

4 ISDB-T

O padrão de TV Digital ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting for Terrestrial Television Broadcasting*) foi concebido para executar a transmissão digital dos sinais de televisão, permitindo que o modelo de TV de alta definição HDTV (*High Digital Television*) esteja acessível para usuários que utilizam receptores sem fio, e também acessível para usuários com receptores móveis e sem fio, com baixa definição de imagem.

O ISDB-T pode ser analisado como um processo de transformação de um sinal binário, que é o sinal digital gerado pelas operadoras de TV formatados pelo padrão MPEG2, em ondas eletromagnéticas. Estas ondas viajam pelo ar até encontrar os receptores ISDB-T, que tem a função de executar o processo inverso com o sinal, ou seja, transformar ondas eletromagnéticas em sinais digitais que os decodificadores de TV entendam, que são os sinais de vídeo e áudio.

O processo de transformação é bastante complexo e tem a função de garantir um perfeito sinal no receptor, que implicará em sons e imagens com qualidades ótimas. Ele pode ser separado em duas etapas principais, denominadas codificação de canal e modulação, como pode ser visto na figura 4.1.

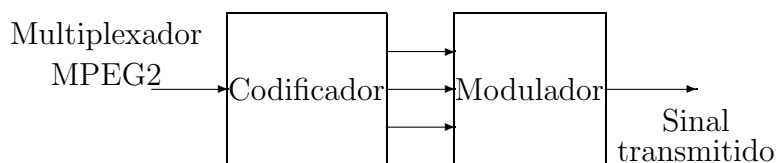


Figura 4.1: Diagrama em blocos básico do ISDB-T.

O primeiro bloco do sistema é denominado codificador de canal, tem a função de codificar os bits para minimizar os efeitos destrutivos do canal de comunicações. A entrada deste bloco é alimentada por um fluxo MPEG2 gerado por um multiplexador MPEG2 externo. A primeira alteração que o

sinal sofre é estrutural, ou seja, o fluxo MPEG2 é rearranjado em grupos de tamanhos pré definidas e mantidos até o processo de transmissão.

O método utilizado para arranjar os dados permite que serviços especiais, como a transmissão hierárquica, sejam implementados. Conforme dito anteriormente, o ISDB-T utiliza um método de modulação multiportadoras para transmissão dos dados, que tem suas vantagens sobre o modo portadora unitária. Por este motivo, desde o início do processo de codificação os dados são arranjados de forma a compor vários fluxos de dados, que por sua vez serão introduzidos nas portadoras do sistema. Três diferentes configurações relativo ao número de portadoras são permitidas no ISDB-T. Estas diferentes configurações são denominadas modos de transmissão e determinam o número de portadoras empregado no processo de transmissão, que conseqüentemente determinarão o tamanho da FFT. A tabela 4.1 as três configurações possíveis.

Modo	Número de portadoras
1	2048
2	4096
3	8192

Tabela 4.1: Número de portadoras do sistema

Conforme citado anteriormente, o ISDB-T prevê que serviços como a transmissão hierárquica sejam implementados. Transmissão hierárquica é um tipo de transmissão que permite que receptores diferentes recebam e processem o sinal, e gerem a imagem e sons de acordo com suas características. Dois são os tipos de receptores que recebem os sinais:

- Receptores banda larga, também conhecidos como *wide band*
- Receptores banda estreita, ou *narrow band*

A transmissão hierárquica permite que os dados sejam codificados e modulados de forma diferente. Esta característica habilita receptores banda estreita receber apenas parte do sinal transmitido, e geralmente esta porção do sinal é mais protegida que o restante dos dados. Para que seja possível implementar estas características, um método de agrupamento de portadoras é utilizado. Cada grupo de portadoras é denominado segmento, sendo que cada segmento terá um número fixo de portadoras de dados e de controle, de acordo com o modo de transmissão escolhido. Uma descrição mais detalhada da composição de um segmento, nos três modos de transmissão é apresentada na tabela 4.2.

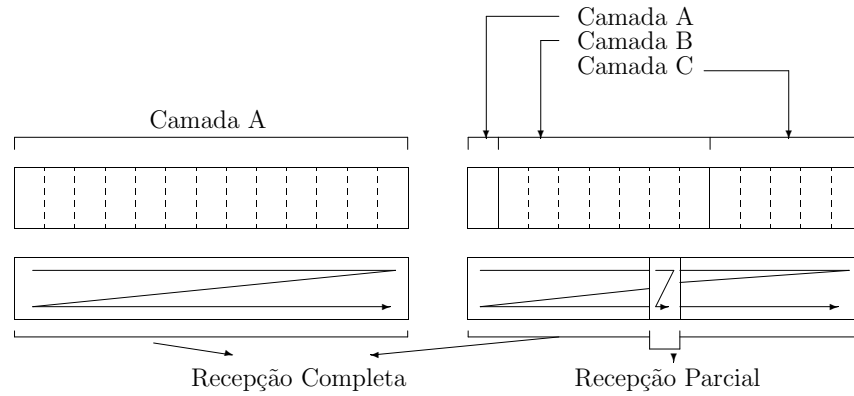


Figura 4.2: Alocação da banda para transmissão completa e parcial

O ISDB-T é composto por 13 segmentos, que podem ser arranjados em até três diferentes grupos. Este grupos são denominados camadas, e são configurados no início de cada transmissão. É possível fazer uma transmissão com uma, duas ou três camadas, dependendo dos requisitos da transmissão. Os segmentos contidos em cada camada terão necessariamente a mesma configuração, e é esta característica que habilita a transmissão hierárquica. As figuras 4.2, 4.3 e 4.4 ilustram a segmentação da banda em camadas, que por sua vez é particionada em segmentos.

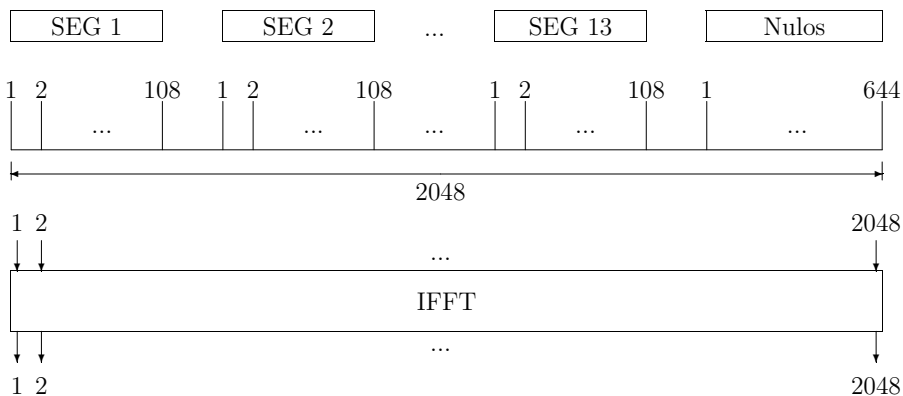


Figura 4.3: Disposição das portadoras e segmentos na banda de frequência



Figura 4.4: Exemplo de distribuição de camadas dentro da banda de frequência

Os desenvolvedores deste padrão se preocuparam em fazê-lo com um alto grau de flexibilidade. Para tal, disponibilizaram uma série de parâmetros que podem ser configurados de acordo com as condições do canal. Estes parâmetros são apresentados nas tabelas 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, e serão discutidas nas sessões que seguem.

Modo		Modo 1		Modo 2		Modo 3	
Largura de banda		3000/7 = 428,57 KHz					
Espaço entre portadoras		250/63 = 3,968 KHz		125/63 = 1,984 KHz		125/126 = 0,992 KHz	
Nº de portadoras	Total	108	108	216	216	432	432
	Dado	96	96	192	192	432	432
	SP*	9	0	18	0	36	0
	CP*	0	1	0	1	0	1
	TMCC**	1	5	2	10	4	20
	AC1***	2	2	4	4	8	8
	AC2***	0	4	0	9	0	19
Esquemas de modulação		QPSK QAM 16 QAM 64	DQPSK	QPSK QAM 16 QAM 64	DQPSK	QPSK QAM 16 QAM 64	DQPSK
Símbolo por quadro		204					
Tamanho efetivo do símbolo		252 μ s		504 μ s		1008 μ s	
Intervalo de Guarda		63 μ s (1/4) 31,5 μ s (1/8) 15,75 μ s (1/16) 7,875 μ s (1/32)		126 μ s (1/4) 63 μ s (1/8) 31,5 μ s (1/16) 15,75 μ s (1/32)		252 μ s (1/4) 126 μ s (1/8) 63 μ s (1/16) 31,5 μ s (1/32)	
Tamanho do quadro		64,26 ms (1/4) 57,83 ms (1/8) 54,62 ms (1/16) 53,01 ms (1/32)		128,52 ms (1/4) 115,67 ms (1/8) 109,24 ms (1/16) 106,03 ms (1/32)		257,04 ms (1/4) 231,37 ms (1/8) 218,48 ms (1/16) 212,06 ms (1/32)	
Frequência de amostragem da IFFT		512/63 = 8,12698 MHz					
Código interno		Codificador Convolutivo (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)					
Código externo		RS (204,188)					

Tabela 4.2: Parâmetros do segmento OFDM

* Os canais SP (*Scattered Pilot*) e CP (*Continual Pilot*) são usados pelo receptor para sincronização e demodulação.

** TMCC (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*) são informações de controle.

*** Os canais AC (*Auxiliary Channel*) são usados para transmissão de informações adicionais. AC1 está disponível em números iguais em cada segmento, e AC2 apenas nos segmentos que utilizam modulação adicional.

