

# Sistema de Transmissão no Padrão Brasileiro de TV Digital

Departamento de Engenharia de Telecomunicações  
Universidade Federal Fluminense

Helio Coelho Junior

[helio@compuland.net.br](mailto:helio@compuland.net.br)

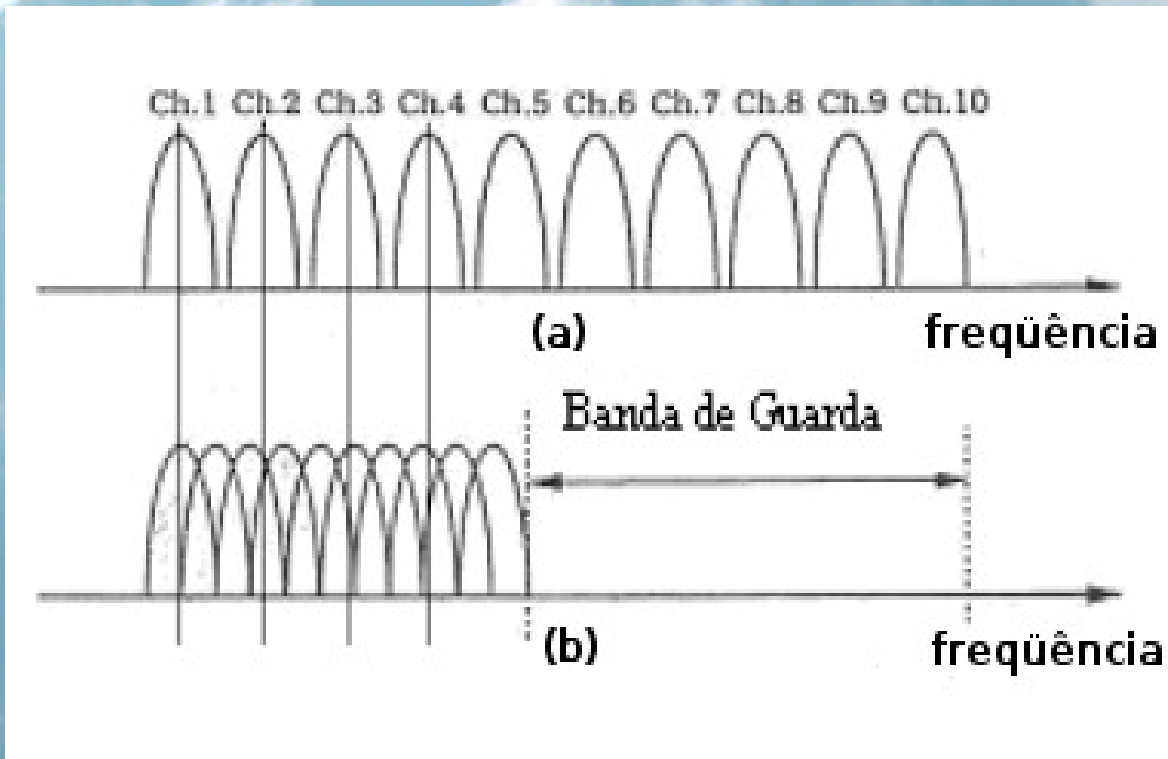
Dezembro 2008

# Introdução

Tópicos:

- OFDM
- Equalização
- COFDM
- ISDB-TB
- Comparação com outros padrões

# OFDM



a) multiplexação em frequência

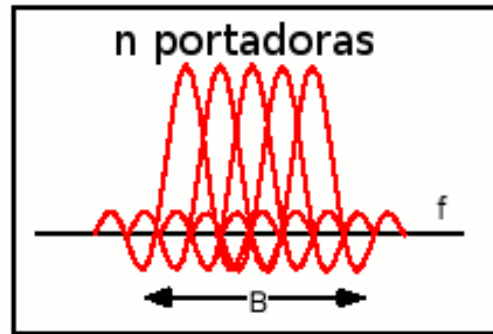
b) multiplexação em frequência ortogonal



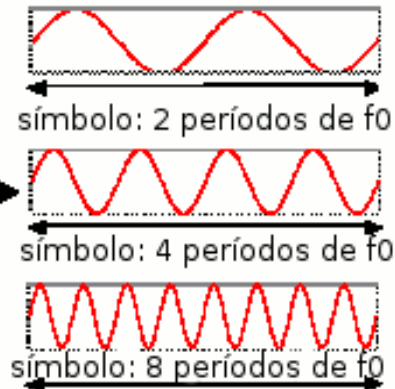
# OFDM

- Esquema de transmissão multi-portadora
- Usa grande número de portadoras próximas, mas ortogonais
- Fluxo de alta taxa dividido em múltiplos fluxos de taxa baixa
- Vantagem: suportar atenuação em altas frequências
- Vantagem: efeitos da dispersão temporal são minimizados, pois podemos aumentar a banda de guarda - multipercurso
- Vantagem: redes de frequência única, múltiplos transmissores sincronizados, reforço de sinal mesmo com transmissores distantes
- Transformada de Fourier – do tempo para a frequência: receptor
- Transformada Inversa de Fourier – da freq para o tempo: transmissor

