

2

Padrões de TV Digital

Neste capítulo, é apresentada uma breve descrição dos diferentes padrões atualmente propostos para aplicação no Brasil.

2.1.

Padrões de TV digital

Para descrever os padrões atualmente propostos para os sistemas de TV digital é necessário considerar o modelo OSI (open system interconnection), que possibilita a interligação de diferentes tipos de máquinas e ambientes de software. Neste modelo, cada camada é independente das demais possuindo um conjunto de funções correlatas. Entidades localizadas em uma camada utilizam recursos da camada que lhe é imediatamente inferior. Por outro lado, entidades contidas em diferentes equipamentos comunicam-se virtualmente apenas com outras entidades de mesma camada hierárquica, utilizando para a comunicação física os recursos das camadas inferiores.

Na área de telecomunicações, o modelo de camadas foi introduzido com a RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados ou ISDN). A arquitetura estruturada da RDSI permite que diferentes tipos de equipamentos, com diferentes funcionalidades, características e aplicações, possam ser interconectadas e atendidas através de uma única rede, ao contrário do que ocorria nas redes tradicionais, dedicadas exclusivamente ao tráfego de sinais telefônicos (rede de circuito comutado) ou dados (redes de pacotes) ou vídeo (linhas dedicadas). Uma ilustração simplificada do modelo, com as camadas relevantes para o caso de sistemas de TV digital é vista na figura abaixo [9]:

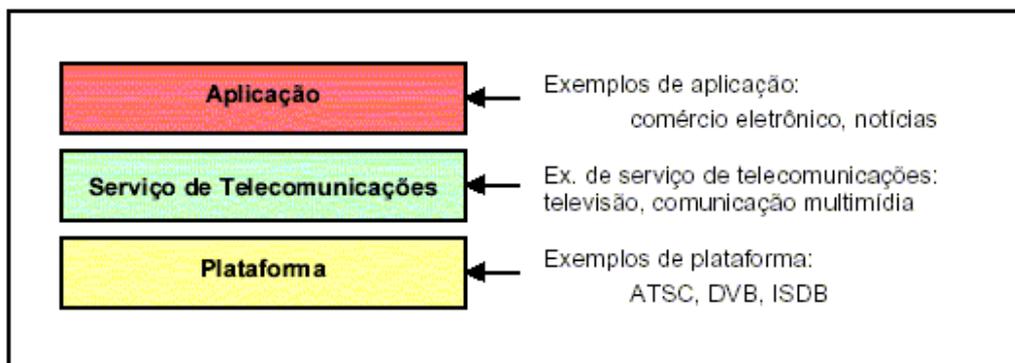


Figura 2.1 – Modelo OSI de camadas

As plataformas atualmente propostas para o serviço de radiodifusão digital são o ATSC, o DVB-T e o ISDB-T. Na camada de serviço, a tecnologia digital pode ser conformada em diferentes modelos de negócio, tendo diferentes atributos e suportando diferentes aplicações. Finalmente, a camada de aplicação utiliza os substratos para prover as diversas facilidades, além da imagem e do som, disponibilizadas pelas novas tecnologias.

Embora as plataformas ATSC, DVB-T e ISDB-T tenham sido otimizadas para a transmissão de sinais de vídeo, o seu uso não é restrito a esse tipo de informação. A idéia é que, no futuro, um mesmo terminal poderá ser empregado para se receber sinais de vídeo, áudio e dados (Internet, por exemplo).

A União Internacional de Telecomunicações – ITU – traz no seu documento 11/112-E, o modelo de referência para a televisão digital que é seguido pelos três padrões públicos – o ATSC, o DVB e o ISDB. O modelo de referência, ilustrado na figura 2.2, divide as funcionalidades do sistema (transmissão) em três blocos principais[9]:

Codificação do sinal-fonte e compressão, responsável pela conversão e compressão dos sinais de áudio e vídeo em feixes digitais denominados de fluxos elementares de informação.

Multiplexação e transporte, responsável pela multiplexação dos diferentes fluxos elementares (cada qual contendo informações de áudio, vídeo ou dados), formando um único feixe digital à sua saída.