Modo		Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos N_s		13		
Largura de banda		$3000/7$ (KHz) x N_s + $250/63$ (KHz) = 5,575 MHz	$3000/7$ (KHz) x N_s + $125/63$ (KHz) = 5,573 MHz	$3000/7$ (KHz) x N_s + $125/126$ (KHz) = 5,572 MHz
Número de segmentos com modulação diferencial		n_d		
Número de segmentos com modulação síncrona		n_s ($N_s = n_s + n_d$)		
Espaço entre portadoras		$250/63 = 3,968$ KHz	$125/63 = 1,984$ KHz	$125/126 = 0,992$ KHz
Nº de portadoras	Total	$108 \times N_s + 1 = 1405$	$216 \times N_s + 1 = 2809$	$432 \times N_s + 1 = 5617$
	Dado	$96 \times N_s = 1248$	$192 \times N_s = 2496$	$384 \times N_s = 4992$
	SP	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP*	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$8 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$8 \times N_s = 104$
	AC2	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Esquemas de modulação		QPSK, QAM16, QAM64, DQPSK		
Símbolo por quadro		204		
Tamanho efetivo do símbolo		$252 \mu s$	$504 \mu s$	$1008 \mu s$
Intervalo de Guarda		$63 \mu s$ (1/4) $31,5 \mu s$ (1/8) $15,75 \mu s$ (1/16) $7,875 \mu s$ (1/32)	$126 \mu s$ (1/4) $63 \mu s$ (1/8) $31,5 \mu s$ (1/16) $15,75 \mu s$ (1/32)	$252 \mu s$ (1/4) $126 \mu s$ (1/8) $63 \mu s$ (1/16) $31,5 \mu s$ (1/32)
Tamanho do quadro		$64,26$ ms (1/4) $57,83$ ms (1/8) $54,62$ ms (1/16) $53,01$ ms (1/32)	$128,52$ ms (1/4) $115,67$ ms (1/8) $109,24$ ms (1/16) $106,03$ ms (1/32)	$257,04$ ms (1/4) $231,37$ ms (1/8) $218,48$ ms (1/16) $212,06$ ms (1/32)
Código interno		Codificador Convolutacional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
Código externo		RS (204,188)		

Tabela 4.3: Parâmetros do sinal transmitido

* O CP é uma cópia do sinal CP de referência, localizado à direita da banda.

Modulação	Taxa do codificador convolucional	Número de TSP transmitidos Modo 1 / 2 / 3	Taxa de dados (Kbps)			
			IG 1/4	IG 1/8	IG 1/16	IG 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
QAM16	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	1021,30
	5/6	40 / 80 / 160	936,19	1040,21	1101,40	1134,78
	7/8	42 / 84 / 168	983,00	1092,22	1156,47	1191,52
QAM64	1/2	36 / 72 / 144	842,57	936,19	991,26	1021,30
	2/3	48 / 96 / 192	1123,43	1248,26	1321,68	1361,74
	3/4	54 / 108 / 216	1263,86	1404,29	1486,90	1531,95
	5/6	60 / 120 / 240	1404,29	1560,32	1652,11	1702,17
	7/8	63 / 126 / 252	1474,5	1632,34	1734,71	1787,28

Tabela 4.4: Taxa de dados para um segmento.

Modulação	Taxa do codificador convolucional	Número de TSP transmitidos Modo 1 / 2 / 3	Taxa de dados (Mbps)			
			IG 1/4	IG 1/8	IG 1/16	IG 1/32
DQPSK	1/2	156 / 312 / 624	3,651	4,056	4,259	4,425
	2/3	208 / 416 / 832	4,868	5,409	5,727	5,900
QPSK	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
QAM16	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	15,498
QAM64	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

Tabela 4.5: Taxa de dados do sistema, composto pelos 13 segmentos.

4.1

O processo de transmissão

O sinal que é inserido no primeiro bloco do sistema de codificação, o remultiplexador TS (*transport stream*) vem de um multiplexador externo MPEG2. A função do remultiplexador TS é arranjar o fluxo de dados MPEG2 de acordo com o padrão ARIB STD-B32 (*Video Coding, Audio Coding and Multiplexing Specifications for Digital Broadcasting*). Este arranjo consiste na divisão do fluxo em blocos de 188 bytes, que são chamados de MPEG2 TSP (*transport stream packet*).

Os TSPs são enviados para um segmentador, e são rearranjados em um, dois ou três blocos de codificação. Estes blocos têm configurações independentes e garantem diferentes níveis de proteção para informação que viaja no canal de comunicação. Estes blocos são chamados de camadas do sistema, são compostos por uma série de etapas, e executam funções como entrelaçamento, codificação e modulação. Existe ainda um ajustador de atraso que é responsável por igualar o atraso entre as camadas, ainda que estas tenham configurações distintas e provoquem atrasos diferentes.

Os dados das camadas passam também por blocos moduladores, que mapeiam os dados em constelações de modulação digital. Após o mapeamento, os dados são reagrupados em um único fluxo e enviados para o entrelaçador na frequência. Sua função é embaralhar as portadoras para evitar que o desvanecimento em surto prejudique as informações que viajam no canal. O entrelaçador no tempo é o próximo estágio, seguido pelo estruturador de quadro, e pela IFFT. Neste ponto o sinal está quase pronto para ser transmitido, faltando a inserção de um intervalo de guarda, da transformação das amostras em sinal contínuo e da elevação da frequência deste sinal contínuo para o valor de alta frequência definido no padrão. Uma vez pronto para transmissão, o sinal é enviado para antena e o processo de transmissão é concluído.

4.2

A codificação de canal

Uma breve descrição do processo de codificação do canal foi apresentado na sessão anterior, e será profundamente abordada nas que seguem. O diagrama em blocos deste processo é apresentado na figura 4.5.

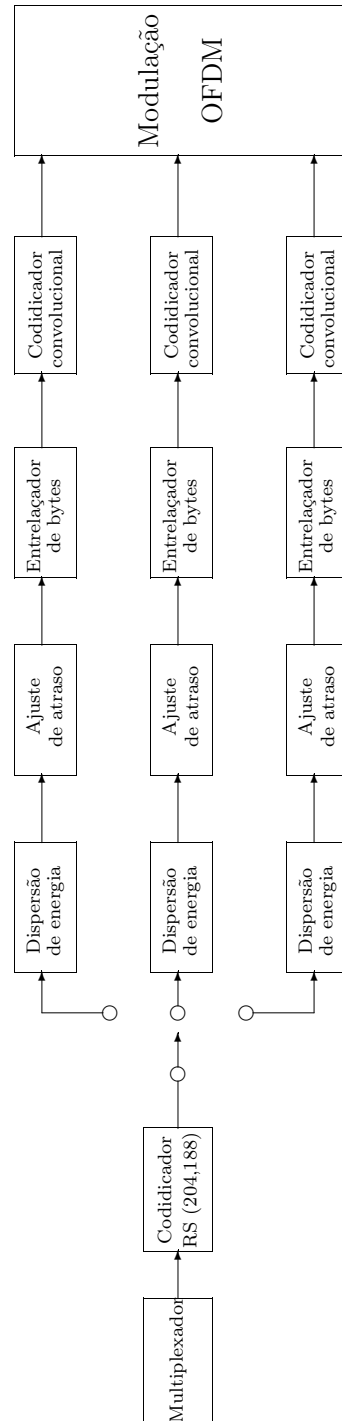


Figura 4.5: Diagrama em blocos da codificação de canal

4.2.1 Remultiplexação do TS

O bloco remultiplexador TS, como o próprio nome diz, tem a função de formatar o fluxo de dados MPEG2 vindo com multiplexador externo e entregar ao codificador externo. O processo é iniciado com a quebra do fluxo de entrada em unidades elementares de 188 bytes de tamanho, que

são denominadas MPEG2 TSP. Então recebem mais 16 bytes nulos, e com 204 bytes de tamanho são denominados TSPs de transmissão (*Transmission TSP*). A taxa de geração de pacotes MPEG2 TSP é 4 vezes maior que a frequência IFFT para que o sincronismo seja mantido.

A saída do remultiplexador TS é formada por um fluxo de quadros multiplex, que por sua vez são compostos por TSPs de transmissão. O tamanho do quadro multiplex não é fixo, e é determinado pela configuração do modo de transmissão e da taxa do intervalo de guarda IG. A tabela 4.6 fornece a lista de parâmetros e tamanho em TSPs dos quadros que compõem o fluxo multiplex. Esta tabela é gerada a partir da equação 4-1, onde n é a ordem de tamanho da FFT e IG é o tamanho do intervalo de guarda.

$$T = 2^{n-1}(1 + IG) \tag{4-1}$$

Modo	IG = 1/4	IG = 1/8	IG = 1/16	IG = 1/32
1	1280	1152	1088	1056
2	2560	2304	2176	2112
3	5120	4608	4352	4224

Tabela 4.6: Tamanhos do Frame Multiplex segundo modo e tamanho do IG

O quadro multiplex é também composto por TSPs nulos, chamados de TSP_{NULL} . Estes TSPs não contém nenhuma informação, servindo apenas como enxerto do quadro multiplex. Este procedimento é executado quando o número de TSPs requisitado por determinada camada é superior ao número de TSPs disponibilizados pelo remultiplexador TS. Os TSP_{NULL} são devidamente identificados e excluídos no processo de recepção. A figura 4.6 apresenta um quadro multiplex para configuração de modo de transmissão 1 e intervalo de guarda IG = 1/8.

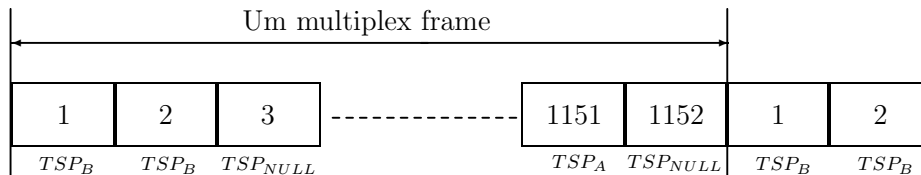


Figura 4.6: Exemplo do fluxo de transporte remultiplexado (Modo 1, IG = 1/8).

4.2.2 O Codificador Externo

O esquema de codificação externo utilizado pelo ISDB-T é o Reed-Solomon e tem a função de proteger os dados no início do processo de codificação de canal. O RS(204,188) é empregado em cada TSP de transmissão que chega ao codificador, independente da camada que este pertença. Este tipo de codificação é conhecido com esquema encurtado, e é assim denominado pois 255 bytes são gerados a partir dos 188 disponibilizados no início do codificador, e destes 204 são processados e 51 são eliminados.

Este esquema de codificação faz uso do Corpo de Galois (2^8), com o polinômio $p(x)$ descrito na equação 4-2 e gera os códigos segundo o polinômio $g(x)$ descrito na equação 4-3. É importante salientar que $\alpha = 02_{HEX}$.

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^2 + 1 \quad (4-2)$$

$$g(x) = (x - 1)(x - \alpha)(x - \alpha^2) \dots (x - \alpha^{15}) \quad (4-3)$$

O TSP de transmissão que chega no codificador RS, como foi descrito anteriormente, contém 16 bytes nulos. O restante é próprio TSP MPEG2 que contém 188 bytes, sendo 1 byte para sincronismo e 187 para dados. No processo de codificação, um novo TSP é gerado a partir do TSP de transmissão, excluindo os 16 bytes nulos e agregando 16 bytes de paridade após o campo de dados, mantendo o tamanho de 204 bytes. A figura 4.7 ilustra esta estrutura.

