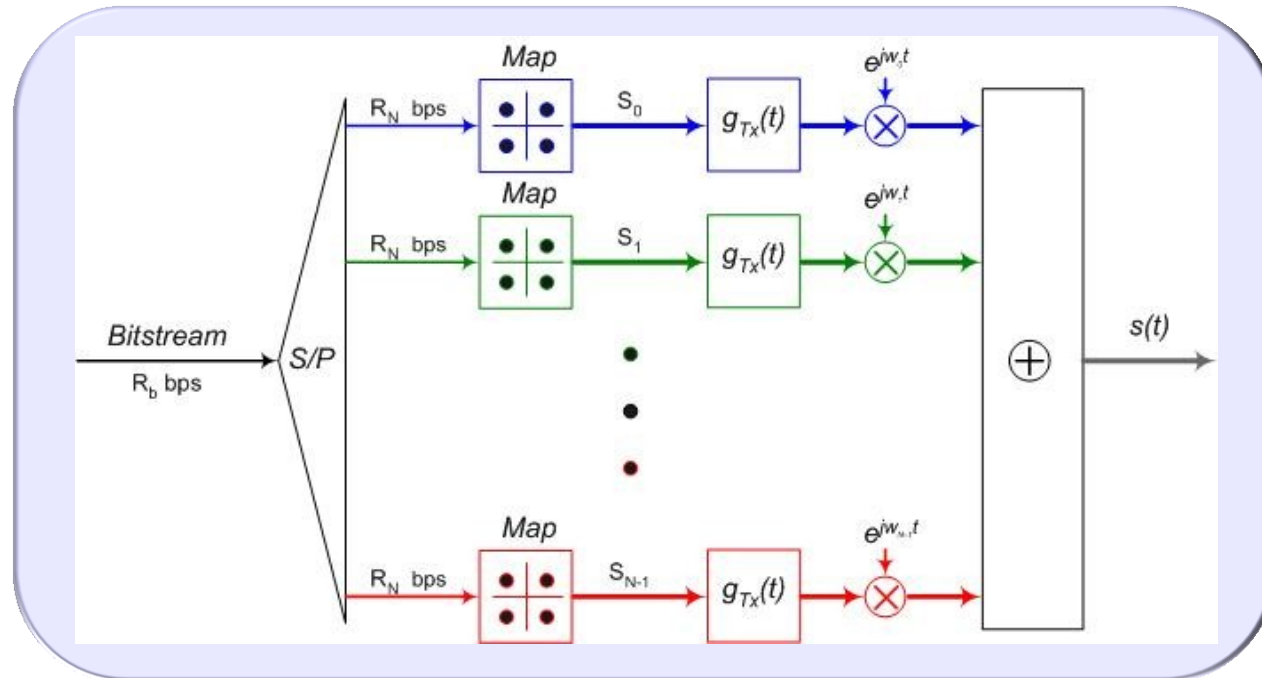
$$T_N = N \times T_s = 100 \times 0,5 \mu s = 50 \mu s > \tau_{max} = 2 \mu s$$

$$B_N = \frac{B}{N} = \frac{2 MHz}{100} = 20 KHz < B_c \approx 3 MHz$$

$$R_N = \frac{R_b}{N} = \frac{4 Mbps}{100} = 40 Kbps$$

$$R_s = \frac{40 kbps}{2} = 20 Kbps$$

2.2. Modelo de Transmissão Multiportadora

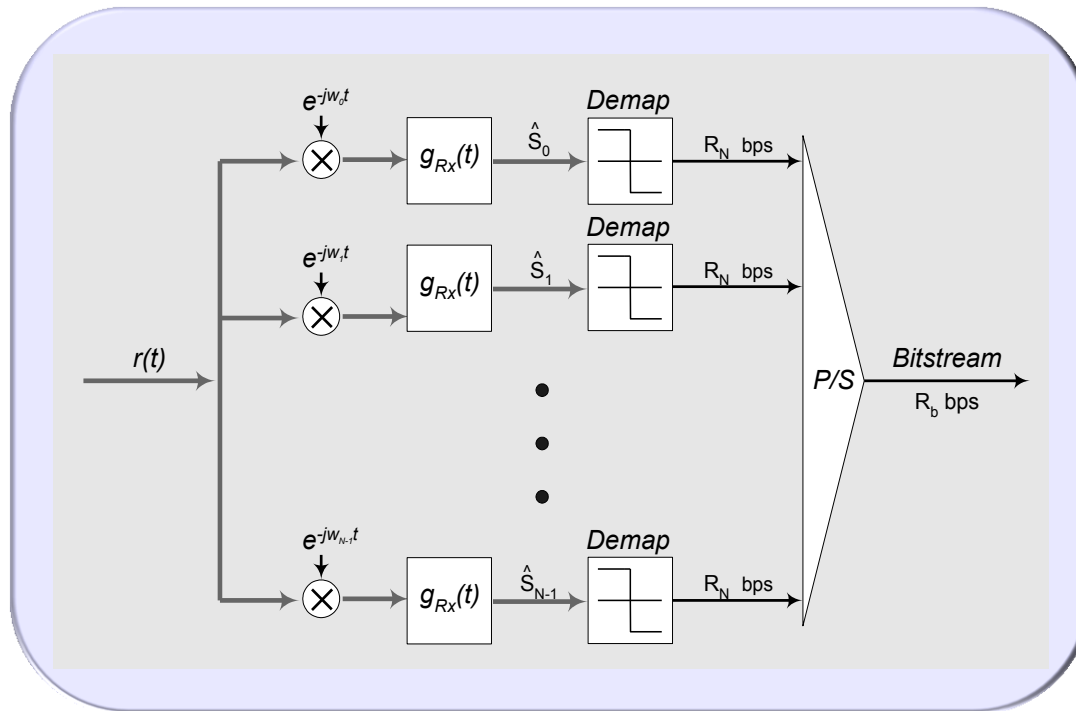


- ◆ N sistemas Uniportadoras
- ◆ $R_N = R_b/N$
- ◆ Constelações de $M = 2^m$ símbolos
 - ◆ m bits
 - ◆ Símbolos $s_i = a_i + jb_i$

$$s(t) = \sum_{i=0}^{N-1} S_i \cdot g_{Tx}(t) \cdot e^{jw_i t}$$

$$w_i = 2\pi f_i \quad f_i = i(B_N)$$

2.3. Modelo de Recepção Multiportadora



$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \int_0^{T_N} e^{-j2\pi f_i t} \times s_j \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \int_0^{T_N} e^{-j2\pi f_i t} \times \left(\sum_{j=0}^{N-1} s_j \cdot e^{j2\pi f_j t} \right) \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \sum_{j=0}^{N-1} s_j \int_0^{T_N} e^{-j2\pi f_i t} \times e^{j2\pi f_j t} \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \sum_{j=0}^{N-1} s_j \int_0^{T_N} e^{-j2\pi (f_i - f_j) t} \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \sum_{j=0}^{N-1} s_j \int_0^{T_N} 1 \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot T_N \sum_{j=0}^{N-1} s_j$$

$$\hat{s}_i = s_i$$

Dificuldades:

- Bloco de N Moduladores/Demoduladores
- N Filtros de Nyquist em Banda Passante (Transmissão/Recepção)

2.3. Modelo de Recepção Multiportadora

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \int_0^{T_N} e^{-j2\pi f_i t} \times s_j \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \int_0^{T_N} e^{-j2\pi f_i t} \times \left(\sum_{j=0}^{N-1} s_j \cdot e^{j2\pi f_j t} \right) \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \sum_{j=0}^{N-1} s_j \int_0^{T_N} e^{-j2\pi f_i t} \times e^{j2\pi f_j t} \cdot dt$$

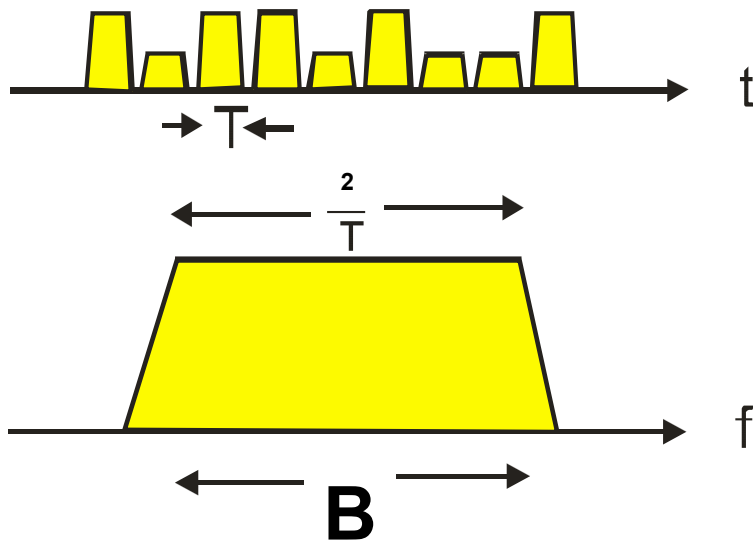
$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \sum_{j=0}^{N-1} s_j \int_0^{T_N} e^{-j2\pi (f_i - f_j) t} \cdot dt$$

$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot \sum_{j=0}^{N-1} s_j \int_0^{T_N} 1 \cdot dt$$