# OFDM

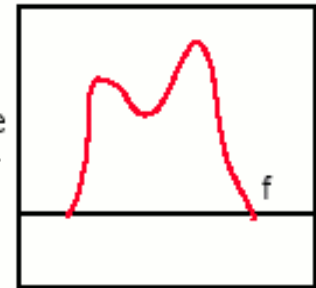


dados codificados no domínio da frequência



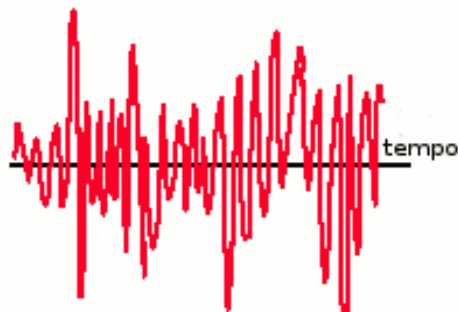
transformação para tempo  
cada freq. é uma senóide

transmite

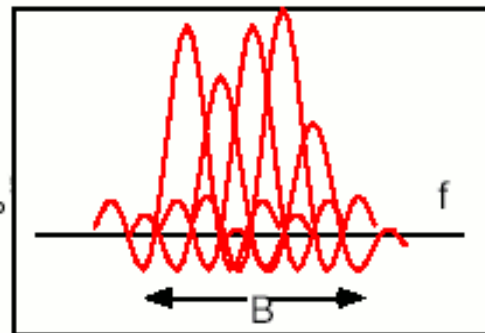


resposta em freq.  
do canal

recebe



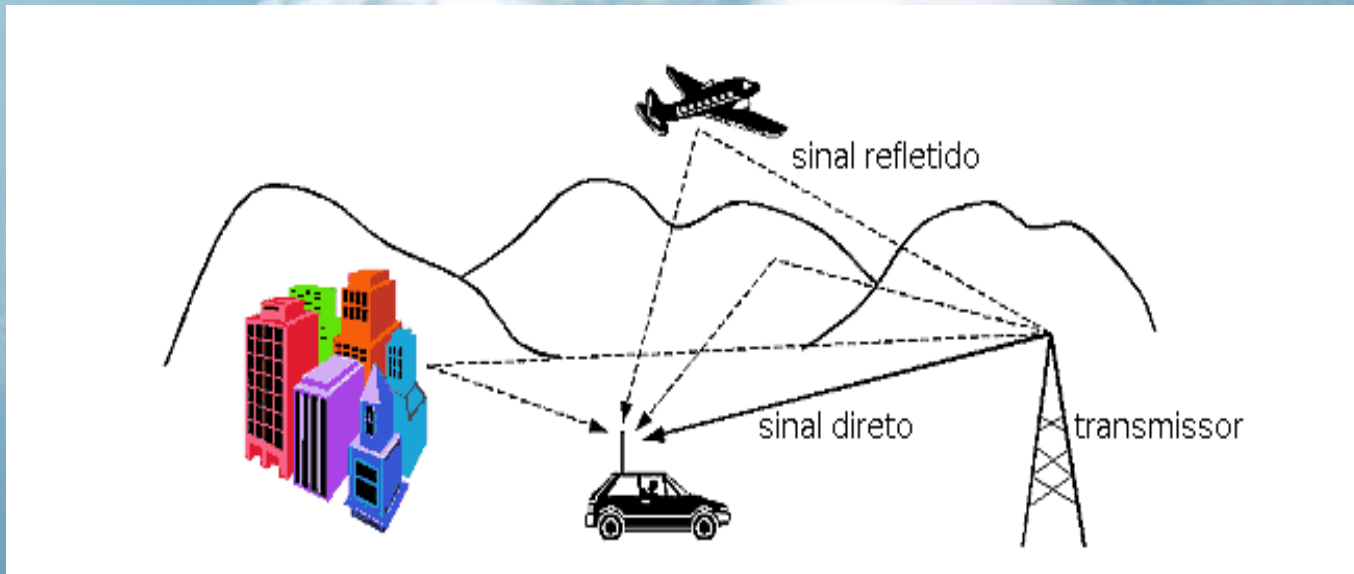
sinal no domínio do tempo



sinal no domínio da  
frequência

decodifica as freqs.  
separadamente

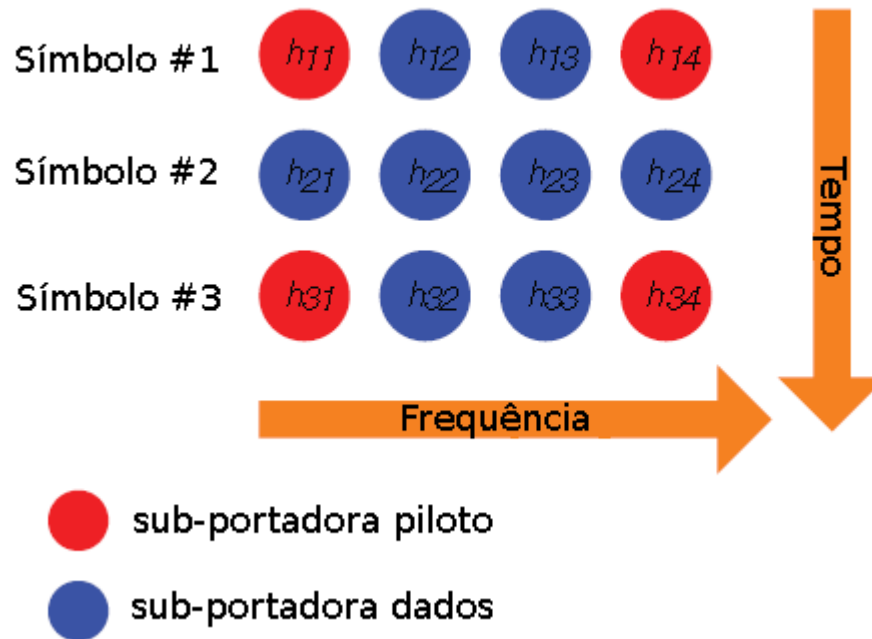
# OFDM



multipercurso



# Equalização



Sinal OFDM

# Equalização

Nem tudo são flores. Problemas em transmissões sem fio:

- dispersão
- atenuação
- mudança de fase

Situações mais críticas: receptores móveis e multipercurso.  
Para compensar os problemas de dispersão: equalizadores

- Canais piloto transportam bits conhecidos pelo receptor.
- Comparando bits recebidos nesses canais e interpolando-se os outros, produz-se resposta impulsional aproximada.
- Convolução do sinal com resposta impulsional obtida permite eliminar dispersão: equalizador perfeito – Zero Insertion.