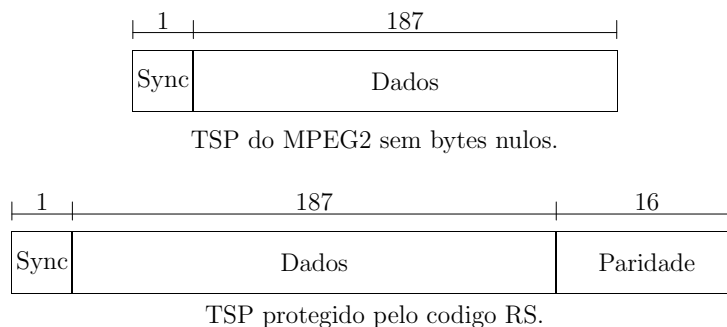


Figura 4.7: TSP do MPEG2 e TSP protegido pelo código RS.

4.2.3 Divisão do TS em camadas hierárquicas

O bloco divisor tem a função de separar os diferentes fluxos de acordo com as camadas que pertencem. Assim, dependendo da configuração inicial, os TSP de transmissão são direcionados para uma, duas ou três camadas. Um processo semelhante e inverso é executado no receptor, processo este que agrupa os dados que chegam das diferentes camadas e os entrega ao decodificador externo RS(204-188).

4.2.4 Dispersor de Energia

O processo de dispersão de energia acontece independentemente em cada uma das camadas e tem a função de evitar que uma seqüência de sucessivos zeros ou uns sejam transmitidos, garantindo uma transição binária adequada. Este processo é executado a partir de uma operação binária XOR, entre os dados da camada em referência e uma seqüência pseudo-aleatória, gerada pelo registrador de deslocamento mostrado na figura 4.8.

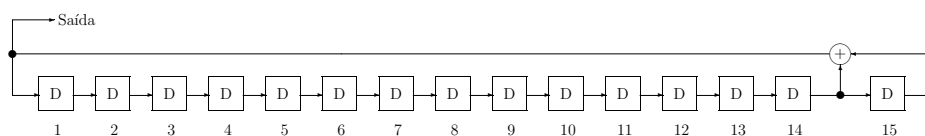


Figura 4.8: Diagrama em blocos do registrador de deslocamento formador da Seqüência de Bits Pseudo-Aleatória

O polinômio gerador deste registrador de deslocamento é apresentado na equação 4-4 sendo o seu estado inicial ' 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 '. Este estado inicial é formado em ordem crescente da direita para esquerda, e foi escolhido pois gera uma seqüência ótima. Para ser considerada ótima, uma seqüência não deve repetir um estado, dentro do seu comprimento máximo.

$$g(x) = X^{15} + X^{14} + 1 \quad (4-4)$$

4.2.5 Ajuste de Atraso

A transmissão hierárquica tem como característica a configuração de diferentes parâmetros (taxa do codificador convolucional, esquema de modulação, entre outros) nas camadas de forma independente. Estas diferentes configurações implicam que os dados tenham tamanhos distintos e que provoquem diferentes atrasos no receptor. Para evitar diferentes atrasos entre as camadas, um esquema de ajuste de atraso é executado no processo de transmissão dos dados.

O ajuste é feito inserindo diferentes atrasos nas camadas de acordo com o esquema de modulação que será empregado, bem como pela taxa do código que o codificador interno utilizará. A tabela 4.7 mostra os atrasos em TSPs para as diversas possibilidades de configuração.

Modulação	Taxa do código	Modo 1	Modo 2	Modo 3
QPSK	1/2	12 <i>N</i> -11	24 <i>N</i> -11	48 <i>N</i> -11
	2/3	16 <i>N</i> -11	32 <i>N</i> -11	64 <i>N</i> -11
	3/4	18 <i>N</i> -11	36 <i>N</i> -11	72 <i>N</i> -11
	5/6	20 <i>N</i> -11	40 <i>N</i> -11	80 <i>N</i> -11
	7/8	21 <i>N</i> -11	42 <i>N</i> -11	84 <i>N</i> -11
QAM16	1/2	24 <i>N</i> -11	48 <i>N</i> -11	96 <i>N</i> -11
	2/3	32 <i>N</i> -11	64 <i>N</i> -11	128 <i>N</i> -11
	3/4	36 <i>N</i> -11	72 <i>N</i> -11	144 <i>N</i> -11
	5/6	40 <i>N</i> -11	80 <i>N</i> -11	160 <i>N</i> -11
	7/8	42 <i>N</i> -11	84 <i>N</i> -11	168 <i>N</i> -11
QAM64	1/2	36 <i>N</i> -11	72 <i>N</i> -11	144 <i>N</i> -11
	2/3	48 <i>N</i> -11	96 <i>N</i> -11	192 <i>N</i> -11
	3/4	54 <i>N</i> -11	108 <i>N</i> -11	216 <i>N</i> -11
	5/6	60 <i>N</i> -11	120 <i>N</i> -11	240 <i>N</i> -11
	7/8	63 <i>N</i> -11	126 <i>N</i> -11	252 <i>N</i> -11

Tabela 4.7: Valores em TSP requeridos para ajuste de atraso, devido ação do entrelaçador de byte, onde *N* representa o número de segmentos utilizados pela camada

Outra característica intrínseca à transmissão hierárquica são as diferentes taxas de transmissão de bits alcançadas. Uma vez que as taxas do código empregadas no codificador convolucional são diferentes, o número de bits adicionados para proteção também será. Como resultado temos diferentes taxas de transmissão.

4.2.6 Entrelaçador de Byte

O entrelaçador de byte, como o próprio nome diz, tem a função de misturar os bytes formadores do TSP de transmissão. Cada TSP de transmissão é composto por 204 bytes, e são misturados como forma de combate dos possíveis problemas causado pelo canal de transmissão.

Este é o primeiro entrelaçador que atua nos dados antes de serem transmitidos, e assim como o dispersor de energia, funciona independentemente por camada. Ele é composto por 12 braços, sendo que cada um insere um atraso diferente, pois possuem buffers com tamanhos diferentes. A exceção é o primeiro braço que não introduz atraso, como pode ser visto na figura 4.9, que apresenta o esquema do entrelaçador de byte.

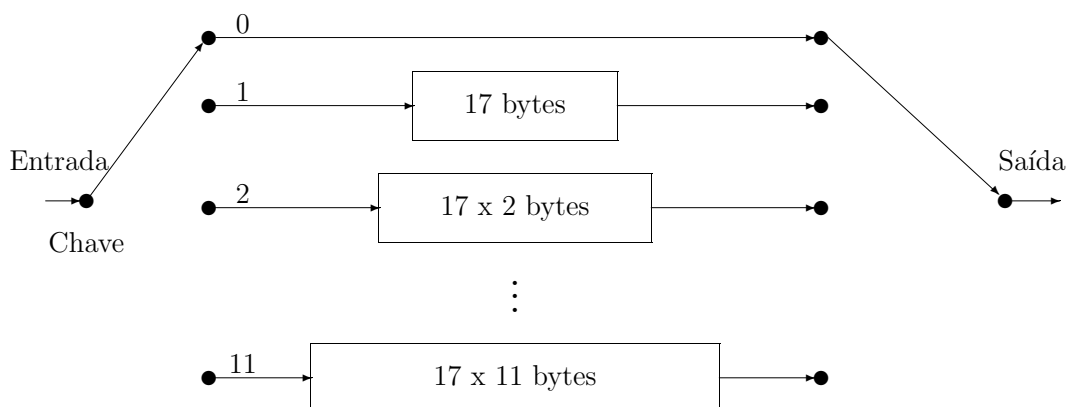


Figura 4.9: Diagrama em blocos do entrelaçador de byte

O tamanho dos buffers dos braços são múltiplos de 17 bytes, seguindo a seguinte ordem: 17×0 , 17×1 , 17×2 , ..., 17×11 . Os dados entram em ordem crescente no entrelaçador, e alimentam os braços também na ordem crescente. Uma vez atingido o último braço, o ciclo se completa, e os bytes são novamente inseridos no braço 0.

4.2.7 Codificador Interno

A codificação interna é executada por um codificador convolucional, que também tem a função de proteger os dados, inserindo bits redundantes segundo um diagrama do bloco apresentado na figura 4.10.

O diagrama do codificador utilizado tem um *constraint length* $k = 7$, e gera um código de taxa $1/2$. Este bloco contém duas saídas, cada uma delas formada pela união de diferentes estágios do registrador de deslocamento, que são definidos por $G_1 = 171_{oct}$ e $G_2 = 133_{oct}$.

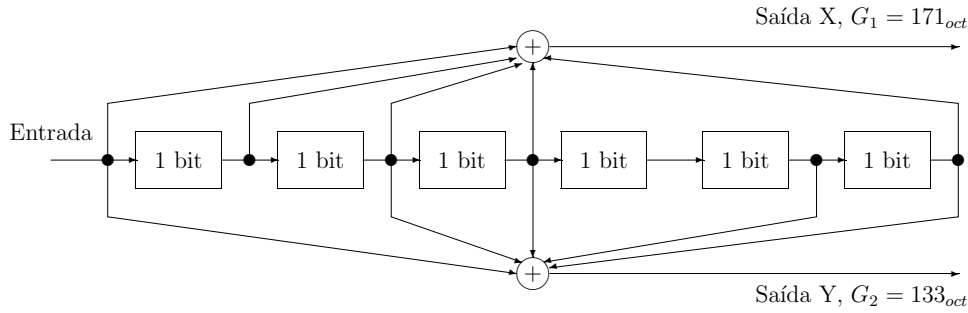


Figura 4.10: Diagrama do codificador convolucional de taxa 1/2 e k = 7.

Este esquema de codificação possibilita a geração de códigos com diferentes taxas. Assim, as taxas 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8 são geradas a partir da saída do codificador convolucional, que gera um código de taxa 1/2. Para tal, um esquema de supressão de bits é empregado, conforme apresentado na tabela 4.8.

Taxa do Código	Padrão de supressão	Seqüência transmitida
1/2	X:1 , Y:1	X_1, Y_1
2/3	X:10 , Y:11	X_1, Y_1, Y_2
3/4	X:101 , Y:110	X_1, Y_1, Y_2, X_3
5/6	X:10101 , Y:11010	$X_1, Y_1, Y_2, X_3, Y_4, X_5$
7/8	X:10000101 , Y:1111010	$X_1, Y_1, Y_2, X_3, Y_4, X_5, Y_6, X_7$

Tabela 4.8: O codificador convolucional de taxa 1/2 e k=7

4.3 Modulação

Esta parte do sistema é responsável por converter as informações codificadas pelo bloco codificador de canal em ondas eletromagnéticas. Para executar esta tarefa, várias ações são executadas por diferentes blocos. A seqüência destes blocos é apresentada na na figura 4.11.