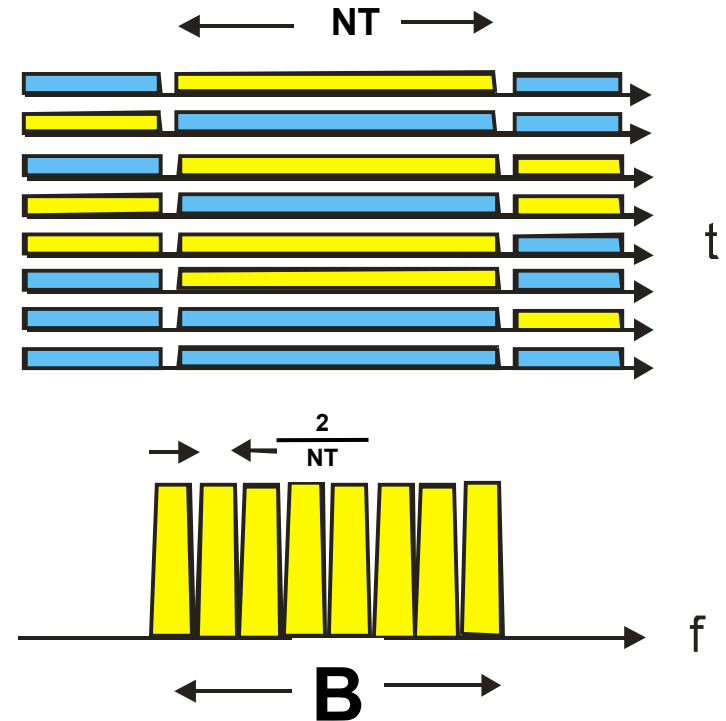
$$\hat{s}_i = \frac{1}{T_N} \cdot T_N \sum_{j=0}^{N-1} s_j$$

$$\hat{s}_i = s_i$$

2.4. Modulação Uniportadora X Modulação Multiportadora



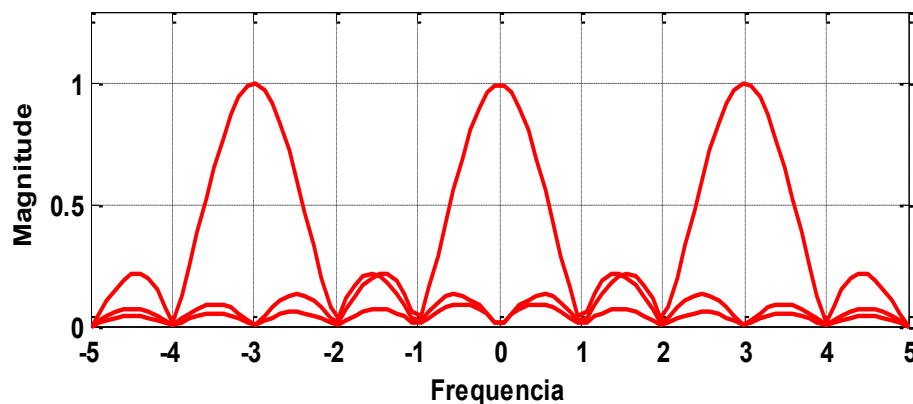
Transmissão Sequencial de Sinais de Curta duração e Espectro Largo



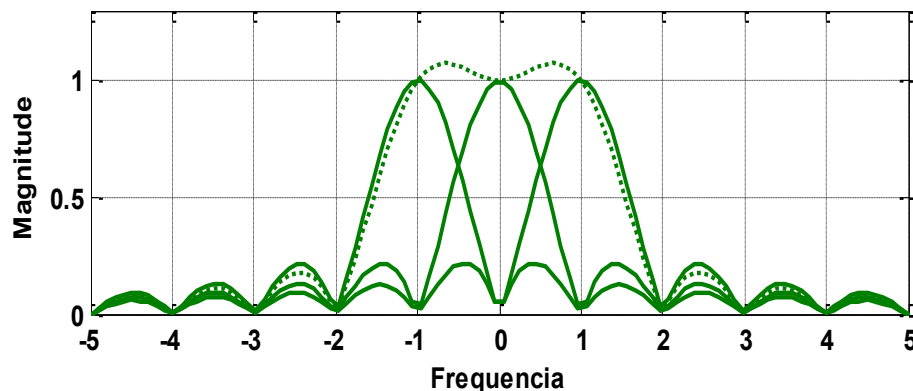
Transmissão paralela de sinais de Longa duração e Espectro Estreito

2.5. Sobreposição Espectral

FDM

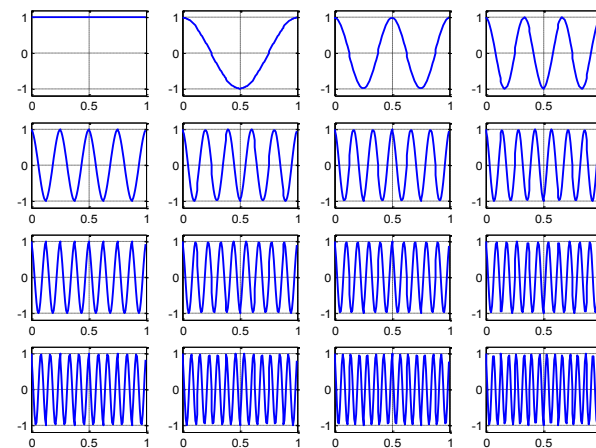


OFDM



- Economia de Espectro
- Manutenção da Ortogonalidade
 - $\Delta_f = 1/T_N$ (Frequência)
 - No inteiro de ciclos (Tempo)
- Banco de Filtros

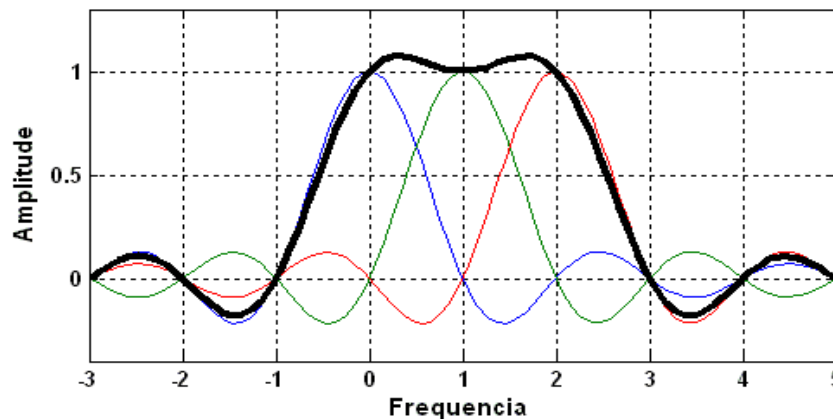
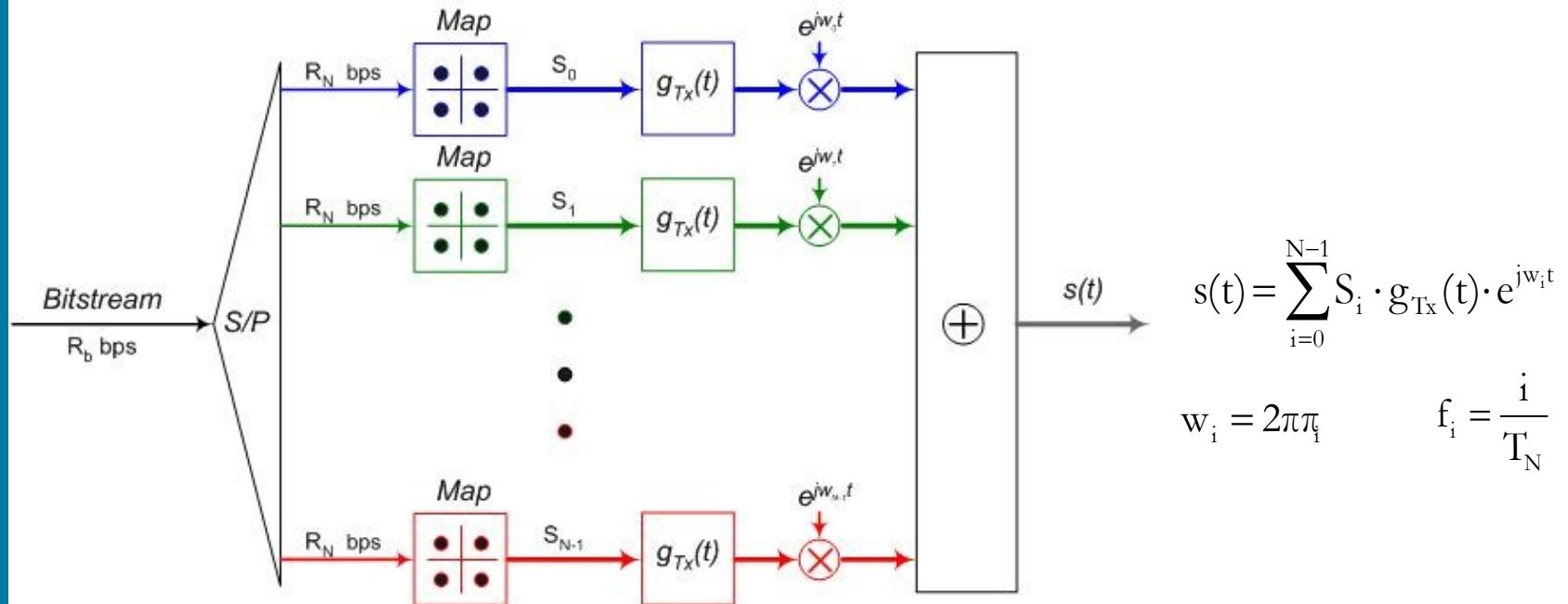
$$\langle g_k(t), g_i(t) \rangle_{T_s} = \int_{T_s} g_k(t) g_i^*(t) dt = T_s \delta(k-i) \quad \text{💡}$$



R. W. Chang, "Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannel data transmission," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 45, pp. 1775-1796, Dec. 1966.