# Equalização

Interpolação linear:

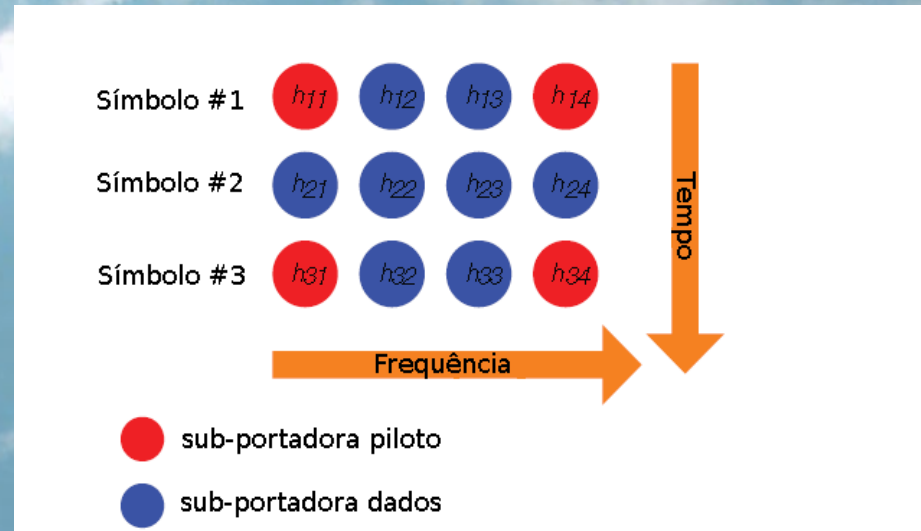
Na freqüência:

$$\hat{h}_{12} = \frac{1}{3}(h_{14} - h_{11}) + h_{11}$$

$$\hat{h}_{13} = \frac{2}{3}(h_{14} - h_{11}) + h_{11}$$

$$\hat{h}_{32} = \frac{1}{3}(h_{34} - h_{31}) + h_{31}$$

$$\hat{h}_{33} = \frac{2}{3}(h_{34} - h_{31}) + h_{31}$$



No tempo:

$$\hat{h}_{21} = \frac{1}{2}(h_{11} - h_{31}) \quad \hat{h}_{23} = \frac{1}{2}(h_{13} - h_{33})$$

$$\hat{h}_{22} = \frac{1}{2}(h_{12} - h_{32}) \quad \hat{h}_{24} = \frac{1}{2}(h_{14} - h_{34})$$

# Equalização

A técnica de interpolação linear não é utilizada sozinha na prática.

→ filtro de Wiener é utilizado em conjunto, porém com custo computacional.

→ A variação temporal em sistemas móveis pode ultrapassar a capacidade de equalização devido a variação temporal muito rápida e componentes eletrônicos não conseguem acompanhar.

Proposta brasileira (com patente em Setembro de 2008):

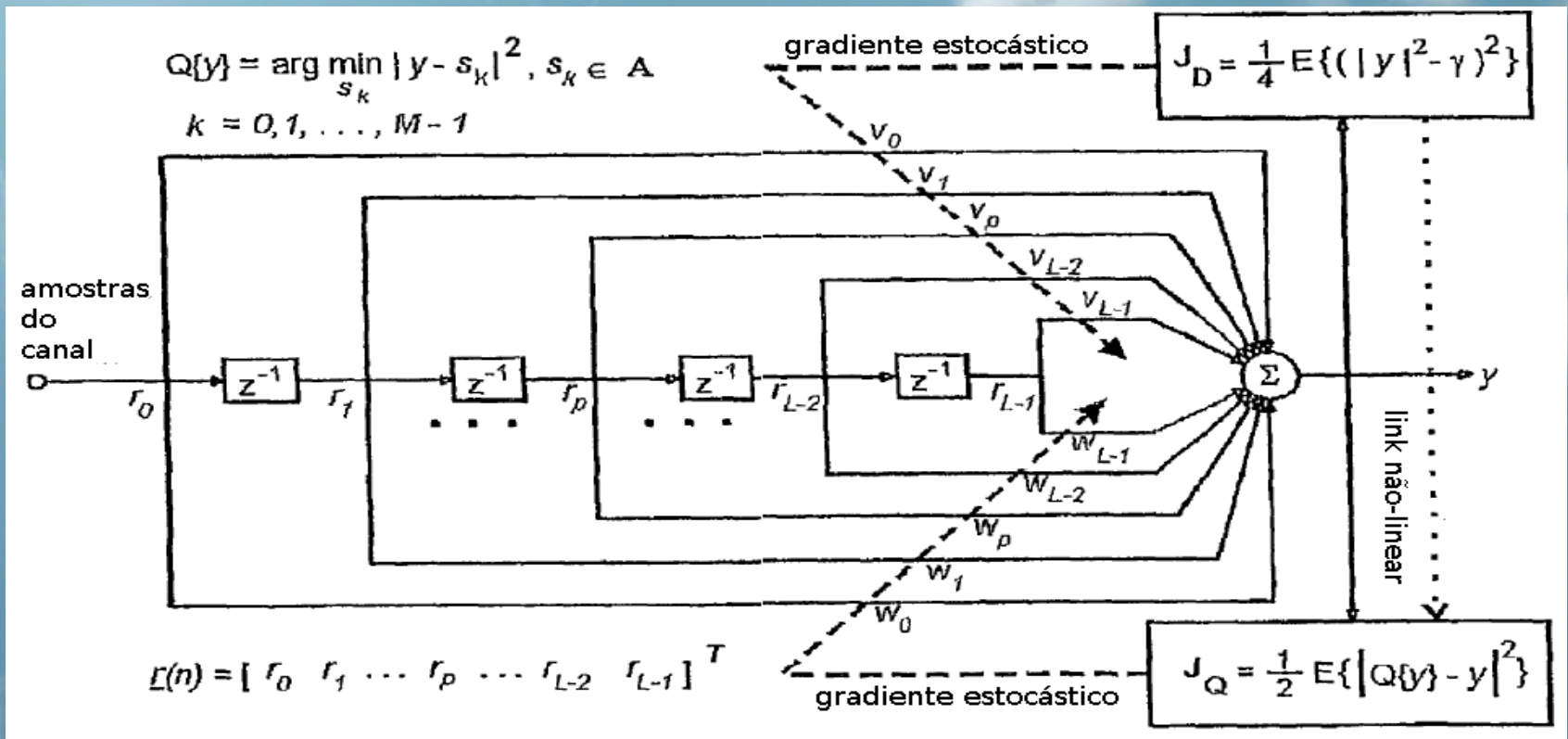
D'Agostini, Fabio e Carboni Junior, Silésio e C.F. de Castro,