4.3.1 Mapeamento

O primeiro bloco do processo de modulação é o mapeamento. A primeira das suas duas funções é executar um entrelaçamento de bits para depois mapeá-los em uma constelação de modulação digital.

O processo de entrelaçamento, como o próprio nome diz, tem a função de embaralhar os bits, segundo a regra de cada mapa utilizado. Como

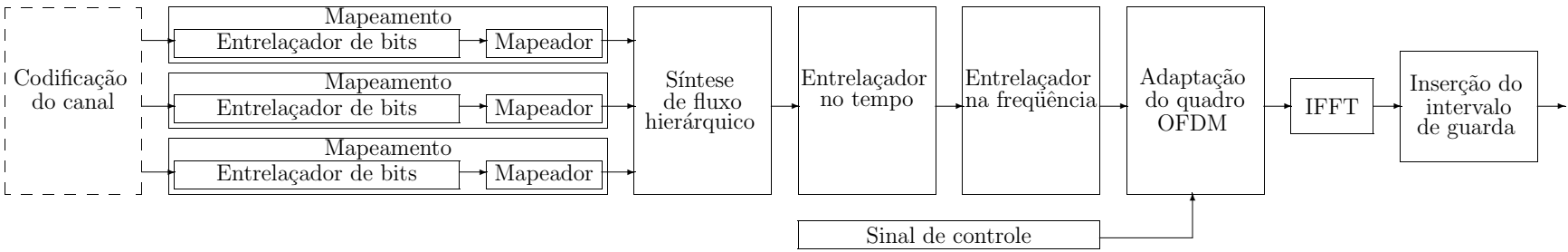


Figura 4.11 : Diagrama em blocos do processo de modulação

conseqüência, um atraso de bits é introduzido em cada segmento, que varia de mapeamento para mapeamento. Esta diferença é corrigida com a inserção de atraso de correção, conforme a tabela 4.9, de forma que o atraso total seja uniforme e igual a 2 símbolos OFDM. Note que N representa o número de segmentos utilizados em cada camada.

Esquema de modulação	Valor do ajuste de atraso em bits		
	Modo1	Modo 2	Modo 3
QPSK / DQPSK	$384 \times N - 240$	$768 \times N - 240$	$1536 \times N - 240$
QAM 16	$768 \times N - 480$	$1536 \times N - 480$	$3072 \times N - 480$
QAM 64	$1536 \times N - 720$	$3072 \times N - 720$	$4608 \times N - 720$

Tabela 4.9: Valores requeridos para ajuste de atraso.

As constelações utilizadas no ISDB-T e seus respectivos blocos de entrelaçamento são apresentados nas próximas sessões, enquanto um diagrama esquemático de bloco de mapeamento é apresentado a figura 4.12.

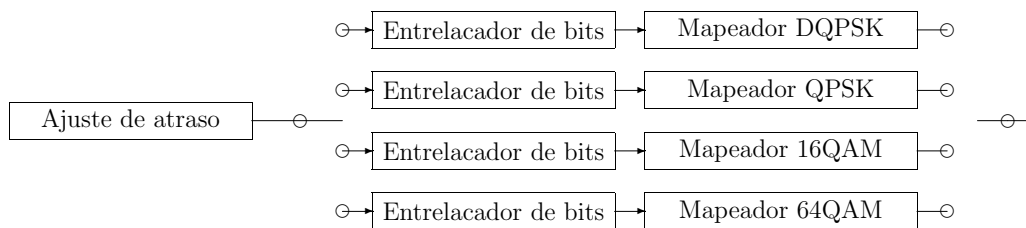


Figura 4.12: Esquema do bloco mapeador

DQPSK

Este é o único esquema de modulação não coerente empregado nos dados. O $\frac{\pi}{4}$ DQPSK (*Differential Quadrature Shift keying*) tem a característica de transmitir suas informações na diferença de fase entre o símbolo atual e o símbolo anterior. Este esquema de mapeamento faz uso de 8 possíveis pseudo-símbolos para carregar a informação de 2 bits, sendo que a cada transmissão apenas 4 deles são usados, e na próxima transmissão, apenas os outros 4 símbolos podem ser utilizados. As possíveis transições de fase entre símbolos são de $\pm \frac{\pi}{4}$ e $\pm \frac{3\pi}{4}$, como pode ser verificado na constelação apresentada na figura 4.13. Assim, temos duas constelações distintas dentro do mesmo mapa, cada uma com quatro símbolos e que são utilizadas em tempos distintos e defasadas de $\frac{\pi}{4}$. Esta característica que permite afirmar que o mapeamento DQPSK é composto por oito pseudo-símbolos.

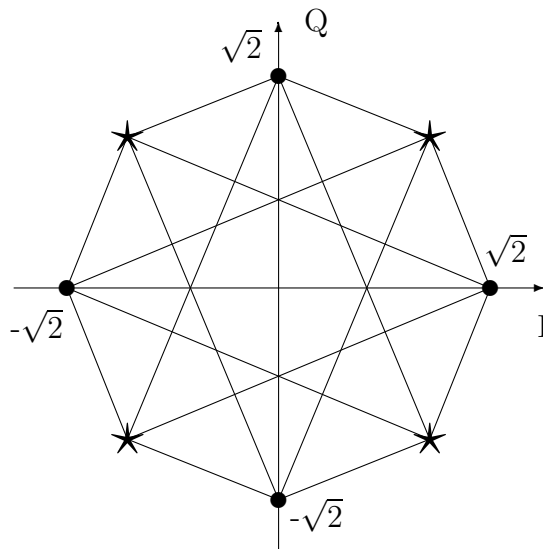


Figura 4.13: Constelação DQPSK

O esquema completo proposto para o mapeamento DQPSK é apresentado na figura 4.14. Sua função é transformar uma seqüência serial de bits em dois fluxos distintos, identificados por I e Q , que são os canais fase e quadratura. Após a separação acontece o entrelaçamento, que é a introdução de um atraso de 120 bits no canal Q em relação ao canal I , e ambos são transmitidos para o próximo bloco.

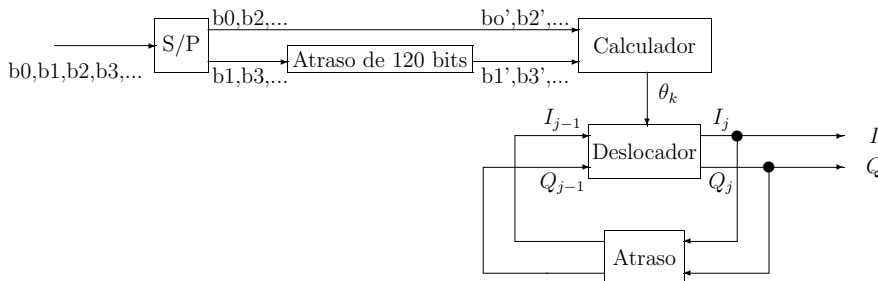


Figura 4.14: Entrelaçamento de bits e mapeamento DQPSK

O processo de mapeamento começa com a entrada dos bits no calculador de fase. Sua função é converter dois bits, sendo um do canal I e outro do canal Q , em uma fase, que é então inserida num deslocador de fase. Este estágio tem a função de somar fase atual com a fase anterior, e como resposta temos as diferentes fases no tempo, cada uma relacionada com os bits de entrada, e prontas para ser encaminhada ao próximo bloco.

QPSK

O esquema de mapeamento QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) é semelhante ao DQPSK, pois é uma derivação. A seqüência serial de bits vindas do codificador interno é separada em dois canais paralelos denominados de canal I e canal Q , assim como no DQPSK. Também é idêntico o processo de entrelaçamento, que executa um atraso de 120 bits no canal Q em relação ao canal I . A diferença entre os dois sistemas é que o QPSK, codifica os bits em fases com referência à fase 0. O processo de divisão de canal e entrelaçamento é apresentado na figura 4.15.

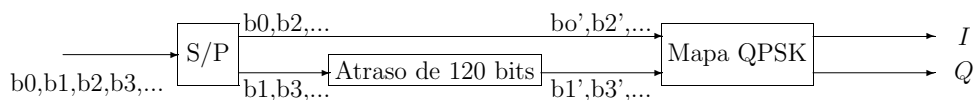


Figura 4.15: Entrelaçamento do mapeamento QPSK

O QPSK é um esquema de modulação coerente, pois as informações transmitidas estão contidas na fase do símbolo em referência ao ponto inicial, ou seja, o 0, e não mais na fase do símbolo anterior. Seu nome sugere o número de símbolos disponíveis no seu mapeamento, que são quatro, e pode ser verificado na figura 4.16.

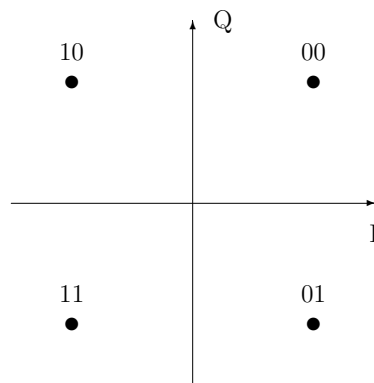


Figura 4.16: Constelação QPSK

QAM-16

O esquema de mapeamento do QAM-16 (*Quadrature Amplitude Modulation*) tem um processo de separação da seqüência de bits e um processo de entrelaçamento um pouco diferente dos esquemas apresentados anteriormente. Enquanto no QPSK e no DQPSK a seqüência é separada em 2

fluxos distintos, o QAM-16 necessita de 4 fluxos distintos, pois cada símbolo desta constelação é formado por 4 bits. Conseqüentemente, o esquema de entrelaçamento para o mapeamento QAM-16 é adaptado para inserir um atraso diferente em cada um dos diferentes fluxos de informações, o que pode ser visto na figura 4.17.

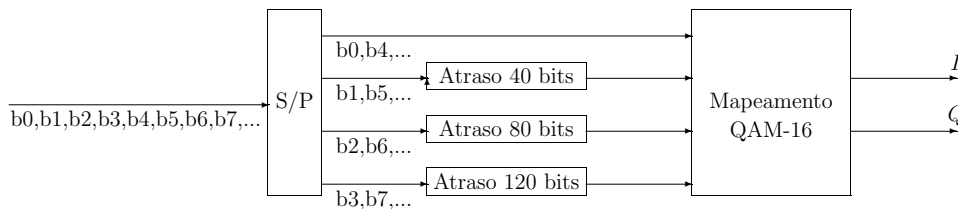


Figura 4.17: Entrelaçamento do mapeamento QAM-16

O QAM-16 também é considerado um tipo de modulação coerente, sendo formado por 16 símbolos. Diferente do QPSK, que restrita a guardar apenas a informação de fase do símbolo, O QAM 16 guarda informações de fase e de amplitude simultaneamente. O mapa desta constelação é apresentado na figura 4.18, e nela pode ser constatado que existem símbolos com amplitudes distintas e fases iguais, e fases distintas com amplitudes iguais.