CHANG, R. W.; GIBBY, R. A. [A theoretical study of performance of an orthogonal multiplexing data transmission scheme](#). *IEEE Trans. Commun. Technol.*, COM-16, p.529-540, Agosto 1968.

2.5. Sistema Multiportadora com Espectro Sobreposto



- ◆ N Sistemas Uniportadoras
 - ◆ $R_N = R_b/N$
- ◆ N Subportadoras Espaçadas de
 - ◆ $\Delta_f = 1/T_N$
- ◆ Constelações de $M = 2^m$ símbolos
 - ◆ m bits
 - ◆ Sub-Símbolos $S_i = a_i + jb_i$

2.6. Modulação via IDFT

Fazendo :

$$g_{Tx}(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_N}\right) = 1$$

e Amostrando t fazendo :

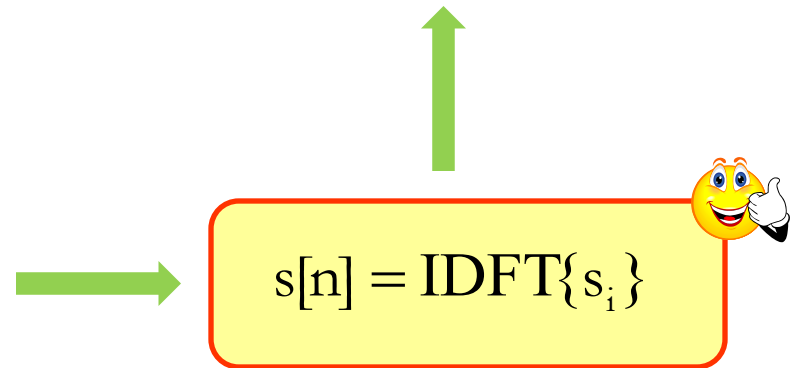
$$t = n \frac{T_N}{N} \quad \text{para } 0 < t < T_N$$

têm - se :

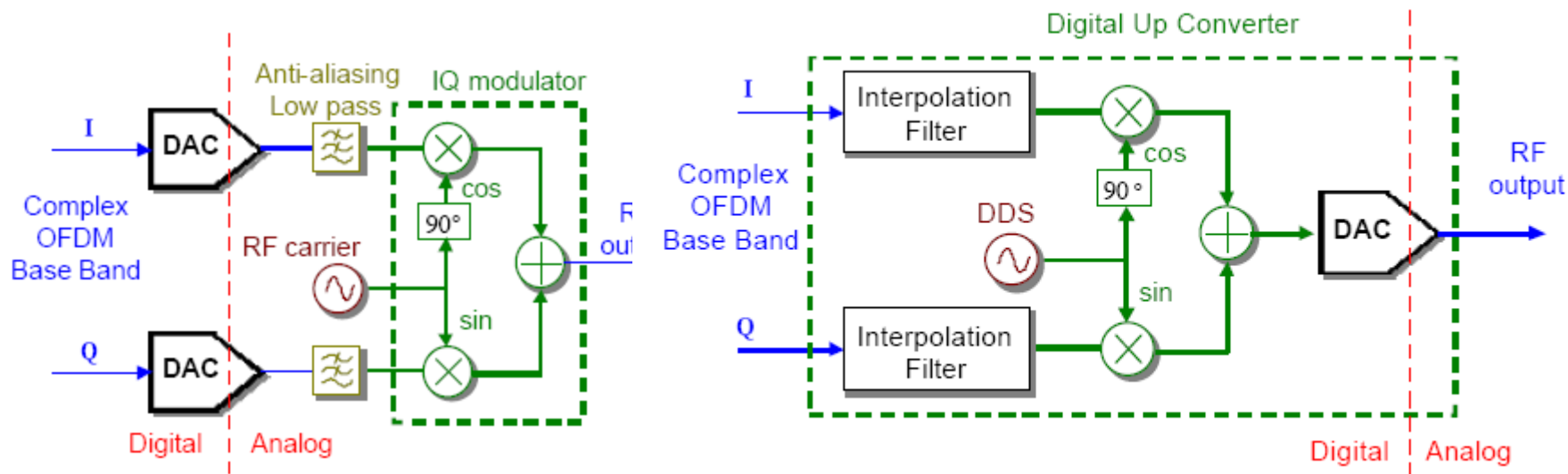
$$s[n] = \sum_{i=0}^{N-1} S_i \cdot e^{j2\pi \frac{i}{T_N} n \frac{T_N}{N}} = \sum_{i=0}^{N-1} S_i \cdot e^{j2\pi \frac{ni}{N}}$$

para $0 \leq n \leq N$

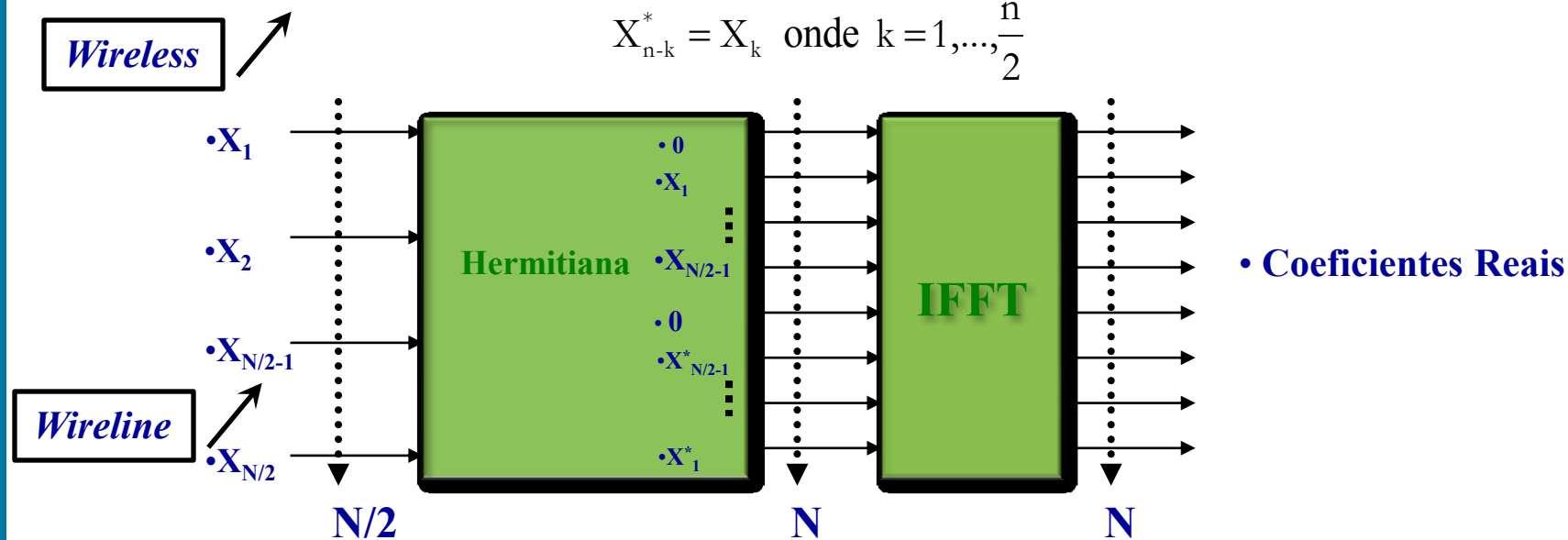
A Saída da IFFT é portanto um
Sinal OFDM Modulado com
Coeficientes Complexos



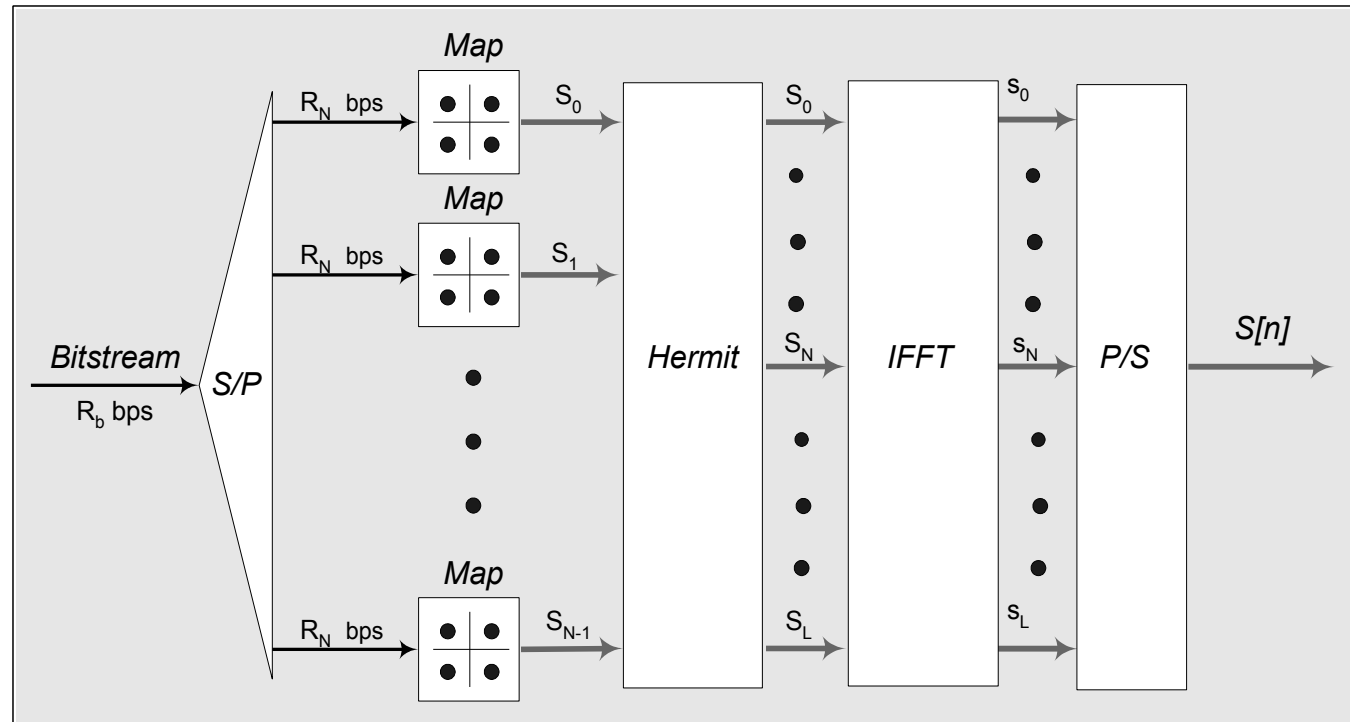
2.6. Modulação via IDFT – Simetria Hermitiana