Codificação de canal e modulação, responsável por converter o feixe digital multiplexado em um sinal (ou grupo de sinais) passível de transmissão por um meio físico, no caso, o ar.

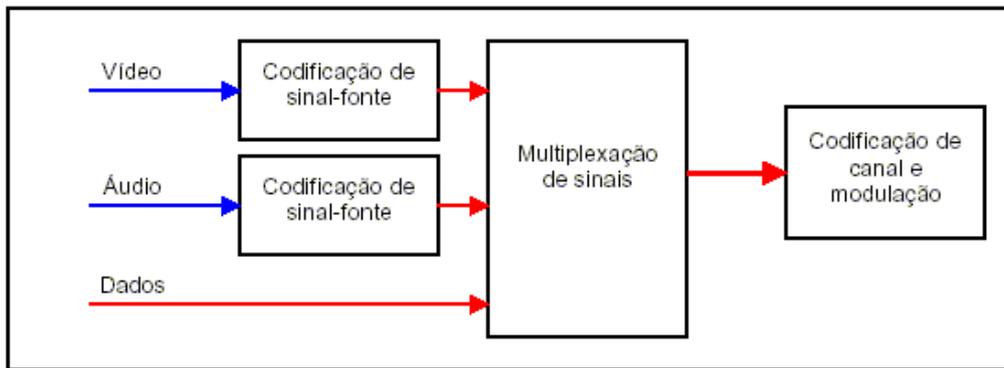


Figura 2.2 – Modelo de referência ITU para a Televisão Digital

Na parte de codificação de sinal-fonte e multiplexação há um consenso na utilização do padrão MPEG (hoje o MPEG-2). Já para a codificação de canal e modulação, cada uma das propostas (ATSC, DVB e ISDB) adota uma solução diferente, como será visto nas próximas seções.

A norma MPEG-2 foi desenvolvida visando atender a aplicações no universo da TV Digital e se dividem em 3 partes fundamentais a MPEG-2 sistemas, vídeo e áudio.

A seguir são descritos, de forma resumida, os diferentes padrões de televisão digital. Como podem ser observadas, as camadas de codificação do sinal-fonte e de multiplexação são muito semelhantes nos três sistemas. A principal diferença entre eles reside na camada de codificação de canal.

2.1.1. Padrão ATSC (Norte-americano) [9]

O padrão ATSC, criado nos Estados Unidos, utiliza, além do MPEG-2 para a codificação do sinal de vídeo e multiplexação, a codificação Dolby AC-3 para o áudio, o MPEG-2 Sistemas para a multiplexação de fluxos elementares e um sistema de modulação conhecido como 8-VSB para a camada de transporte (no caso da radiodifusão terrestre), como apresentado na figura 2.3.

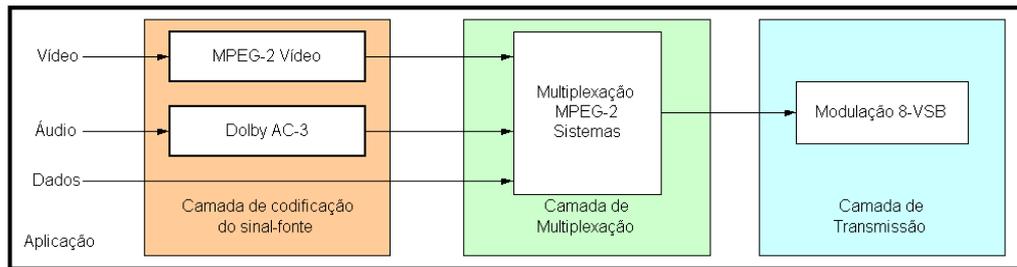


Figura 2.3 – Sistema ATSC

A saída do multiplexador MPEG-2 Sistemas é um feixe de 19,39 Mbit/s. Esse feixe pode ser aplicado a um modulador 8-VSB (padrão ATSC para radiodifusão terrestre), 64-QAM (padrão preferido para transmissão via cabo) ou QPSK (padrão preferencial para satélite).