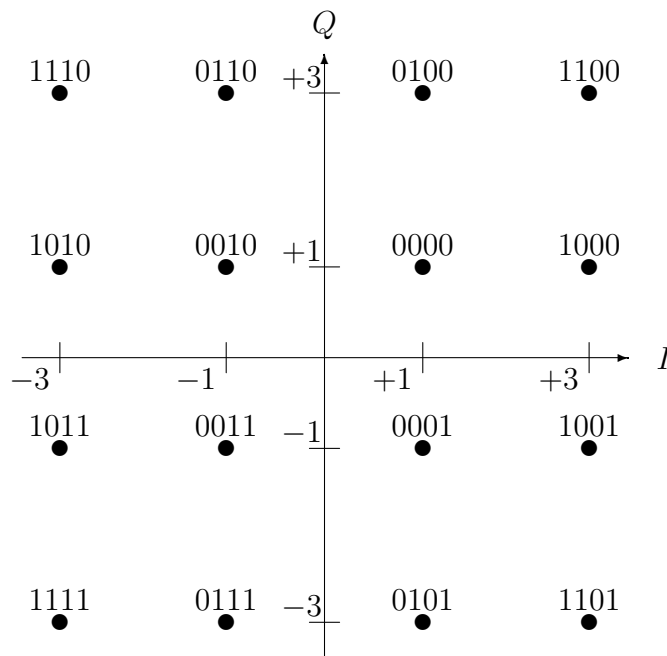


Figura 4.18: Constelação QAM-16

QAM-64

O QAM-64 (*Quadrature Amplitude Modulation*) é muito semelhante ao QAM-16. A diferença entre eles é apenas o número de bits que compõem cada símbolo, e conseqüentemente o número de símbolos que compõem cada constelação. Desta forma, o processo de separação do fluxo serial de bits e o processo de mapeamento também devem ser adaptados para suportar esta mudança. Em uma constelação de 64 símbolos, são necessários 6 bits para representar cada símbolo, e conseqüentemente a seqüência serial será dividida em 6 fluxos independentes. No entrelaçamento, os atrasos são inseridos proporcionalmente aos fluxos, conforme mostrado na figura 4.19.

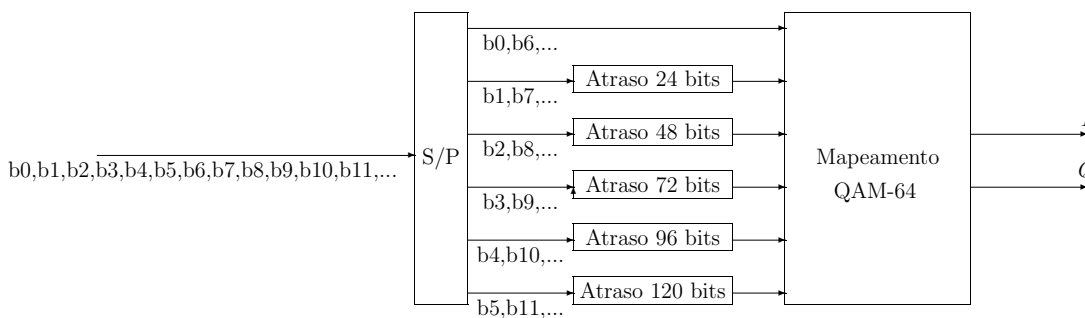


Figura 4.19: Entrelaçamento do mapeamento QAM-64

O processo de mapeamento do QAM-64 também codifica suas informações na fase na amplitude dos seus símbolos. Assim como no QAM-16, a constelação é composta por símbolos de fases diferentes e amplitudes iguais e fases iguais e amplitudes diferentes.

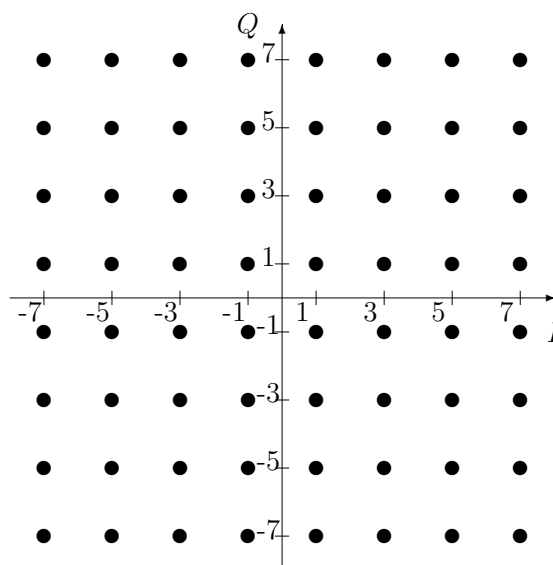


Figura 4.20: Constelação QAM-64

Normalização do nível de modulação

Quando trabalhamos com modulações de diferentes níveis, temos que tomar o cuidado de normalizar a máxima energia de símbolo das diferentes constelações. Assim, um fator de normalização é multiplicado ao símbolo de cada constelação, que está na forma $Z = I + jQ$. Estes fatores são apresentados na tabela 4.10.

Esquema de modulação	Fator de normalização
$\frac{\pi}{4}$ DQPSK	$Z/\sqrt{2}$
QPSK	$Z/\sqrt{2}$
QAM 16	$Z/\sqrt{10}$
QAM 64	$Z/\sqrt{42}$

Tabela 4.10: Valores requeridos para normalização dos símbolos

4.3.2 Combinação das camadas de sistema

Os dados das camadas do sistemas são novamente combinadas neste ponto, pois todos os parâmetros que são configurados diferentemente nas camadas já foram executados. As figuras 4.21, 4.22, 4.23 mostram como é feita esta combinação para os três modos de transmissão.

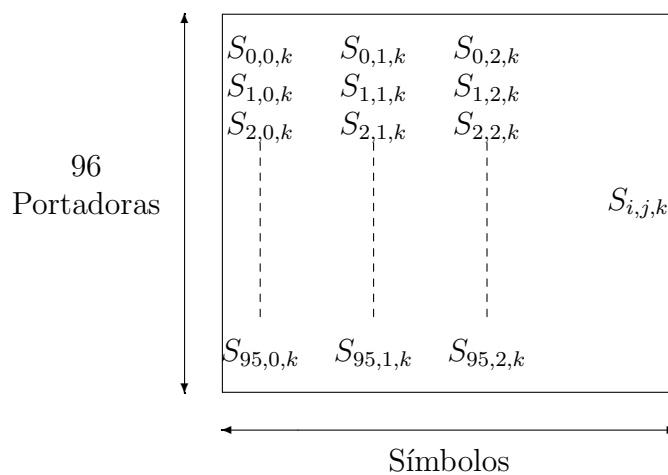


Figura 4.21: Configuração de um segmento para Modo 1

É importante perceber que N_{s1} , N_{s2} e N_{s3} equivalem ao número de segmentos que compõem as camadas um, dois e três respectivamente, n_c é igual ao número de portadoras de cada segmento, e $N_{s1} + N_{s2} + N_{s3} = 13$.

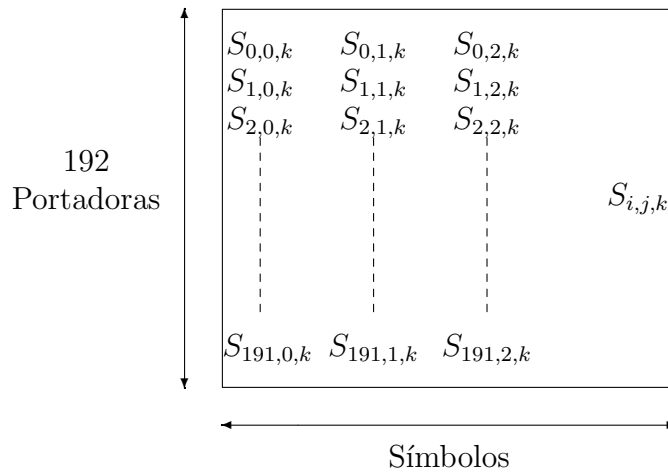


Figura 4.22: Configuração de um segmento para Modo 2

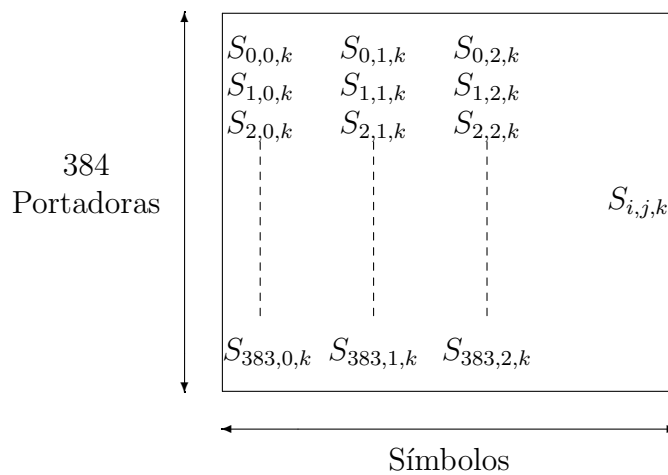


Figura 4.23: Configuração de um segmento para Modo 3

4.3.3 O entrelaçador no tempo

O entrelaçador no tempo tem a função de inserir atrasos entre as portadoras dos segmentos, de forma que uma seqüência de dados não seja transmitida num mesmo momento, ainda que estejam em portadoras diferentes. Esta ação é tomada para evitar que desvanecimentos em larga escala, também conhecido como desvanecimentos em rajadas, corrompam o sinal. O desvanecimento em larga escala atua em uma seqüência de dados, e por isso, o seu efeito é tão grave.

Um símbolo corrompido é facilmente recuperado pelos códigos interno e externo, mas uma seqüência de símbolos perdidos implicará na perda de um pedaço da informação, pois os códigos não conseguirão recuperá-la. O entrelaçador espalha os dados no domínio do tempo quando insere diferentes atrasos, e é esta a proteção contra o desvanecimento em larga escala, pois os símbolos não mais serão corrompidos em seqüência.

Os atrasos são inseridos nas portadoras, pelo entrelaçador no tempo, seqüencialmente em cada segmento. A disposição dos segmentos, bem como a ordem que é seguida para inserção dos atrasos é apresentada na figura 4.24. É importante lembrar que a cada novo segmento, a seqüência é reiniciada.