$$X_{n-k}^* = X_k \text{ onde } k = 1, \dots, \frac{n}{2}$$



2.7. Modelo de Transmissão OFDM

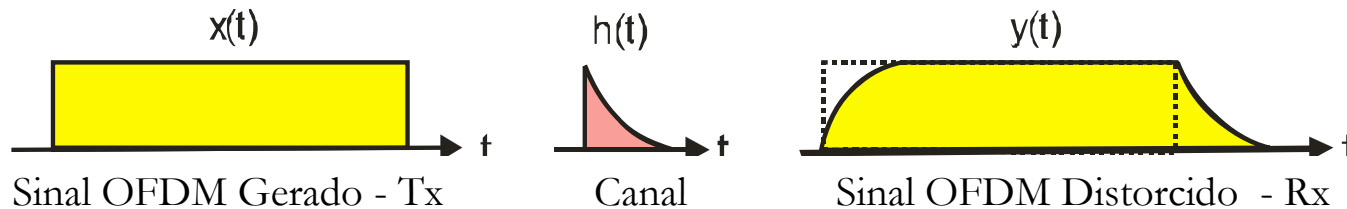
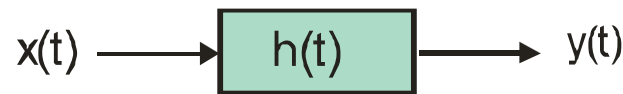


A Grande vantagem está no fato da Modulação ser realizada digitalmente

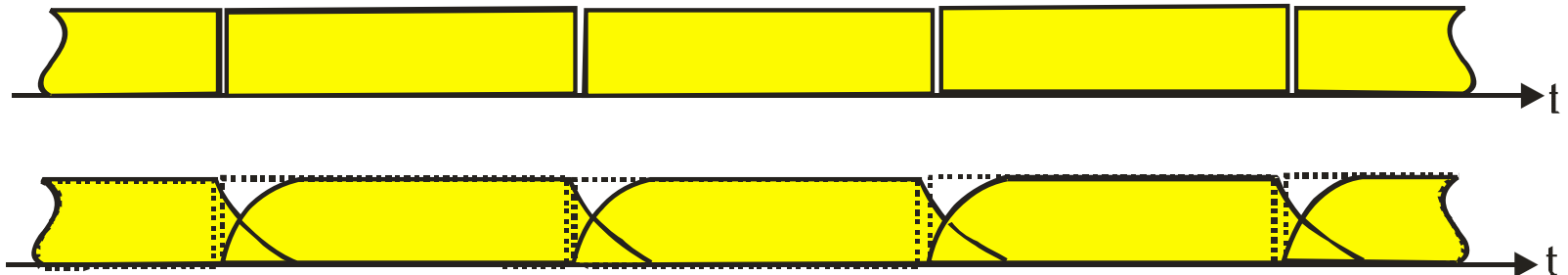
- FPGA & DSP

2.8. Intervalo de Guarda

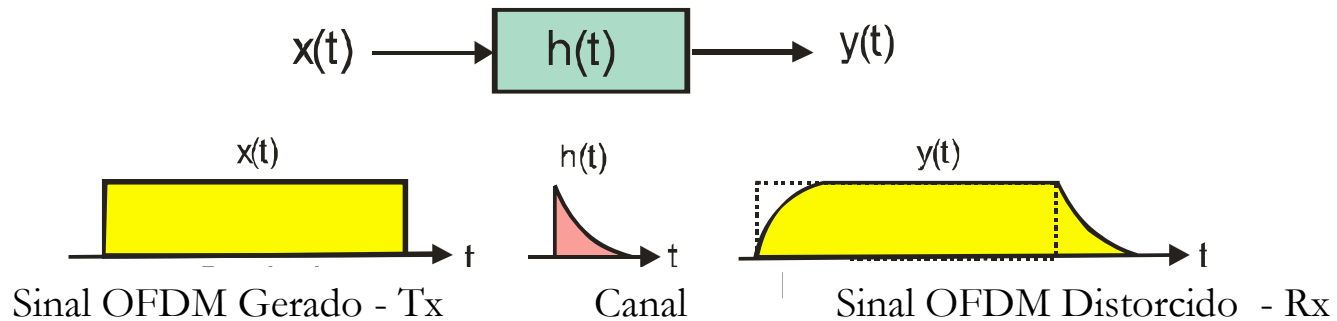
ISI (Interferência Intersimbólica)
Problemática



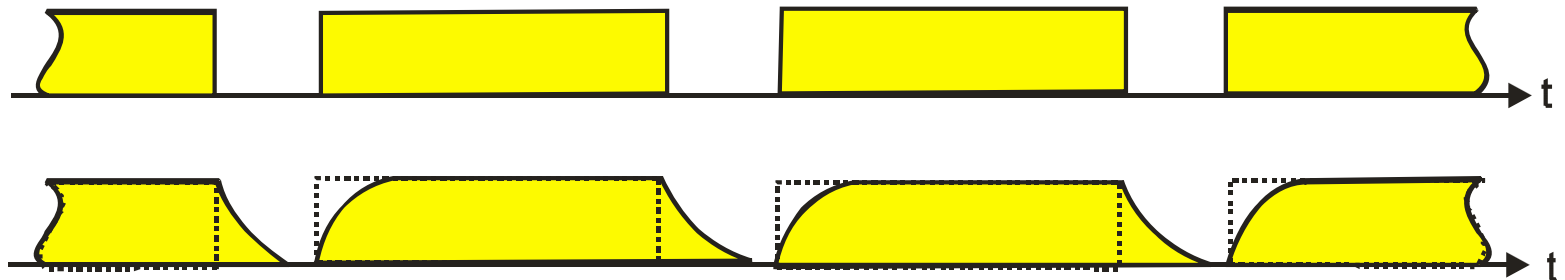
Símbolos OFDM Adjacentes



2.8. Intervalo de Guarda – Combate à ISI

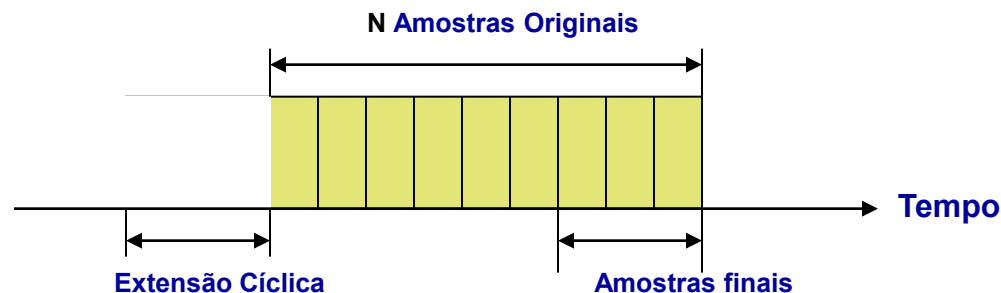


Símbolos OFDM Adjacentes Separados por Intervalo de Guarda (IG)



2.8. Intervalo de Guarda com Extensão Cíclica

Consiste em copiar N_g amostras finais do símbolo OFDM de N amostras, para o início do próprio símbolo.