A figura 2.4 ilustra o processo de modulação 8-VSB. O feixe de transporte MPEG-2 sofre inicialmente um processo de embaralhamento, que tem por objetivo “aplainar” o espectro, evitando a concentração de energia em alguns pontos e conseqüentemente “vazios” em outras regiões do espectro. A seguir o sinal passa por um gerador de código corretor de erros (Reed Solomon) que opera em nível de blocos, inserindo 20 bytes de paridade para cada bloco de 187 bytes. Esse conjunto de 207 bytes forma um segmento. O terceiro passo é o de entrelaçamento temporal, quando os bytes são espalhados ao longo de 52 segmentos. Esse espalhamento tem a finalidade de distribuir de forma mais uniforme as rajadas de erro. Isso, aliado ao código corretor de erros, garante uma boa imunidade do sistema a ruídos impulsivos. Posteriormente, há um segundo código corretor de erros (treliça ou convolucional), operando em nível de bits. Cada dois bits originais são convertidos para 3 bits, sendo então um código 2/3 onde o terceiro bit melhora a redundância da informação. Os três bits assim definidos são convertidos para um símbolo de oito níveis. A carga útil de cada segmento é composta então por 828 símbolos de oito níveis.

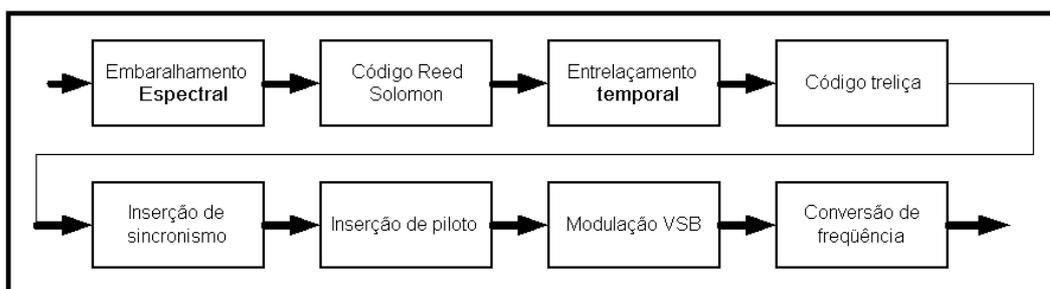


Figura 2.4 – Modulação 8-VSB

No passo seguinte, cada segmento recebe alguns símbolos adicionais, que servem como elementos de sincronismo de segmento. 312 segmentos, mais um de sincronismo, formam um quadro. Esse conjunto (que, teoricamente, é um sinal puramente AC), recebe um pequeno nível DC, o qual, ao ser modulado, aparecerá como um ressalto no espectro, formando o sinal piloto do canal. Finalmente, esse conjunto é introduzido num modulador VSB, que pode ser analógico ou um circuito que sintetize digitalmente a forma de onda já em rádio-freqüência (mais precisamente em FI – freqüência intermediária). O sinal VSB assim gerado está pronto para ser transladado para a freqüência de operação da emissora, amplificado e transmitido.

2.1.2. Padrão DVB-T (Europeu) [9]

O padrão DVB (*Digital Video Broadcasting*) foi criado por um consórcio europeu de mesmo nome e, assim como o ATSC, trata-se de uma família de especificações.

A figura 2.5 ilustra esquematicamente o sistema DVB.

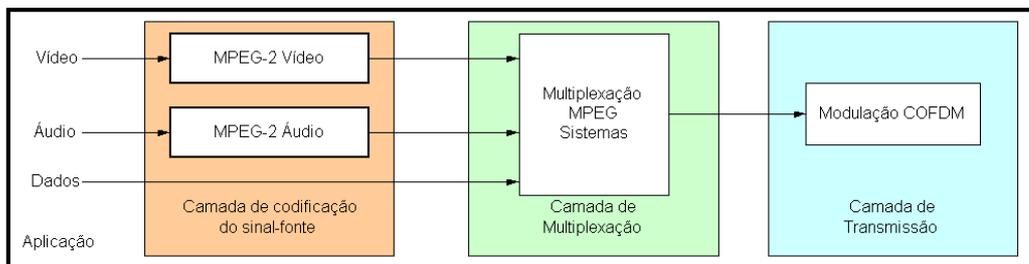


Figura 2.5 – Sistema DVB

Como no ATSC, o DVB utiliza, para a codificação do sinal-fonte de vídeo, e multiplexação o padrão MPEG-2. Entretanto, a codificação de sinais de áudio é também realizado em padrão MPEG-2, o que não acontece com o padrão ATSC. Na camada de transmissão, existem diversas especificações, uma para cada meio de transmissão:

Para a radiodifusão terrestre (VHF/UHF), é utilizada a modulação COFDM, que será detalhada mais adiante;

Para as redes de TV a cabo, a modulação proposta é o QAM. Podem-se utilizar constelações de 16, 32, 64, 128 e 256 QAM, em função das características da rede e do serviço desejados;

Para a difusão via satélite (DTH), a modulação recomendada é a QPSK, podendo-se utilizar códigos convolucionais com relação 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8.

Para a radiodifusão terrestre utilizando microondas, são previstos dois tipos de modulação. Para frequências abaixo de 10 GHz (MMDS), é recomendada a utilização de modulação QAM (como no cabo), utilizando-se constelações de 16, 32 e 64 QAM. Para frequências acima de 10 GHz (LMDS), é recomendado o mesmo mecanismo de modulação que o satélite, ou seja, QPSK, e as mesmas relações no código convolucional.

O sistema DVB permite diversas configurações para a camada de transmissão, cada configuração apresentando uma diferente relação capacidade/robustez. A utilização de códigos com alta compactação (por exemplo, 256 QAM ou FEC de 7/8) permitem transportar uma maior carga útil de informações num dado canal. Por outro lado, códigos com baixa compactação (16 QAM ou FEC 1/2) são mais robustos contra ruídos e outras interferências.

COFDM

O método de modulação utilizado no DVB para a radiodifusão terrestre é conhecido como COFDM – coded orthogonal frequency division multiplexing. Nesse método, o sinal a ser transportado é dividido e transmitido através de grande quantidade de pequenas portadoras, que podem ser moduladas em QPSK, 16-QAM ou 64-QAM. O DVB admite dois modos de operação, conhecidos como 2k (que utiliza 1705 portadoras) e 8k (6817 portadoras). Uma das grandes vantagens dessa divisão do sinal em um grande número de portadoras é a maior imunidade a ruído, em particular aos ecos resultantes de multipercurso. A tabela 2.1 traz as principais características desses dois modos de operação.

Parâmetro	Modo 8k	Modo 2k
Número de portadoras	6.817	1.705
Espaçamento entre as portadoras ($1/T_U$)	0,837 kHz	3,348 kHz
Comprimento do símbolo (T_U)	1.194 μ s	298 μ s
Intervalo entre símbolos (Δ)	37 a 298 μ s	9 a 74 μ s
Clock principal (sistema de 6 MHz)	6,58 MHz (48/7)	

Tabela 2.1 – Modos de operação COFDM do DVB

O COFDM opera em sistemas de 6, 7 ou 8 MHz, bastando alterar o clock principal.