Maria e C.C. de Castro, Fernando, da PUC-RS:

“Concurrent process for blind deconvolution of digital signals”

# Equalização

A proposta consiste de combinar equalização linear com equalização cega: o receptor infere o sinal transmitido baseando-se em estatística do sinal recebido - método do gradiente / inferência estatística.

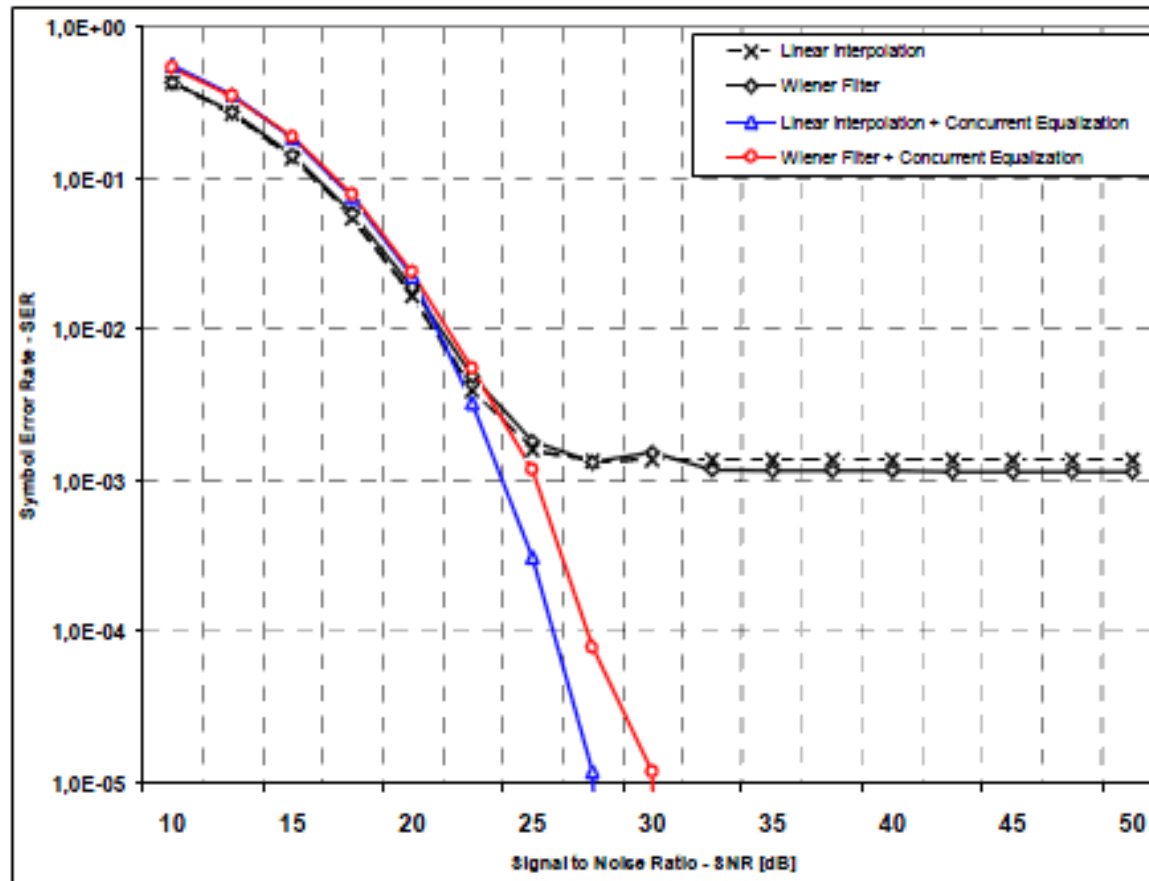




# Equalização

- O vetor  $V$  é inicializado com os pesos  $V_0, V_1, \dots$
- O vetor é mantido atualizado pelo método do gradiente que visa minizar a função  $J_d$  e a função  $J_q$ .
- A função  $J_d$  mede a dispersão (ou seja, a distância do símbolo no tempo).
- A função  $J_q$  mede a distância do símbolo ao mais próximo no alfabeto (o desvio na fase/freqüência).
- As funções são avaliadas em conjunto, por isso equalização concorrente.
- o custo computacional é bem menor do que o uso da função de Wiener.

# Equalização



Taxa de erro de símbolo (SER) para um receiver OFDM operando no perfil "Brasil A" de multipercurso. Frequência Doppler de 100 Hz

# COFDM

- O padrão brasileiro utiliza Coded OFDM
- Combater o problema de 'flat fading', banda coerente menor que banda total do canal, todas as frequências sofrem atenuação
- Trata-se da inserção de bits adicionais, para proporcionar FEC (Forward Error Correction), ou seja, o receptor será capaz de recuperar alguns bits que sejam perdidos no caminho.
- Usa o código Viterbi.