Assim,

$$N_s = N_{\text{fft}} + N_g$$

e

$$x(n) \otimes h(n) = X(k) \cdot H(k)$$

pois

$$x(n) \otimes h(n) = x(n) \otimes h(n) = \sum_k h(k) \cdot x(n-k)_N$$

$$\text{DFT}\{x(n) \otimes h(n)\} = X(k) \cdot H(k)$$

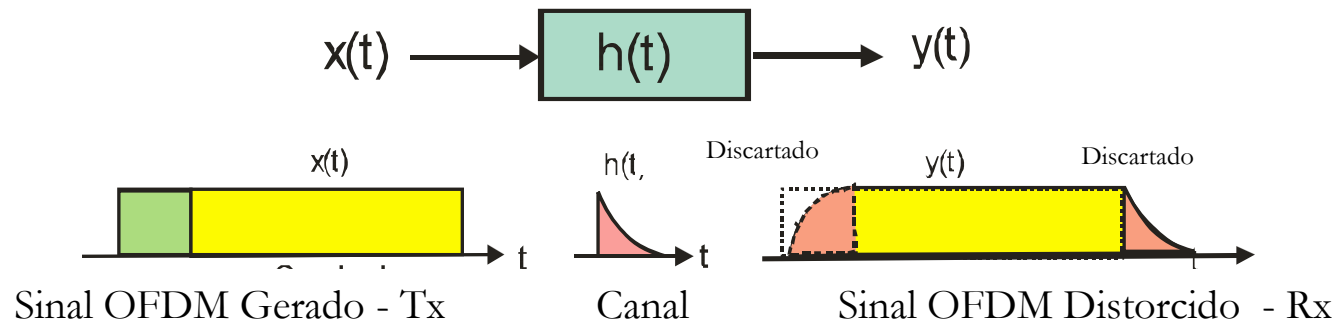
Conhecendo - se $h(n)$ no receptor, pode - se recuperar $x(n)$ fazendo

$$\hat{x}(n) = \text{IDFT}\left(\frac{X(k) \cdot H(k)}{H(k)}\right)$$

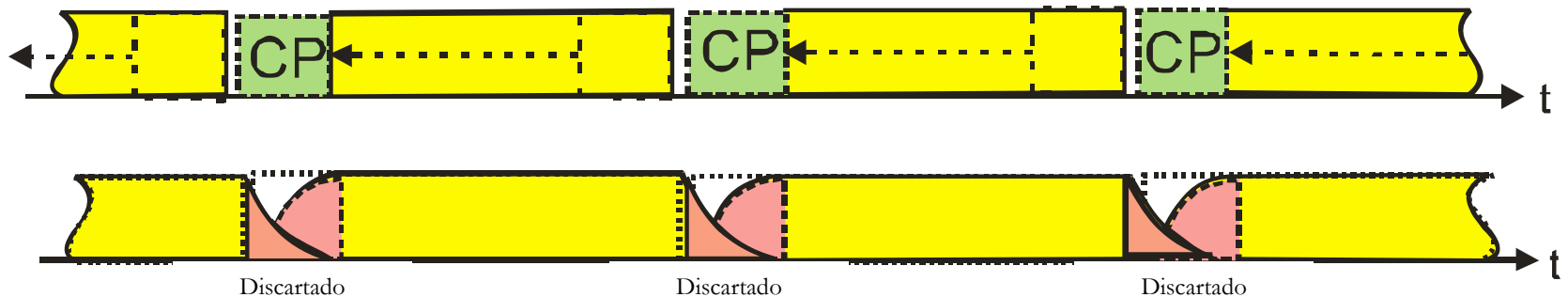


2.8. Extensão Cíclica no Combate à ICI

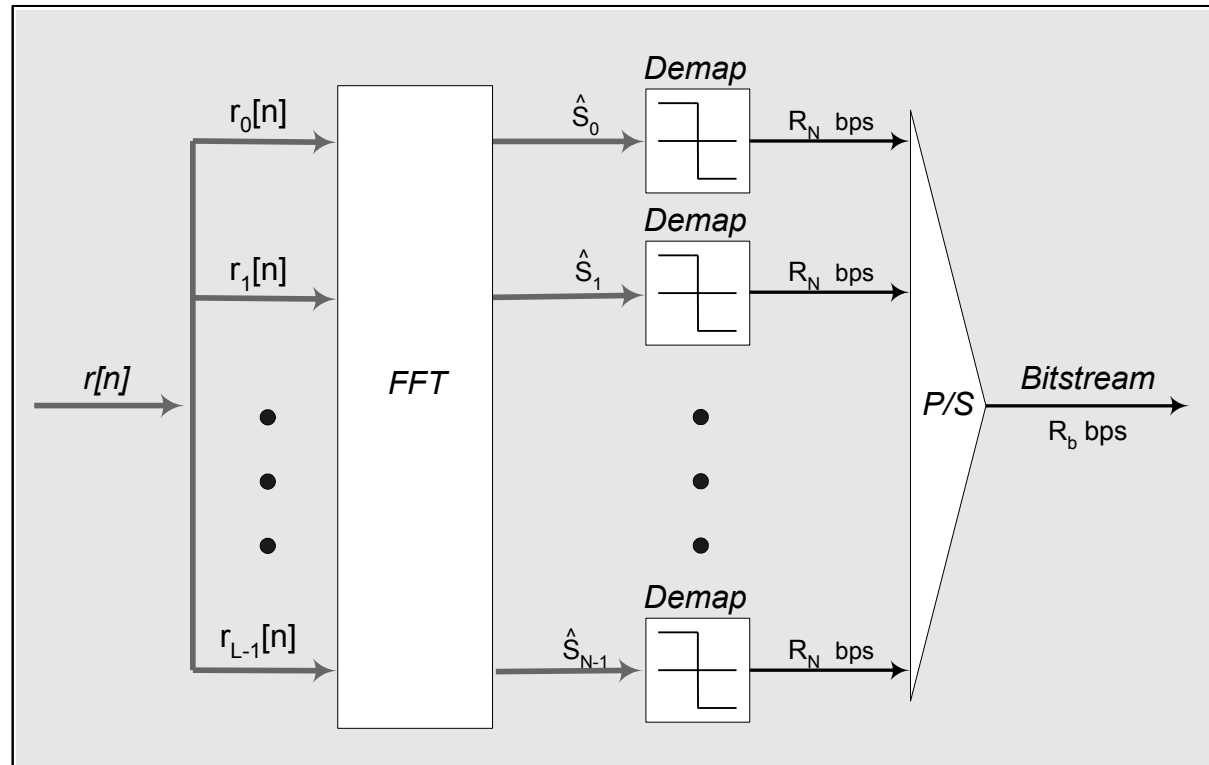
ICI (Interferência Intercanal)
Problemática



Símbolos OFDM Adjacentes Separados por Intervalo de Guarda com Extensão Cíclica



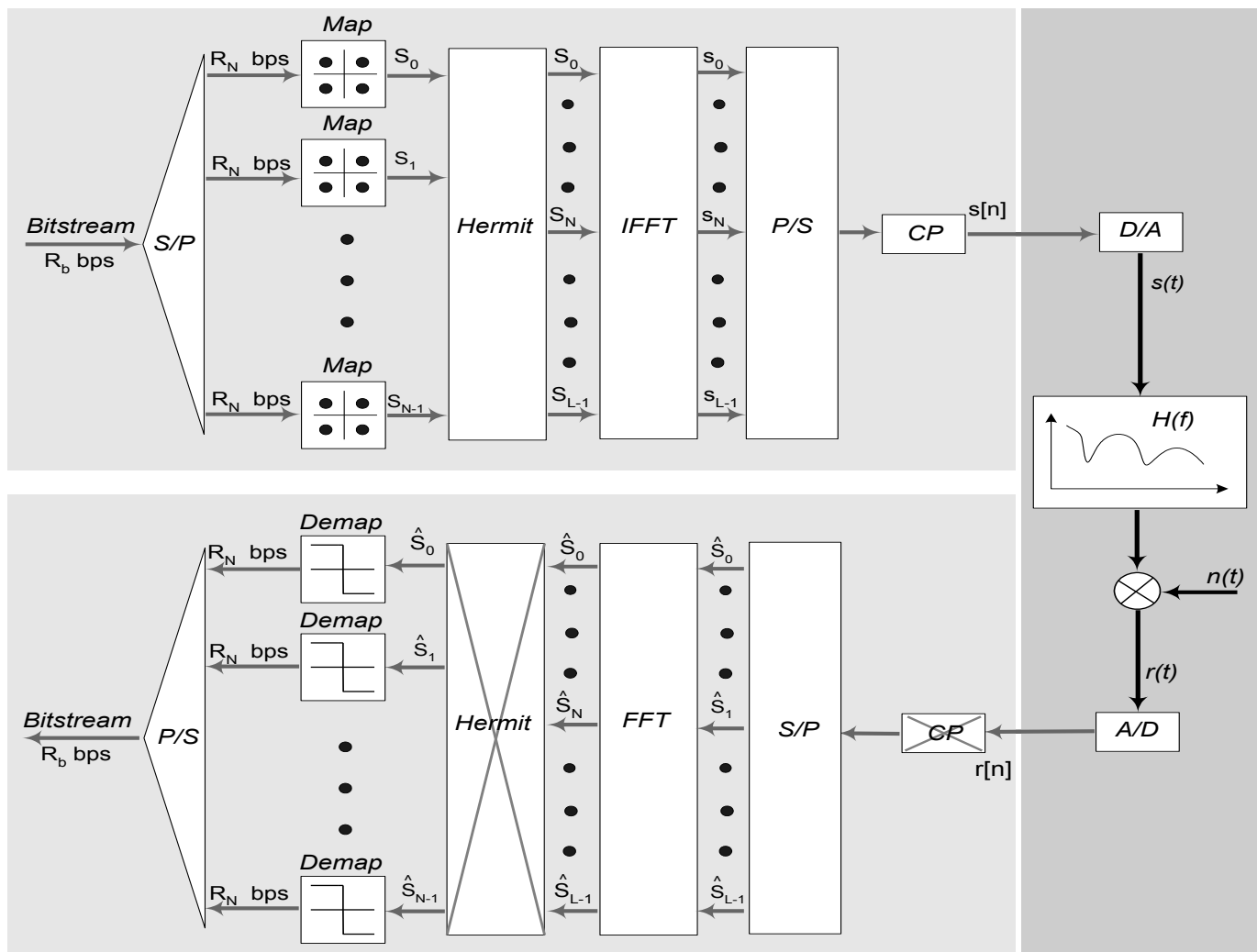
2.9. Modelo de Recepção OFDM



Demodulação realizada pelo DFT
(Algoritmo rápido FFT)