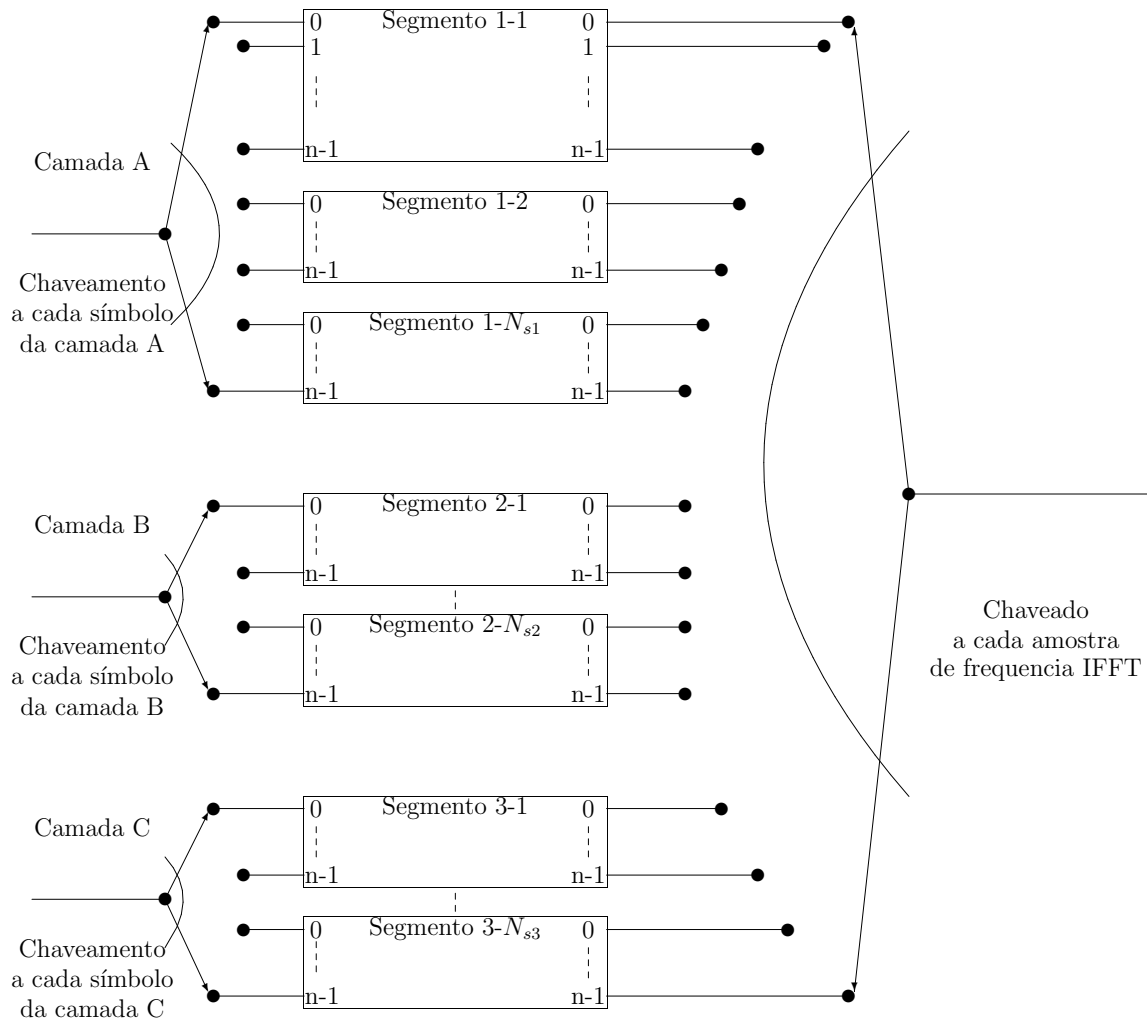


Figura 4.24: Diagrama esquemático do entrelaçador no tempo

O tamanho dos atraso inserido é definido no início da transmissão através da variável I. A partir daí cada portadora recebe um atraso diferente, gerado pela relação 4-5

$$m_i = [(i * 5) \text{mod} 96] * I \quad (4-5)$$

A variável I pode assumir alguns valores predeterminados, como pode ser visto na tabela 4.11. A decisão é feita segundo o modo de transmissão adotado, e pelo grau de proteção deve ser escolhido para combater os efeitos do desvanecimento em larga escala. Quanto maior o valor I, maior o valor o atraso e conseqüentemente mais protegido fica o sinal transmitido.

Modo 1			Modo 2			Modo 3		
I	Número de símbolos de ajustes	Número de quadros atrasados	I	Número de símbolos de ajustes	Número de quadros atrasados	I	Número de símbolos de ajustes	Número de quadros atrasados
0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	28	2	2	14	1	1	109	1
8	56	4	4	28	2	2	14	1
16	112	8	8	56	4	4	28	2

Tabela 4.11: Valores requeridos para ajuste de atraso pelo efeito do entrelaçador

O efeito do espalhamento no tempo é apresentado na figura 4.25. A seqüência em azul denota um segmento sem espalhamento no tempo enquanto a seqüência em vermelho representa um segmento que usa um entrelaçador no tempo com o parâmetro $I = 8$.

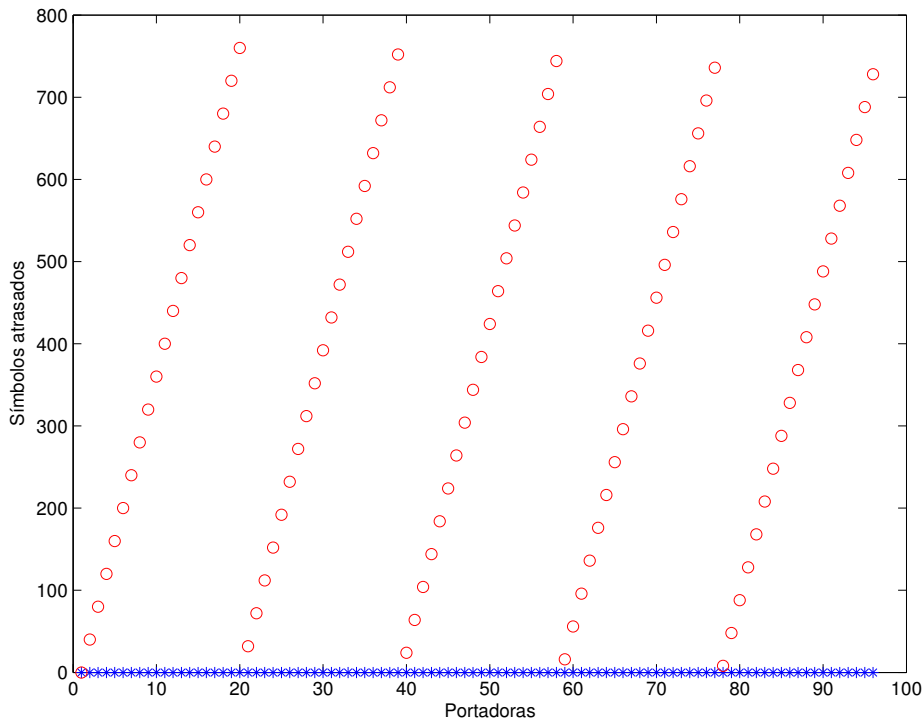


Figura 4.25: Comparação de dois segmentos sem e com entrelaçamento($I=8$).

4.3.4 O entrelaçamento na freqüência

O entrelaçador na freqüência tem a função de executar um embaralhamento nas portadoras de um mesmo segmento, de forma a dar um aspecto

aleatório ao espectro de frequências. Esta é mais uma proteção no sinal, visando reduzir os efeitos destrutivos do canal no sinal transmitido.

Este bloco é composto por sub-blocos, que executam as funções de entrelaçamento de dados, embaralhamento de frequências e rotação de portadoras em um mesmo segmento. O diagrama em blocos do entrelaçador na frequência é apresentado na figura 4.26

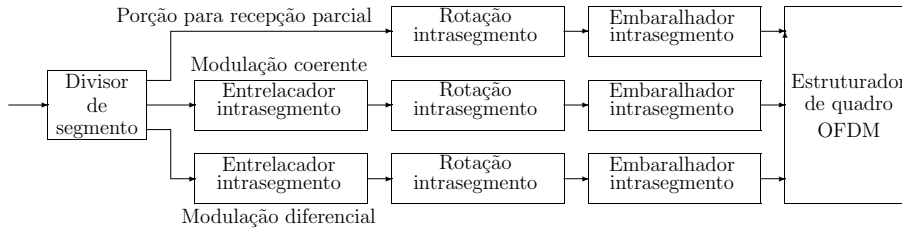


Figura 4.26: Diagrama esquemático do entrelaçador na frequência

Existem algumas peculiaridades no entrelaçador na frequência que devem ser consideradas. A primeira delas é que nenhum entrelaçamento de dados é executado na camada que se destina à recepção parcial. Outra particularidade é que o embaralhamento nas portadoras deve ser feito de forma independente quando uma das camadas utiliza um esquema de modulação coerente e outro não coerente. Isso é devido ao formato do quadro de transmissão OFDM ser diferente para estes tipos de modulação. Esta diferença será apresentada nas próximas sessões.

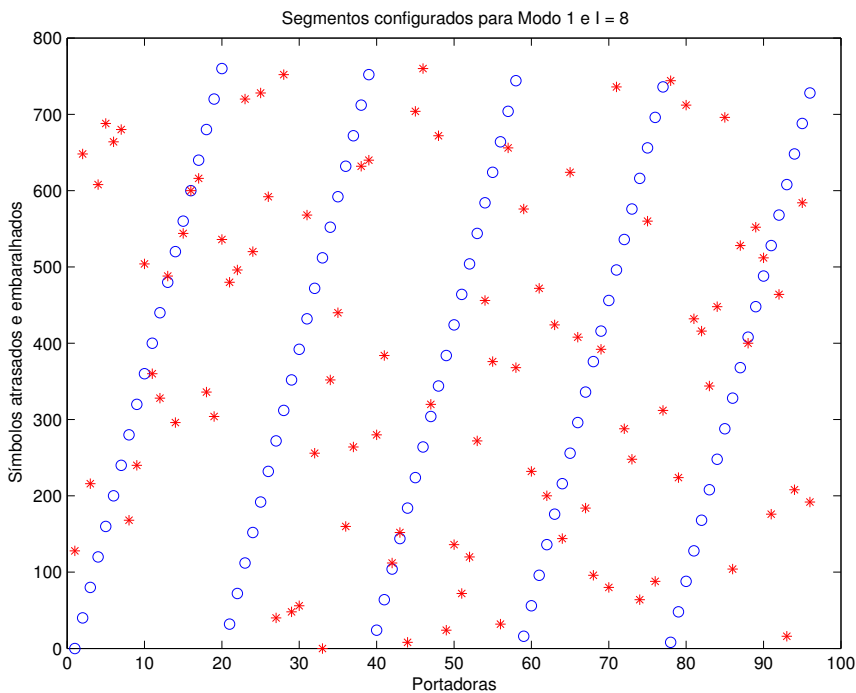


Figura 4.27: Comparação entre segmentos, um entrelaçado no tempo e outro no tempo e frequência.