# ISDB-TB

- Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial.
- descendente do padrão japonês.
- codificação de vídeo MPEG4 AVC (no japonês é MPEG2).
- codificação de áudio AAC+ (no japonês MPEG2 AAC).
- usa transmissão baseada em bandas hierárquicas.
- Serviço fixo, móvel ou portátil, no mesmo sinal
- um sinal TMCC (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*) deve ser transmitido em portadora específica para que o receptor configure corretamente a decodificação e demodulação do sinal hierárquico.
- modulações possíveis: DQPSK, QPSK, 16QAM e 64QAM
- para atenuar problemas de ruído impulsivo é usado o entrelaçamento convolucional.

# ISDB-TB

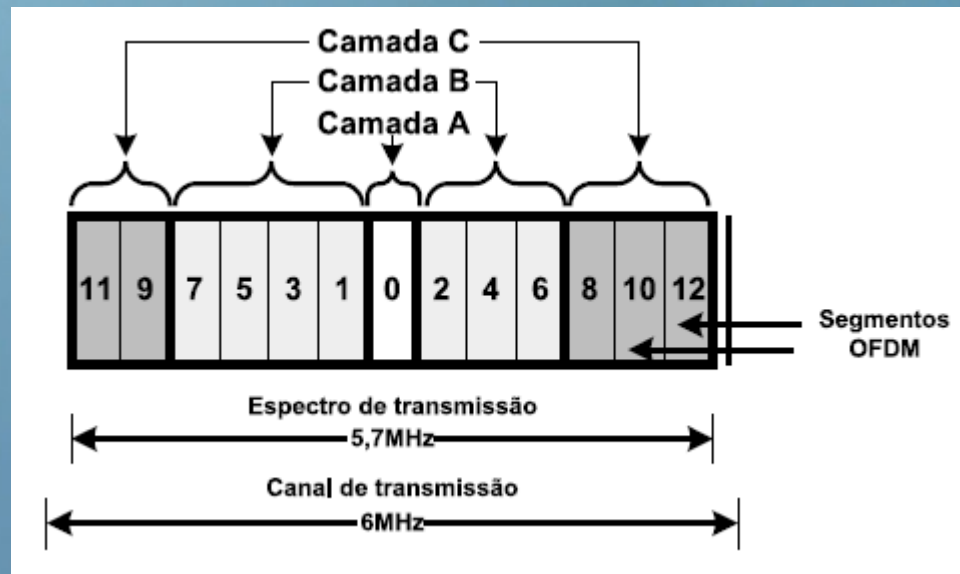
Estrutura do canal:

→ cada canal tem 6 MHz.

→ Dividido em 14 partes, 13 para transmissão, uma para banda de guarda.

→ Cada parte é um segmento OFDM e tem 428.47 KHz

→ Cada tipo de serviço (fixo, móvel ou portátil) pode ser composto de um ou mais segmentos OFDM.



Serviço móvel usa só a camada A



# ISDB-TB

- O espaçamento de frequência entre as portadoras no canal OFDM no padrão brasileiro pode ser de 1KHz, 2KHz ou 4KHz, para acomodar uso de SFN (redes de frequência única) e compensar efeito Doppler em usuários móveis.
- A taxa útil , entretanto, é sempre a mesma.
- Frequência de amostragem da IFFT é sempre a mesma.
- Logo o tempo do símbolo OFDM vai variar. Esses diferentes tempos de símbolo permitem ajustar o sinal transmitido às condições de múltiplo percurso, efeito Doppler e redes de frequência única.



# ISDB-TB

Parâmetros		Valores
1	Número de segmentos	13
2	Largura do segmento	6 000/14 = 428,57 kHz
3	Banda ocupada	5,575 MHz (modo 1) 5,573 MHz (modo 2) 5,572 MHz (modo 3)
4	Número de portadoras	1 405 (modo 1) 2 809 (modo 2) 5 617 (modo 3)
5	Método de modulação	DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
6	Duração dos símbolos ativos	252 $\mu$ s (modo 1) 504 $\mu$ s (modo 2) 1 008 $\mu$ s (modo 3)
7	Espaçamento de portadoras	Bws/108 = 3,968 kHz (modo 1) Bws/216 = 1,984 kHz (modo 2) Bws/432 = 0,992 kHz (modo 3)
8	Duração do intervalo de guarda	1/4, 1/8, 1/16, 1/32 da duração do símbolo ativos 63; 31,5; 15,75; 7,875 $\mu$ s (modo 1) 126; 63; 31,5; 15,75 $\mu$ s (modo 2) 252; 126; 63; 31,5 $\mu$ s (modo 3)
9	Duração total dos símbolos	315; 283,5; 267,75; 259,875 $\mu$ s (modo 1) 628; 565; 533,5; 517,75 $\mu$ s (modo 2) 1 260; 1 134; 1 071; 1 039,5 $\mu$ s (modo 3)
10	Duração do quadro de transmissão	204 símbolos OFDM
11	Codificação de canal	Código convolucional, taxa = 1/2 com 64 estados Puncionado para as taxas 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
12	Entrelaçamento interno	Entrelaçamento intra e intersegmentos (entrelaçamento em frequência)  Entrelaçamento convolucional com profundidade de <i>interleaving</i> 0; 380; 760; 1.520 símbolos (modo 1) 0; 190; 380; 760 símbolos (modo 2), 0; 95; 190; 380 símbolos (modo 3)