Demapeamento (Demap)
Mapa de Voronoi

2.10. Transceptor OFDM



2.11. Vantagens X Desvantagens

- **Minimiza efeitos da ISI**
 - Aumento da duração do símbolo
- **Reduz efeitos de Seletividade em Frequência**
 - Muitos Subcanais com RF quase plano
- **Eficiência Espectral**
 - Sobreposição Espectral
- **Modulação/Demodulação Digital**
 - IFFT/FFT
- **Combate a ISI e a ICI Residuais**
 - Intervalo de Guarda com CP
- **Razão Potência Máxima e Potência Média do Sinal muito elevado. PAR ou PAPR**
 - Somatório de N variáveis complexas com fase arbitrária.
 - Larga Excursão do Sinal
 - Probabilidade baixa de picos
 - Problemas na amplificação e nos conversores D/A e A/D
- **Vulnerabilidade a Erros de Sincronismo**
 - **Desvio de Frequência**
 - Aumenta com N
 - **Desvio de Tempo**
 - Atrasos do Canal

2.12. Projeto de Sistemas OFDM

Exemplo

1) Parâmetros de Entrada

- Taxa de Transmissão [bps]
- Largura de Banda Disponível [Hz]
- Atraso do Canal
- Modulação por Subportadora

2) Parâmetros Projetados

- Duração do Intervalo de Guarda (IG)

$$T_g = (2 - 4) \times \tau_{\max}$$

- Duração do Símbolo OFDM

$$T_s > 5 \times T_g$$

(Perda em torno de 1dB na SNR)

- Duração Útil do Símbolo OFDM

$$T_u = T_s - T_g$$

- Espaçamento entre Subportadoras

$$\Delta_f = \frac{1}{T_u}$$

- Quantidade de Subportadoras

$$N = \frac{B}{\Delta_f}$$

- Sequência de Bits

$$\text{Seq} = \log_2(M) \times N$$

Dados de Entrada :

$$R_b = 20 \text{ Mbps}$$

$$B = 15 \text{ MHz}$$

$$\tau_s = 200 \text{ ns}$$

16QAM

Dados de Entrada :

$$T_g = 4 \times 200 = 800 \text{ ns}$$

$$T_s = 6 \times 800 = 4.8 \mu\text{s}$$

$$T_u = 4.8 - 0.8 = 4 \mu\text{s}$$

$$\Delta_f = \frac{1}{4 \mu\text{s}} = 250 \text{ KHz}$$

$$N = \frac{B}{\Delta_f} = 60 \text{ Subportadoras}$$

$$\text{seq} = 4 \times 60 = 240 \text{ bits}$$

- O ordenamento do cálculo, assim como a sequência de dados de entrada não são únicos .
- O Sistema não é Codificado

2.13. Geração do Símbolo OFDM do Sistema projetado utilizando o *Communication Toolbox* do Matlab

```
% Gera os dados entrada
x = randint(1,60,[0,15]);

% Conversão Série-Paralelo
x = x';

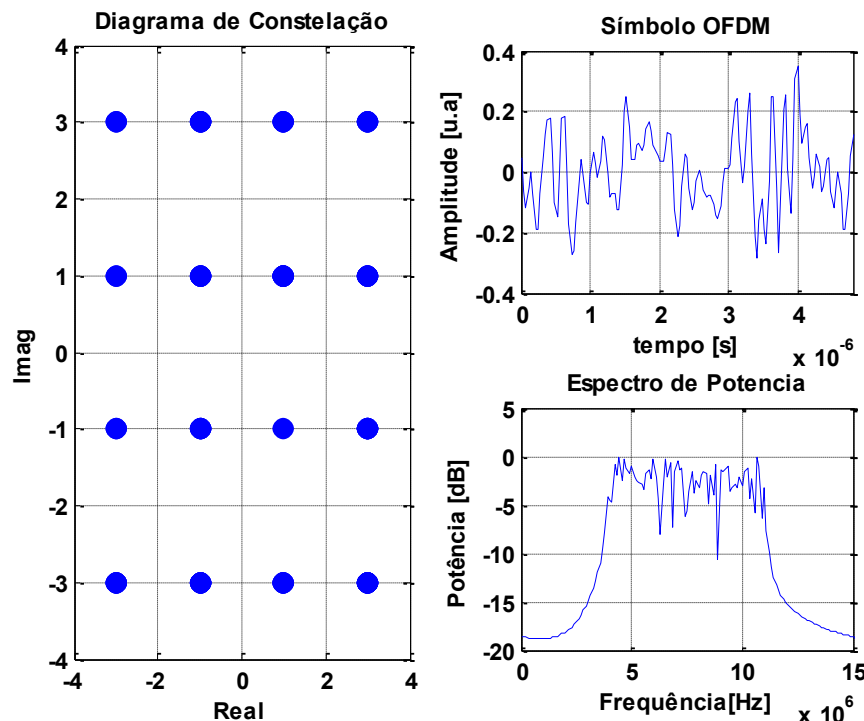
% Mapeamento
Y = qammod(x,16);

% Interpolação
y_tx = zeros(128,1);
y_tx(1:30) = Y(1:30);
y_tx(128-29:128) = Y(31:end);

% "Modulação" via IDFT
y = ifft(y_tx);

% Insere Intervalo de Guarda
y_ig = [y(end+1-11:end); y];

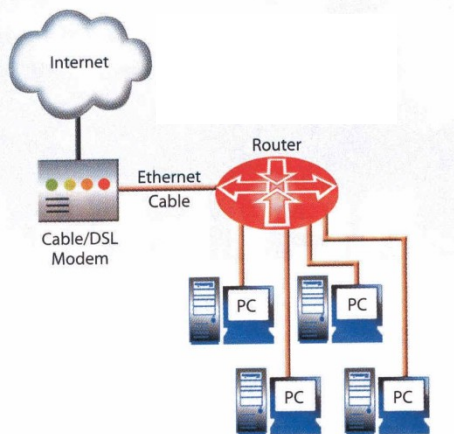
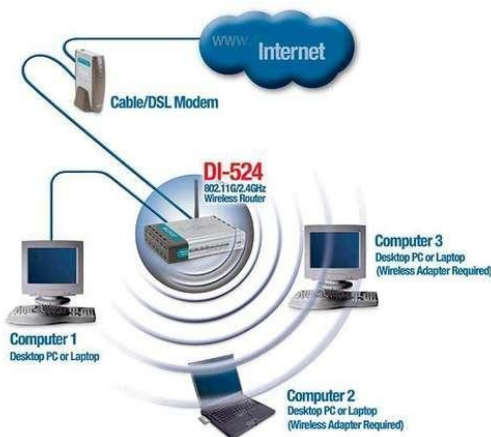
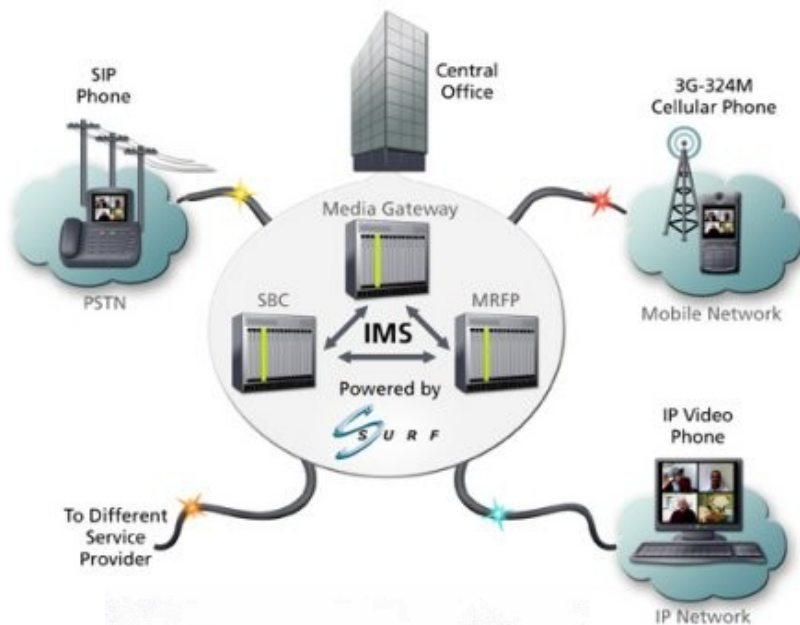
% Conversão paralelo-Série
y_ig = y_ig.';
```



• Observe a larga excursão do sinal no domínio do tempo

• Interpolação (superamostragem) ou zero-padding é realizado por motivos de filtragem (Obtenção do sinal contínuo a partir do de tempo discreto)

3. Aplicações da Técnica OFDM

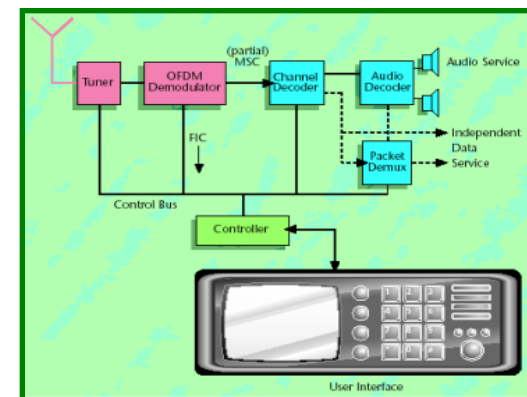
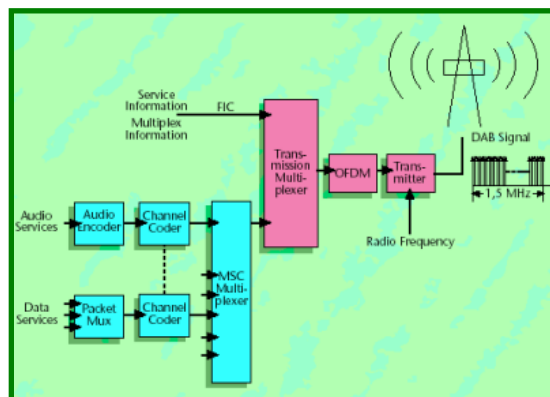


3.1. DAB (Digital Audio Broadcasting)



Rádiodifusão Digital de Áudio que em substituição à rádiodifusão FM provê boa qualidade nos serviços de áudio e dados.