O embaralhamento de portadoras é empregado nos segmentos independente do modo de transmissão. Na verdade, cada modo de transmissão especifica uma tabela de embaralhamento para as portadoras de um segmento. Estas tabelas estão disponíveis para consulta em [14] e [8], enquanto o efeito do embaralhamento pode ser verificado na figura 5.2. Os pontos azuis representam a seqüência que passou apenas pelo entrelaçador no tempo, enquanto os símbolos vermelhos mostram o efeito do embaralhamento produzido pelos entrelaçadores no tempo e na freqüência. No receptor o processo é executado de forma inversa, de forma que o sinal possa ser reconstituído e enviado para o desentrelaçador no tempo.

4.3.5 Estruturador de quadro

O estruturador de quadro é responsável por ordenar os símbolos em quadros OFDM, que serão posteriormente transmitidos. Existem duas estruturas básicas de quadro, que são selecionadas a partir do tipo de modulação empregada na camada. Estas duas estruturas recebem ainda os canais de sinal piloto CP, de controle TMCC e auxiliares AC1 e/ou AC2.

Configuração para modulação diferencial

O quadro de transmissão para modulação diferencial e modo de transmissão 1 é apresentado na figura 4.28. No ISDB-T existe apenas um tipo de modulação diferencial para os dados, que é o DQPSK.

Os símbolos que são entregues pelos entrelaçadores são arranjados nas portadoras, e representados por $S_{i,j}$, onde i representa o número da portadora em questão e j representa a posição de transmissão dentro de cada portadora. Note que o quadro tem 204 símbolos por portadora, sendo que para modo de transmissão 1, o número de portadoras total é igual a 108, sendo 96 portadoras de dados mais 12 portadoras de controle. No modo de transmissão 2 temos um total de 216 portadoras e no modo 3, 432. As informações completas relativas à composição do segmento são apresentadas na tabela 4.2.

Os sinais de controle são inseridos nos quadro de forma particular entre os segmentos. Os canais TMCC e AC são inseridos em portadoras distintas para diminuir os efeitos causados pelo multipercurso. As tabelas 4.12, 4.13, 4.14 mostram as portadoras reservadas para os canais TMCC e AC, para os diferentes segmentos.

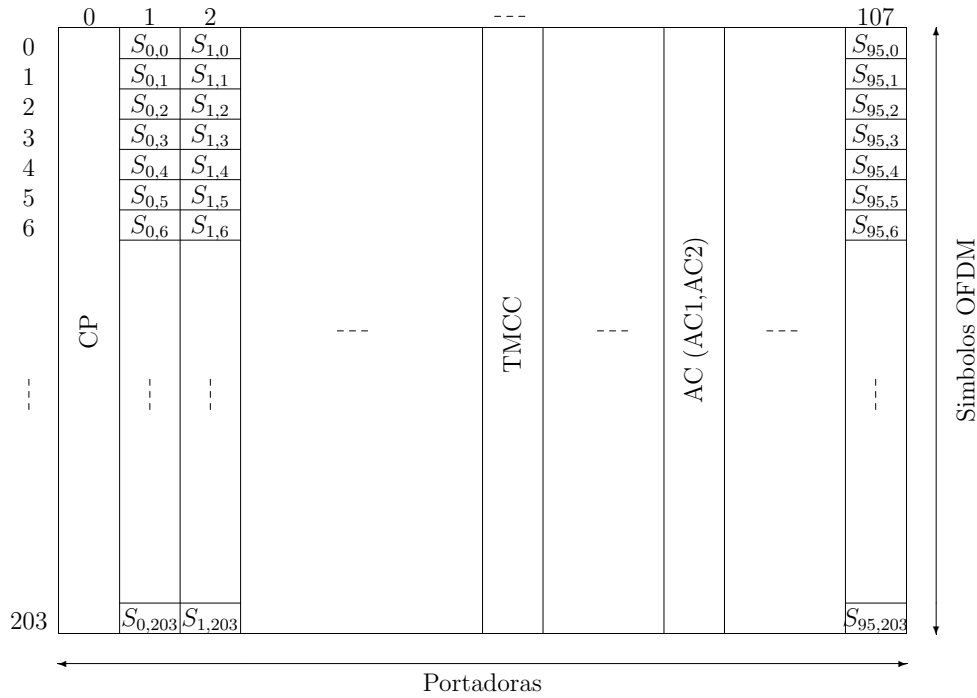


Figura 4.28: Configuração de um segmento para modulação diferencial em Modo 1

Já o sinal CP é transmitido na portadora mais a esquerda do espectro, ou seja, a portadora com menor frequência. Sua função é proporcionar ao receptor uma referência para execução da demodulação diferencial. O SP é introduzido sempre na portadora 0 em cada segmento, e tem a função de transmitir uma seqüência para a referência de sincronismo.

Segmento	11	9	7	5	3	1	0	2	4	6	8	10	12
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AC1-1	10	53	61	11	20	74	35	76	4	40	8	7	98
AC1-2	28	83	100	101	40	100	79	97	89	89	64	89	101
AC2-1	3	3	29	28	23	30	3	5	13	72	36	25	10
AC2-2	45	15	41	45	63	81	72	18	93	95	48	30	30
AC2-3	59	40	84	81	85	92	85	57	98	100	52	42	55
AC2-4	77	58	93	91	105	103	89	92	102	105	74	104	81
TMCC-1	13	25	4	36	10	7	49	31	16	5	78	34	23
TMCC-2	50	63	7	48	28	25	61	39	30	10	82	48	37
TMCC-3	70	73	17	55	44	47	96	47	37	21	85	54	51
TMCC-4	83	80	51	59	47	60	99	65	74	44	98	70	68
TMCC-5	87	93	71	86	54	87	104	72	83	61	102	101	105

Tabela 4.12: Posição dos canais TMCC e AC para Modo 1 e modulação diferencial

Segmento	11	9	7	5	3	1	0	2	4	6	8	10	12
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AC1-1	10	61	20	35	4	8	98	53	11	74	76	40	7
AC1-2	28	100	40	79	89	64	101	83	101	100	97	89	89
AC1-3	161	119	182	184	148	115	118	169	128	143	112	116	206
AC1-4	191	209	208	205	197	197	136	208	148	187	197	172	209
AC2-1	3	29	23	3	13	36	10	3	28	30	5	72	25
AC2-2	45	41	63	72	93	48	30	15	45	81	18	95	30
AC2-3	59	84	85	85	98	52	55	40	81	92	57	100	42
AC2-4	77	93	105	89	102	74	81	58	91	103	92	105	104
AC2-5	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
AC2-6	111	136	138	113	180	133	111	137	131	111	121	144	118
AC2-7	123	153	189	126	203	138	153	149	171	180	201	156	138
AC2-8	148	189	200	165	208	150	167	192	193	193	206	160	163
AC2-9	166	199	211	200	213	212	185	201	213	197	210	182	189
TMCC 1	13	4	10	49	16	78	23	25	36	7	31	5	34
TMCC 2	50	7	28	61	30	82	37	63	48	25	39	10	48
TMCC 3	70	17	44	96	37	85	51	73	55	47	47	21	54
TMCC 4	83	51	47	99	74	98	68	80	59	60	65	44	70
TMCC 5	87	71	54	104	83	102	105	93	86	87	72	61	101
TMCC 6	133	144	115	139	113	142	121	112	118	157	124	186	131
TMCC 7	171	156	133	147	118	156	158	115	136	169	138	190	145
TMCC 8	181	163	155	155	129	162	178	125	152	204	145	193	159
TMCC 9	188	167	168	173	152	178	191	159	155	207	182	206	176
TMCC 10	201	194	195	180	169	209	195	179	162	212	191	210	213

Tabela 4.13: Posição dos canais TMCC e AC para Modo 2 e modulação diferencial

Segmento	11	9	7	5	3	1	0	2	4	6	8	10	12
CP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AC1-1	10	20	4	98	11	76	7	61	35	8	53	74	40
AC1-2	28	40	89	101	101	97	89	100	79	64	83	100	89
AC-3	161	182	148	118	128	112	206	119	184	115	169	143	116
AC1-4	191	208	197	136	148	197	209	209	205	197	208	187	172
AC1-5	277	251	224	269	290	256	226	236	220	314	227	292	223
AC1-6	316	295	280	299	316	305	244	256	305	317	317	313	305
AC1-7	335	400	331	385	359	332	377	398	364	334	344	328	422
AC1-8	425	421	413	424	403	388	407	424	413	352	364	413	425
AC2-1	3	23	13	10	28	5	25	29	3	36	3	30	72
AC2-2	45	63	93	30	45	18	30	41	72	48	15	81	95
AC2-3	59	85	98	55	81	57	42	84	85	52	40	92	100
AC2-4	77	105	102	81	91	92	104	93	89	74	58	103	105
AC2-5	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
AC2-6	111	138	180	111	131	121	118	136	113	133	137	111	144
AC2-7	123	189	203	153	171	201	138	153	126	138	149	180	156
AC2-8	148	200	208	167	193	206	163	189	165	150	192	193	160
AC2-9	166	211	213	185	213	210	189	199	200	212	201	197	182
AC2-10	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
AC2-11	245	219	252	219	246	288	219	239	229	226	244	221	241
AC2-12	257	288	264	231	297	311	261	279	309	246	261	234	246
AC2-13	300	301	268	256	308	316	275	301	314	271	297	273	258
AC2-14	309	305	290	274	319	321	293	321	318	297	307	308	320
AC2-15	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324	324
AC2-16	352	329	349	353	327	360	327	354	396	327	347	337	334
AC2-17	369	342	354	365	396	372	339	405	419	369	387	417	354
AC2-18	405	381	366	408	409	376	364	416	424	383	409	422	379
AC2-19	415	416	428	417	413	398	382	427	429	401	429	426	405
TMCC 1	13	10	16	23	36	31	34	4	49	78	25	7	5
TMCC 2	50	28	30	37	48	39	48	7	61	82	63	25	10
TMCC 3	70	44	37	51	55	47	54	17	96	85	73	47	21
TMCC 4	83	47	74	68	59	65	70	51	99	98	80	60	44
TMCC 5	87	54	83	105	86	72	101	71	104	102	93	87	61
TMCC 6	133	115	113	121	118	124	131	144	139	142	112	157	186
TMCC 7	171	133	118	158	136	138	145	156	147	156	115	169	190
TMCC 8	181	155	129	178	152	145	159	163	155	162	125	204	193
TMCC 9	188	168	152	191	155	182	176	167	173	178	159	207	206
TMCC 10	201	195	169	195	162	191	213	194	180	209	179	212	210
TMCC 11	220	265	294	241	223	221	229	226	232	239	252	247	250
TMCC 12	223	277	298	279	241	226	266	244	246	253	264	255	264
TMCC 13	233	312	301	289	263	237	286	260	253	267	271	263	270
TMCC 14	267	315	314	296	276	260	299	263	290	284	275	281	286
TMCC 15	287	320	318	309	303	277	303	270	299	321	302	288	317
TMCC 16	360	355	358	328	373	402	349	331	329	337	334	340	347
TMCC 17	372	363	372	331	385	406	387	349	334	374	352	354	361
TMCC 18	379	371	378	341	420	409	397	371	345	394	368	361	375
TMCC 19	383	389	394	375	423	422	404	384	368	407	371	398	392
TMCC 20	410	396	425	395	428	426	417	411	385	411	378	407	429