# ISDB-TB

Modo		Modo 1		Modo 2		Modo 3	
Largura da banda		3000/7 = 428,57 kHz					
Espaçamento entre frequências portadoras		250/63 kHz		125/63 kHz		125/126 kHz	
Número de portadoras	Total	108	108	216	216	432	432
	Dados	96	96	192	192	384	384
	SP <sup>a</sup>	9	0	18	0	36	0
	CP <sup>a</sup>	0	1	0	1	0	1
	TMCC <sup>b</sup>	1	5	2	10	4	20
	AC1 <sup>c</sup>	2	2	4	4	8	8
	AC2 <sup>c</sup>	0	4	0	9	0	19
Esquema de modulação das portadoras		QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK	QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK	QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK
Símbolos por quadro		204					
Tamanho do símbolo efetivo		252 μs		504 μs		1008 μs	
Intervalo de guarda		63 μs (1/4), 31,5 μs (1/8), 15,75 μs (1/16), 7,875 μs (1/32)		126 μs (1/4), 63 μs (1/8), 31,5 μs (1/16), 15,75 μs (1/32)		252 μs (1/4), 126 μs (1/8), 63 μs (1/16), 31,5 μs (1/32)	
Comprimento do quadro		64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16), 53,0145 ms (1/32)		128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16), 106,029 ms (1/32)		257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16), 212,058 ms (1/32)	
Frequência de amostragem da IFFT		512/63 = 8,12698 MHz					
Codificador interno		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)					
Codificador externo		RS (204,188)					
<sup>a</sup> SP e CP são usados pelo receptor para fins de sincronização e demodulação. <sup>b</sup> TMCC é informação de controle. <sup>c</sup> AC é usado para transmitir informação adicional. AC1 é disponível em igual número em todos os segmentos, enquanto que AC2 é disponível somente em segmento de modulação diferencial.							

# ISDB-TB

Modo		Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos OFDM $N_s$		13		
Largura de banda		$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 250/63 \text{ kHz}$ = 5,575 MHz	$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 125/63 \text{ kHz}$ = 5,573 MHz	$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 125/126 \text{ kHz}$ = 5,572 MHz
Número de segmentos de modulação diferencial		$n_d$		
Número de segmentos de modulação síncrona		$n_s (n_s + n_d = N_s)$		
Espaçamento entre frequências portadoras		250/63 = 3,968 kHz	125/63 = 1,984 kHz	125/126 = 0,992 kHz
Número de portadoras	Total	$108 \times N_s + 1 = 1\ 405$	$216 \times N_s + 1 = 2\ 809$	$432 \times N_s + 1 = 5\ 617$
	Dados	$96 \times N_s = 1\ 248$	$192 \times N_s = 2\ 496$	$384 \times N_s = 4\ 992$
	SP	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP <sup>a</sup>	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$4 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$8 \times N_s = 104$
	AC2	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Esquema de modulação das portadoras		QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Símbolos por quadro		204		
Tamanho do símbolo efetivo		252 $\mu\text{s}$	504 $\mu\text{s}$	1008 $\mu\text{s}$
Intervalo de guarda		63 $\mu\text{s}$ (1/4), 31,5 $\mu\text{s}$ (1/8), 15,75 $\mu\text{s}$ (1/16), 7,875 $\mu\text{s}$ (1/32)	126 $\mu\text{s}$ (1/4), 63 $\mu\text{s}$ (1/8), 31,5 $\mu\text{s}$ (1/16), 15,75 $\mu\text{s}$ (1/32)	252 $\mu\text{s}$ (1/4), 126 $\mu\text{s}$ (1/8), 63 $\mu\text{s}$ (1/16), 31,5 $\mu\text{s}$ (1/32)
Comprimento do quadro		64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16), 53,0145 ms (1/32)	128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16), 106,029 ms (1/32)	257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16), 212,058 ms (1/32)
Inner code		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4 5/6, 7/8)		
Outer code		RS (204,188)		
<sup>a</sup> O número de CP representa a soma dos CP no segmento mais um CP adicionado à direita da banda total.				



# ISDB-TB

Modulação da portadora	Código convolucional	Número de TSP transmitidos por quadro	Taxa de dados <sup>a</sup> kbps			
			Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
DQPSK	1/2	12/24/48	280,85	312,06	330,42	340,43
	2/3	16/32/64	374,47	416,08	440,56	453,91
QPSK	3/4	18/36/72	421,28	468,09	495,63	510,65
	5/6	20/40/80	468,09	520,10	550,70	567,39
	7/8	21/42/84	491,50	546,11	578,23	595,76
16QAM	1/2	24/48/96	561,71	624,13	660,84	680,87
	2/3	32/64/128	748,95	832,17	881,12	907,82
	3/4	36/72/144	842,57	936,19	991,26	1 021,30
	5/6	40/80/160	936,19	1 040,21	1 101,40	1 134,78
	7/8	42/84/168	983,00	1 092,22	1 156,47	1 191,52
64QAM	1/2	36/72/144	842,57	936,19	991,26	1 021,30
	2/3	48/96/192	1 123,43	1 248,26	1 321,68	1 361,74
	3/4	54/108/216	1 263,86	1 404,29	1 486,90	1 531,95
	5/6	60/120/240	1 404,29	1 560,32	1 652,11	1 702,17
	7/8	63/126/252	1 474,50	1 638,34	1 734,71	1 787,28

<sup>a</sup> Essa taxa de dados representa a taxa de dados (bits) por segmento para parâmetros de transmissão  
taxa de dados (bits) = TSP transmitidos x 188 (bytes/TSP) x 8 (bits/byte) x 1/comprimento do quadro.