- Primeiro a usar a tecnologia OFDM comercialmente
- Desenvolvimento começou em 1987 e os serviços em 1995 (UK e Suécia)
- Tolerante a Multipercurso
- Distâncias: 20 a 100 km
- R_b – 0.6 a 1.8 Mbps
 - 64 Canais de Telefone (24kbps)
 - 3 Canais de CD (256kbps)
- SFN (Economia de Espectro)



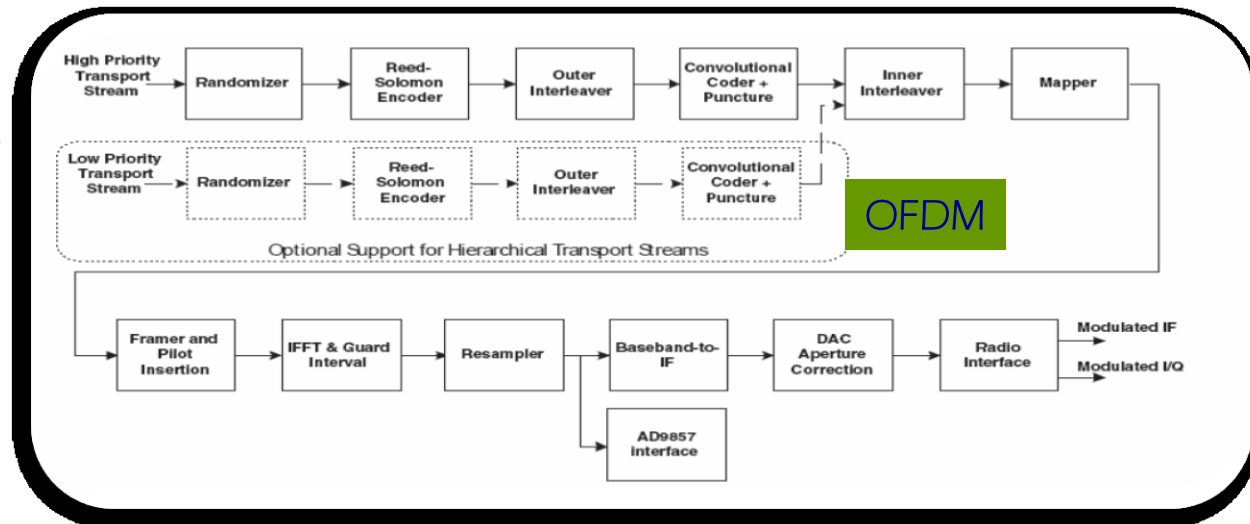
Parâmetro	Modo I
Largura Banda	1.536 MHz
Modulação	DQPSK
Freq. Recepção	≤ 375 MHz
Subportadoras	1536
Duração Símbolo	1246 μ s
Duração IG	246 μ s
Separação Tx SFN	96 km

3.2. DVB (Digital Vídeo Broadcasting)



Radiodifusão Digital de Vídeo é um esquema de transmissão baseado no padrão MPEG-2 que pelo método ponto-multiponto transmite áudio e vídeo com compressão e alta qualidade.

- DVB-T (T-Terrestre)
- Desenvolvimento começou em 1993
- Mais Tolerante a Multipercurso
- Compromisso entre QoS e R_b
- $R_b \sim 12$ Mbps para:
 - 16 QAM
 - Código $\frac{1}{2}$
 - $IG = T_u/32$
- Tv Digital no Brasil



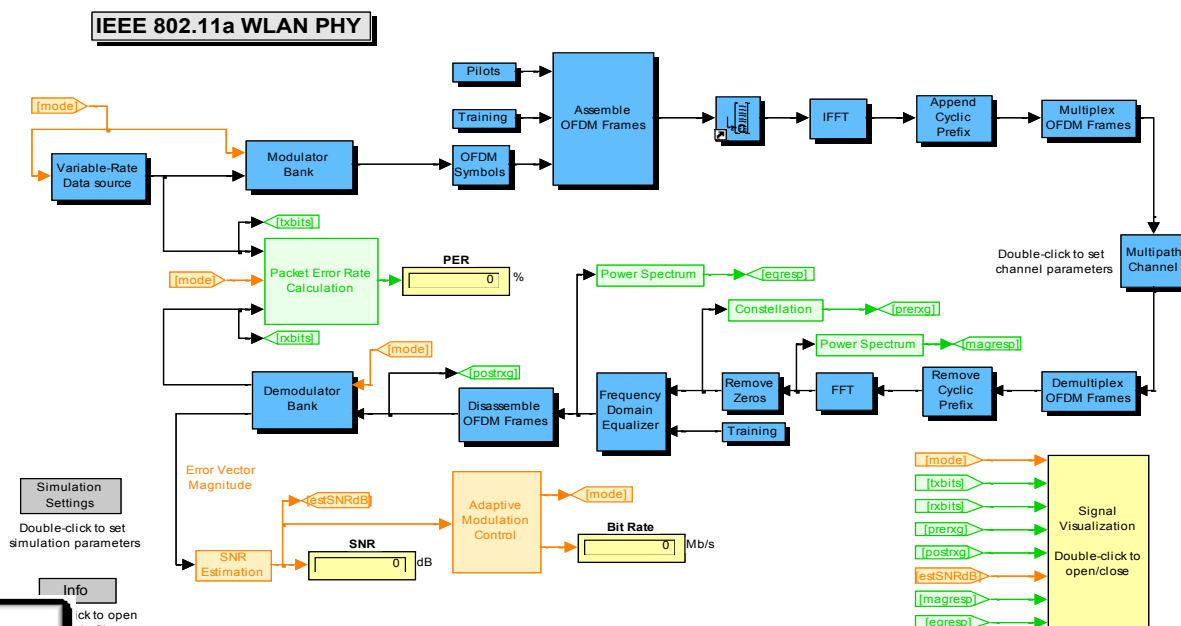
Parâmetro	Modo 2k	Modo 8k
Largura Banda	7.61 MHz	7.61 MHz
Subportadoras	1705	6817
Duração Símbolo	896 μ s	224 μ s
Espaçamento subport.	1116 Hz	4464 Hz

3.3. W-LAN (Wireless Local Area Network)



Redes Locais sem fio a altas taxas de comunicação que pela Aliança WiFi garante interoperabilidade do Padrão IEEE 802.11a.

- Transmissão de Pacotes IP
- Começou em 1999
- Banda em 5 GHz
- Pesquisas de QoS em andamento
- Atrasos de canal: 50-300 ns
- Equivalente ao Hiperlan2



Parâmetro	Valor
Taxas de Transmissão	6,9,12,24,36,48,54 Mbps
Modulações Subportadoras	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Qtd Subportadora	52 + 4 pilotos
Espaçamento subport.	312.5 kHz
Largura de Banda	20 MHz
Duração IG	800 ns
Duração Símbolo OFDM	4 μ s

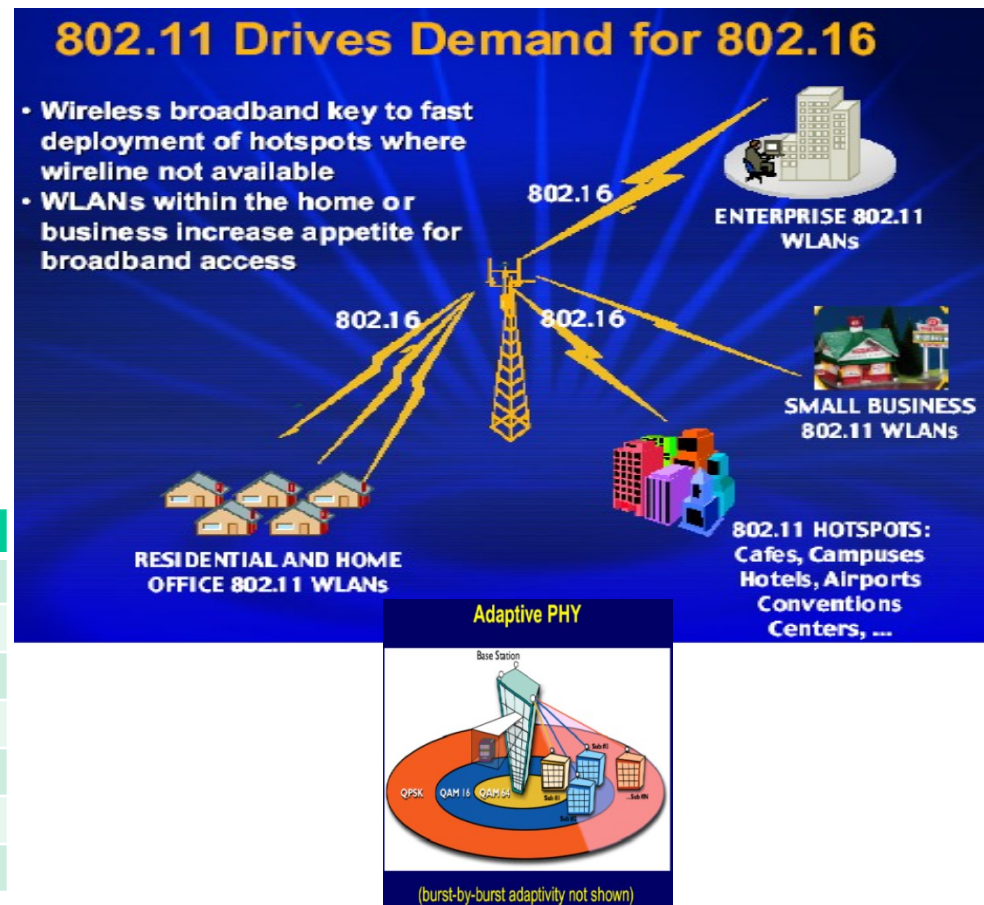
3.4. W-MAN (Wireless Metropolitan Area Network)