Tabela 4.14: Posição dos canais TMCC e AC para Modo 3 e modulação diferencial

Configuração para modulação síncrona

O quadro de transmissão para modulação síncrona e modo de transmissão 1 é apresentado na figura 4.29. Os esquemas de modulação síncrona empregadas nos dados no ISDB-T são QPSK, QAM16 e QAM64.

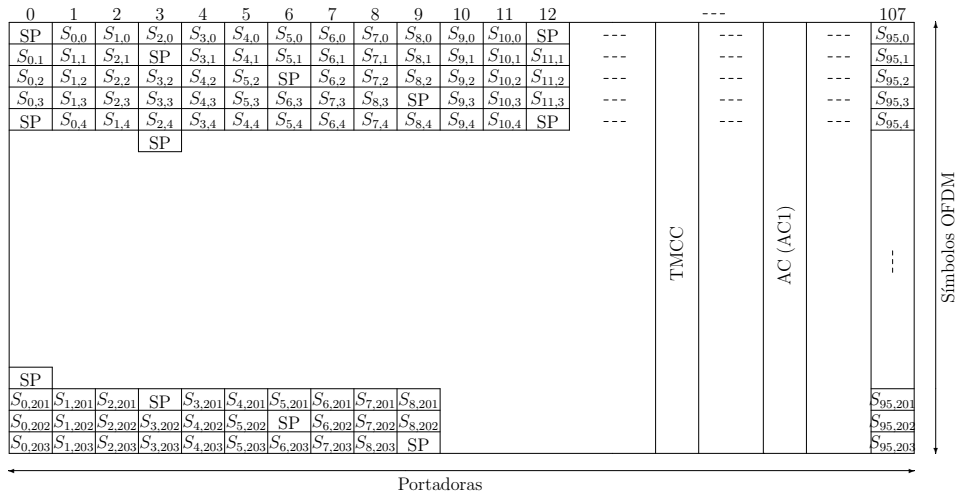


Figura 4.29: Configuração de um segmento para modulação síncrona em Modo 1

Diferente do quadro para modulação diferencial, os sinais SP são inseridos no quadro síncrono a cada 12 portadoras, e a cada 4 símbolos dentro da mesma portadora. Este arranjo é que garante o sincronismo das informações no receptor. Já os canais TMCC e AC1 são também inseridos em portadoras distintas nos segmentos, como mostram as tabelas 4.15, 4.16, 4.17, também para reduzir os efeitos do multipercurso. Note que o canal AC2 está disponível apenas no quadro que utiliza modulação diferencial.

Segmento	11	9	7	5	3	1	0	2	4	6	8	10	12
AC1-1	10	53	61	11	20	74	35	76	4	40	8	7	98
AC1-2	28	83	100	101	40	100	79	97	89	89	64	89	101
TMCC-1	70	25	17	86	44	47	49	31	83	61	85	101	23

Tabela 4.15: Posição dos canais TMCC e AC para Modo 1 e modulação síncrona

Segmento	11	9	7	5	3	1	0	2	4	6	8	10	12
AC1-1	10	61	20	35	4	8	98	53	11	74	76	40	7
AC1-2	28	100	40	79	89	64	101	83	101	100	97	89	89
AC1-3	161	119	182	184	148	115	118	169	128	143	112	116	206
AC1-4	191	209	208	205	197	197	136	208	148	187	197	172	209
TMCC-1	70	17	44	49	83	85	23	25	86	47	31	61	101
TMCC-2	133	194	155	139	169	209	178	125	152	157	191	193	131

Tabela 4.16: Posição dos canais TMCC e AC para Modo 2 e modulação síncrona

Segmento	11	9	7	5	3	1	0	2	4	6	8	10	12
AC1-1	10	20	4	98	11	76	7	61	35	8	53	74	40
AC1-2	28	40	89	101	101	97	89	100	79	64	83	100	89
AC1-3	161	182	148	118	128	112	206	119	184	115	169	143	116
AC1-4	191	208	197	136	148	197	209	209	205	197	208	187	172
AC1-5	277	251	224	269	290	256	226	236	220	314	227	292	223
AC1-6	316	295	280	299	316	305	244	256	305	317	317	313	305
AC1-7	335	400	331	385	359	332	377	398	364	334	344	328	422
AC1-8	425	421	413	424	403	388	407	424	413	352	364	413	425
TMCC-1	70	44	83	23	86	31	101	17	49	85	25	47	61
TMCC 2	133	155	169	178	152	191	131	194	139	209	125	157	193
TMCC 3	233	265	301	241	263	277	286	260	299	239	302	247	317
TMCC 4	410	355	425	341	373	409	349	371	385	394	368	407	347

Tabela 4.17: Posição dos canais TMCC e AC para Modo 3 e modulação síncrona

O sinal piloto SP

O sinal SP (*Scattered Pilot*) é um dos sinais piloto do padrão ISDB-T, e é formado por uma seqüência pseudo-aleatória. Esta seqüência é gerada por um registrador de deslocamento, que apresentado figura 4.30, cujo polinômio gerador é definido pela equação 4-6. Apesar dos sinais SP de todos os segmentos serem gerados pelo mesmo registrador, eles são diferentes. Isto acontece porque cada segmento tem um valor diferente de estado inicial, gerando assim seqüências distintas. A tabela 4.18 apresenta os valores iniciais de cada segmento.

$$g(x) = X^{11} + X^9 + 1 \quad (4-6)$$

Segmento	Valor inicial - Modo 1	Valor inicial - Modo 2	Valor inicial - Modo 3
11	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
9	1 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1	0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0	1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1
7	0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0	1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1	1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0
5	0 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0	1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0	0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1
3	1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1	1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1
1	0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0	0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0	1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0
0	1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 0	0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1	0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1
2	0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 0	0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0	1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1
4	1 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0	0 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1	0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1
6	1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0	0 1 1 0 0 1 1 1 0 0 1	1 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0
8	0 0 0 0 1 0 1 1 0 0 0	1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0	0 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0
10	1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1	0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1	1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 1
12	0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1	0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 1	0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0

Tabela 4.18: Valores iniciais para o circuito gerador da seqüência PRBS

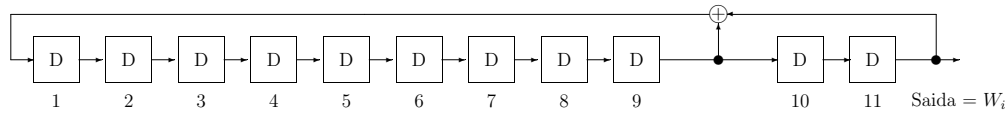


Figura 4.30: Circuito gerador da seqüência pseudo-aleatória, formadora do sinal SP

O sinal SP tem a função de garantir o sincronismo para os segmentos que utilizam modulação síncrona. O esquema de modulação empregado nestes canais é o BPSK, e segue a regra apresentada na tabela 4.19.

W_i	Amplitude do sinal modulado
1	$(-\frac{4}{3}, 0)$
0	$(+\frac{4}{3}, 0)$

Tabela 4.19: Valor de W_i e amplitude do sinal

O sinal piloto CP

Assim como o sinal SP, o sinal piloto CP (*Continual Pilot*) é um sinal modulado BPSK. Sua função é servir de referência nos segmentos que utilizam modulação diferencial. Este sinal é constante ao longo do tempo e é definido também de acordo com a com o valor de W_i e a tabela 4.19.

O sinal TMCC

O TMCC (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*) é também um sinal piloto, que é modulado pelo esquema DBPSK e utiliza o sinal de referência W_i . A função deste sinal é carregar as informações de configuração de cada segmento, de modo que o receptor saiba como demodular e decodificar as informações. A modulação DBPSK é executada conforme o modelo abaixo:

$$B_0' = W_i \text{ (Referência para modulação diferencial)}$$

$$B_k = B_{k-1} \oplus B_k, \text{ onde } k = 1, \dots, 203$$

Este sinal tem o tamanho de 204 bits, pois cada quadro de transmissão OFDM tem 204 símbolos. A lei de formação deste sinal é detalhada no apêndice A, no final deste trabalho.

O sinal AC

Os canais AC (*Auxiliary Channel*) são responsáveis por transportar qualquer tipo de informação adicional. Para tal, utiliza um esquema de modulação DBPSK, que também usa como referência o sinal W_i . Assim como os outros sinais piloto, a codificação dos bits 0 e 1 em $(\frac{4}{3}, 0)$ e $(-\frac{4}{3}, 0)$ respectivamente é utilizada.

Estão disponíveis dois canais AC para transmissão de informações adicionais. O AC1, presente em todos os segmentos, independente do tipo de modulação empregada, e o AC2, presente apenas nos segmentos que utilizam modulação diferencial. As taxas de transmissão de cada um dos canais pode ser consultado na tabela 4.20

Tipo	Modulação síncrona		Modulação síncrona	
	1	13	1	13
AC1	7,0(kbps)	91,3(kbps)	7,0(kbps)	91,3(kbps)
AC2	-	-	14,0(kbps)	182,5(kbps)

Tabela 4.20: Capacidade de transmissão dos canais AC1 e AC2 para Modo 1 e IG = 8

Os canais AC são utilizados na maioria das vezes para transmissão de informações de programação, venda de produtos on-line. Este tipo de serviço também é conhecido como *middleware*, e é uma das inovações dos padrões de TV Digital.