Taxa de dados de um único segmento - NBR 15601:2007

# ISDB-TB

Modulação da portadora	Código convolucional	Número de TSP transmitidos (Modos 1/ 2/ 3)	Taxa de dados Mbps			
			Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
DQPSK  QPSK	1/2	156/312/624	3,651	4,056	4,295	4,425
	2/3	208/416/832	4,868	5,409	5,727	5,900
	3/4	234/468/936	5,476	6,085	6,443	6,638
	5/6	260/520/1040	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	273/546/1092	6,389	7,099	7,517	7,744
16QAM	1/2	312/624/1248	7,302	8,113	8,590	8,851
	2/3	416/832/1664	9,736	10,818	11,454	11,801
	3/4	468/936/1872	10,953	12,170	12,886	13,276
	5/6	520/1040/2080	12,170	13,522	14,318	14,752
	7/8	546/1092/2184	12,779	14,198	15,034	15,489
64QAM	1/2	468/936/1872	10,953	12,170	12,886	13,276
	2/3	624/1248/2496	14,604	16,227	17,181	17,702
	3/4	702/1404/2808	16,430	18,255	19,329	19,915
	5/6	780/1560/3120	18,255	20,284	21,477	22,128
	7/8	819/1638/3276	19,168	21,298	22,551	23,234

NOTA Nesta tabela, os mesmos parâmetros são especificados para todos os 13 segmentos. A taxa total de dados durante a transmissão hierárquica varia dependendo dos parâmetros de configuração hierárquica. O volume transmitido pelos 13 segmentos é igual à soma de todos os volumes de dados transmitidos por esses segmentos, que pode ser determinado de acordo com a Tabela 4.

# ISDB-TB

Codificação do canal:

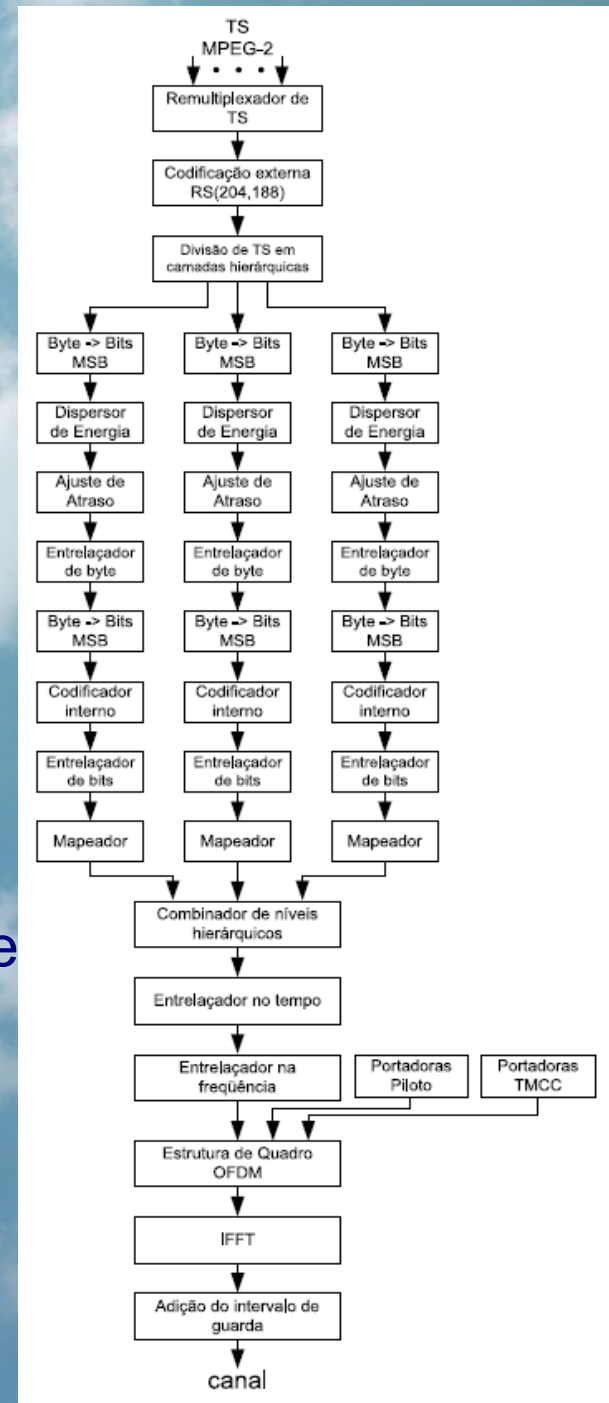
→ fluxo de transporte MPEG2 deve ser remultiplexado para de modo que o TSP seja adequado para a transmissão no modo A (móvel) ou one-seg.

→ cada TS deve ser convertido para sinal em rajada de 188 bytes por um clock com taxa 4 vezes maior que a taxa de IFFT.

→ TS deve ser dividido em multiplas camadas de acordo com as características de cada camada hierarquica.

→ o atraso provocado pelo interleaving deve ser corrigido no ajuste de sincronismo para evitar necessidade de memória e buffers no receptor.

→ Após processamento os três fluxos são combinados e o interleaving na frequência e no tempo é feito.