Tecnologia de última milha com acesso em banda larga (BWAS) e a alta taxa que pelo Fórum WiMAX testa as especificações do Padrão IEEE 802.16.

- Transmissão Ponto-Multiponto
- Começou em 1998
- Banda em 2-11 GHz
 - 802.16a(2003) – Acesso Fixo
 - 70 Mbps
- IFFT/FFT = 256
- Adaptativo nadistância BS-SS

Parâmetro	Valor
Taxas de Transmissão	1-74.8 Mbps
Modulações Subportadoras	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Qtd Subportadora	184 + 8 pilotos
Espaçamento subport.	312.5 kHz
Largura de Banda	20 MHz (um tipo)
Duração IG	5.4 μs (um tipo)
Duração Símbolo OFDM	4*IG (um tipo)

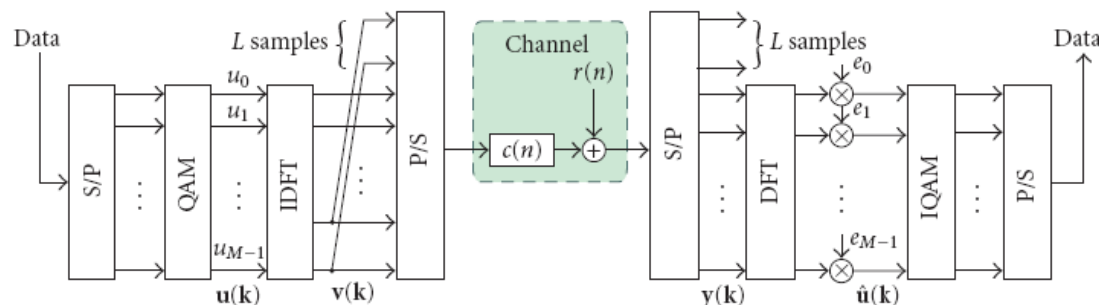


3.5. ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)



Tecnologia de última milha que utiliza o par trançado da linha telefônica como canal de comunicação para transmissão de dados (Internet) e voz.

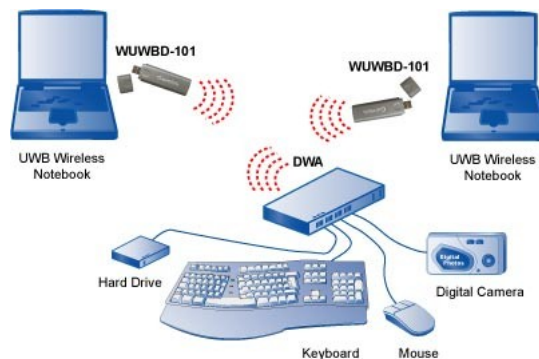
- DMT = OFDM
- Classes Full Rate e ADSL Lite
 - 8 Mbps e 800 kbps
 - 1.5 Mbps e 500 kbps
 - Downlink e Uplink respec.
- Espaçamento de Subportadoras:
 - 4312.5 Hz (ambos)
- IFFT/FFT = 512, com Hermitiana
- IG = 32 amostras
- Max freq. = 1.095 MHz



3.6. Outras Aplicações - Emergentes

• UWB – Ultra Wide Band

- WPAN
- Banda Larga
- Elevada Taxa
- Baixa potência

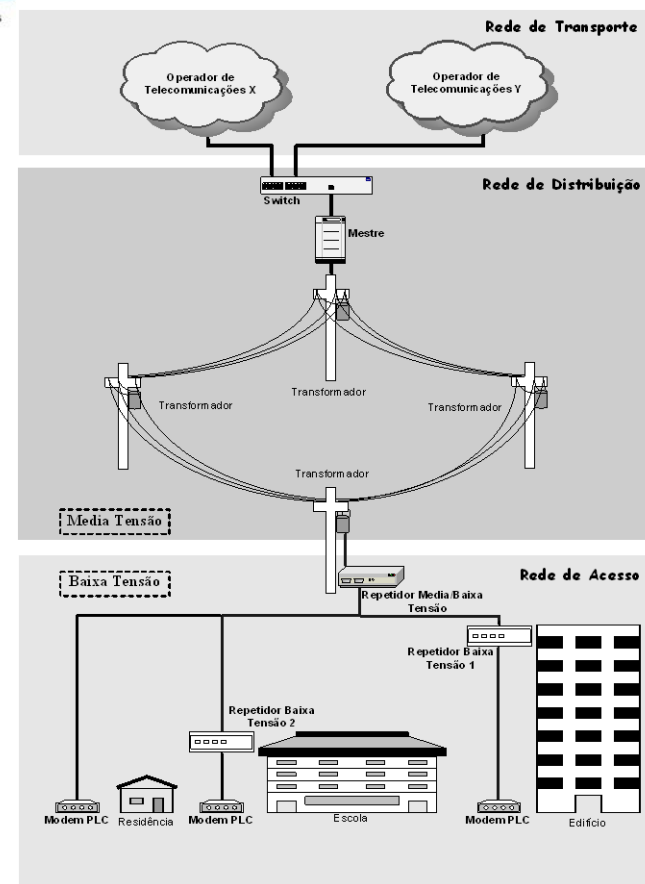
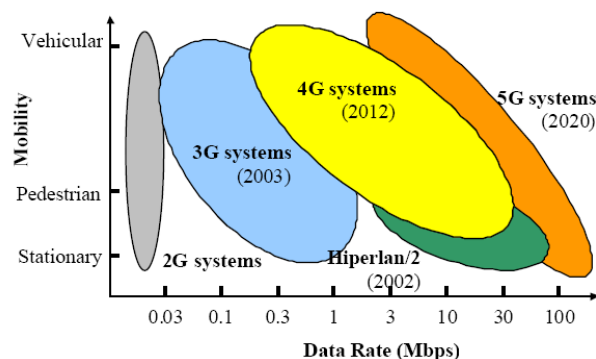


• PLC – Power Line Communication

- Rede de Acesso e Ambientes Indoor
- Rede de Energia como meio de comunicação
- Banda Larga e Altas Taxas

• 4G – 4ª Geração da Comunicação Móvel

- Acesso Banda Larga
- Mais Aplicações
 - HDTV, LAN
- QoS



4. Conclusão

- A Comunicação de voz, dados e vídeos a taxas elevadas, em meios de transmissão com atrasos por espalhamento multipercurso é possível utilizando a multiplexação multiportadora OFDM.
- Tais sistemas de fato combatem as interferências intersimbólica (ISI) e intercanal (ICI) mediante o aumento da duração do símbolo a ser transmitido (Transmissão Paaralela) além da inserção de um intervalo de guarda com extensão cíclica.
- O fato da modulação/demodulação serem realizadas por algoritmos rápidos (IFFT/FFT) facilitam a implementação em Hardware de sistemas multiportadoras.
- A adoção da técnica OFDM em diversas e variadas tecnologias de acesso (*wireless e wireline*) denunciam a importância de um aprendizado técnico da multiplexação.
- Diversos centros de pesquisas vêm desenvolvendo melhorias nos sistemas propostos nos padrões até hoje propostos, através da aplicação de inovações em codificação de fonte e canal, entrelaçamento e/ou embaralhamento, sincronismo, redução de efeitos não lineares, etc.

5. Referências

- **HANZO, L.; WEBB, W.; KELLER, T.** *Single- and Multi-carrier Quadrature Amplitude Modulation : Principles and Applications for Personal Communications, WLANs and Broadcasting.* Baffins Lane, England: John Wiley and Sons, 2000, ISBN 0471492396.
- **Bahai A. R. S.; Saltzberg B. R.; Ergen M.;** *Mlti-Carrier Digital Communications Theory and Aplications of OFDM,* Springer; 2004, ISBN (HB) 0-387-22575-7
- **Prasad R.;** *OFDM for Wireless Communications Systems,* Artech House Inc., 2004, ISBN 1-58053-796-0
- **HARA, S.; PRASAD, R.** *Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications.* Norwood, MA, USA: Artech House, Inc., 2003. ISBN 1580534821.
- **Heiskala J.; Terry J.;** *OFDM Wireless LAN: A Theoretical and Practical Guide,* SAMS, ISBN: 0672321572