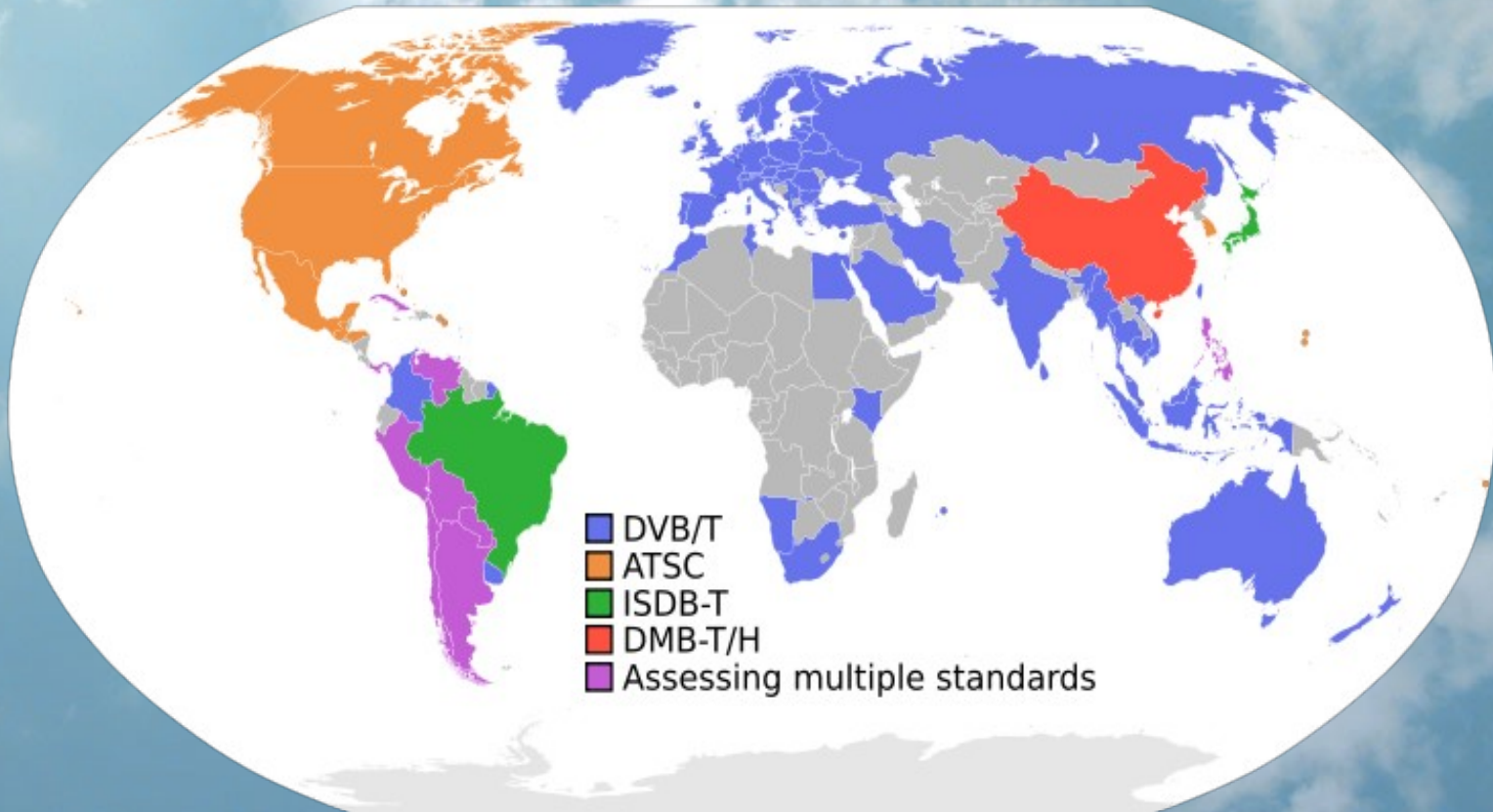




# Comparação com outros padrões

- No Japão, o ISDB-T, pesquisa iniciada em 1990, pela NHK.
- no Brasil o ISDB-TB ou SBTVD, pesquisa iniciada em 1999, pelo CPQD. O grupo SBTVD foi criado em 2003.
- China (incluindo Hong Kong e Macau) optaram pelo DMB-T/H (Digital Multimedia Broadcasting-Terrestrial/Handheld).
- Nos Estados Unidos o padrão foi desenvolvido pela Zenith e adotado a partir de 1996. É o ATSC (Advanced Television System Committee).
- O padrão europeu é o DVB. O terrestre é o DVB-T. A primeira transmissão foi realizada no final de 1998 na Inglaterra.

# Comparação com outros padrões



A adoção da DTV no Mundo



# Comparação com outros padrões

Item	ATSC	DVB-T	ISDB-T/TB
Recepção fixa HDTV/SDTV	Sim	Sim	Sim
Data Broadcasting	Possível (nota 1)	Possível (nota 1)	Em uso
SFN (Single Frequency Network)	Não	Sim	Sim
Recepção móvel HDTV	Impossível	Impossível (nota 2)	Boa
Recepção portátil em celular	Impossível	Possível (nota 3)	Boa
Acesso Internet	Ruim	Possível	Bom

Nota 1 – O serviço atualmente não é popular nos dois padrões.

Nota 2 – Para DVB-T recepção SDTV móvel é possível.

Nota 3 – No caso de DVB-T outra frequência é necessária para recepção



# Comparação com outros padrões

Taxa máxima de bit sob ruído gaussiano	ATSC	
Robustez contra interferência multi-percurso	DVB-T, ISDB-T, ISDB-TB	
Robustez contra ruído impulsivo	ISDB-T, ISDB-TB	Graças ao time interleave
Operação SFN	DVB-T, ISDB-T, ISDB-TB	
Mobilidade e portabilidade	ISDB-T >> DVB-T	Graças ao time interleave
Transmissão hierárquica	ISDB-T >> DVB-T	

# Comparação com outros padrões

- DVB-T usa 16-QAM ou 64-QAM (ou QPSK) em combinação com COFDM e suporta modulação hierárquica, com canal de 6Mhz.
- No ISDB-T e ISDB-TB todos os segmentos são sincronizados, logo as operadoras de celular dependeriam das operadoras de TV para transmitir, já que tudo tem que sair de um só transmissor. Tal já não ocorre com o DVB-T, que é hierárquica em um só segmento espectral.
- O one-seg no padrão japonês, ISDB-T, tem 15 quadros por segundo. No ISDB-TB do Brasil o canal one-seg tem 30 quadros por segundo.
- ATSC usa canal de 6Mhz. Ele usa 8VSB. Usa uma portadora simples que emprega uma modulação semelhante a TV convencional – vestigial side band.
- ATSC usa cerca de 25% menos potência que o ISDB-T/TB.
- Em testes no Brasil do ISDB-T, DVB-T e ATSC, o ISDB-T proporcionou uma cobertura indoor 22% melhor.

**THE END !**

**Duvidas ?**

**Obrigado pela atenção**