Este tipo de modulação baseia-se na utilização de diversas pequenas portadoras justapostas dentro de um canal de 6, 7 ou 8 MHz. Na prática, é como se fosse um sistema com partilhamento em frequência (FDM – Frequency Division Multiplex), onde cada pequena portadora transporta apenas uma fração da informação total. A interferência entre essas portadoras é evitada por condições de ortogonalidade entre as mesmas. Tal ortogonalidade ocorre quando o espaçamento entre as portadoras é exatamente o inverso do período sobre o qual o receptor fará a operação de demodulação do sinal. Por último, para melhorar a imunidade a interferências externas, é utilizada uma série de técnicas de codificação (o “C” do COFDM), que inclui uma permuta pseudo-aleatória da carga útil entre as diversas portadoras. A figura 2.6 ilustra, de forma simplificada, o processo de codificação e modulação do DVB. O feixe de sinal recebido do multiplexador MPEG (Transport stream) é inicialmente embaralhado, para promover uma distribuição uniforme da energia ao longo do fluxo. A seguir, o sinal passa por um primeiro processo de codificação, chamado de “externa”. A codificação utilizada é o Reed-Solomon, que cria uma “assinatura digital” de cada bloco MPEG, acrescentando 16 bytes de paridade, a qual poderá ser utilizada para recuperar a informação dentro de um determinado nível de erros. Os bytes de cada 12 blocos são então entrelaçados entre si. Isso é feito para que, caso algum bloco não chegue até o receptor, haja a perda de poucos bits por bloco em vez de se perder um bloco inteiro. O próximo passo é a codificação interna. A codificação interna consiste de um código convolucional (FEC – Forward Error Correction) que gera bits adicionais para melhorar a redundância. Entretanto, alguns desses bits adicionais são intencionalmente omitidos. Como essa omissão é feita em intervalos regulares, na prática ela tem o efeito de desbalancear a energia dos símbolos (no sentido exatamente inverso ao do primeiro embaralhamento, cujo objetivo era uniformizar a energia ao longo dos símbolos). Com isso, alguns símbolos (aqueles que tiveram bits omitidos) ficam com a energia reduzida, enquanto outros acabam ganhando um reforço de potência. Os símbolos que dessa forma são fortalecidos apresentam uma melhor relação sinal/ruído (SNR), e serão utilizados para transportar as informações de controle e sincronismo do canal.

Após o entrelaçamento interno, os bits são mapeados para compor os símbolos e quadros da transmissão. Essa montagem depende do tipo de modulação (QPSK, 16-QAM ou 64-QAM), número de portadoras e intervalo de guarda, que são parâmetros selecionáveis pela emissora (ao contrário do ATSC, que adota um conjunto fixo de parâmetros).

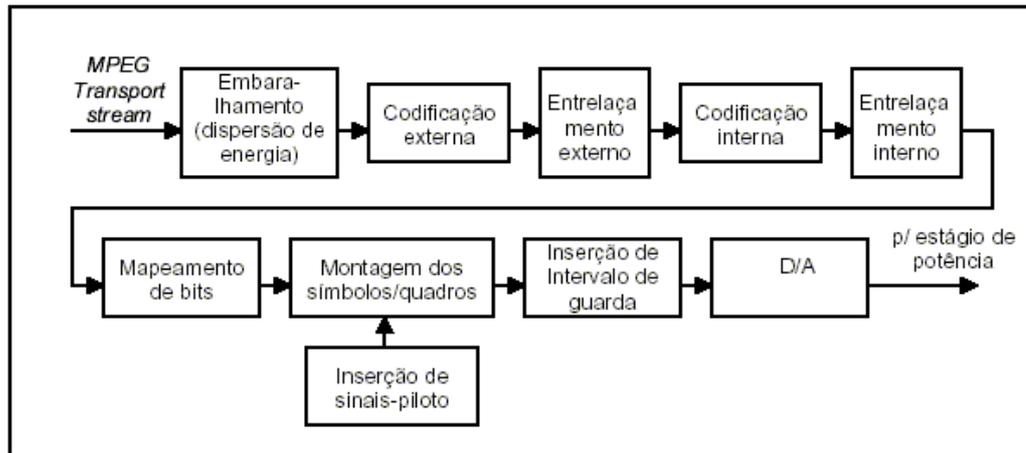


Figura 2.6 – Diagrama funcional do DVB-T

O intervalo de guarda, concebido para evitar as interferências intersimbólicas, dá ao COFDM uma boa imunidade a ecos (reflexões do sinal devido a prédios e obstáculos similares). Quanto mais demorado o eco, maior deve ser o intervalo de guarda.

2.1.3. Padrão ISDB (japonês) [9]

O padrão ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) foi criado no Japão pelo consórcio DiBEG (Digital Broadcasting Experts group), contando principalmente com o suporte da emissora pública japonesa NHK. Como no DVB, a camada de transmissão do ISDB é baseada em modulação COFDM. A figura 2.7 ilustra esquematicamente o sistema ISDB.

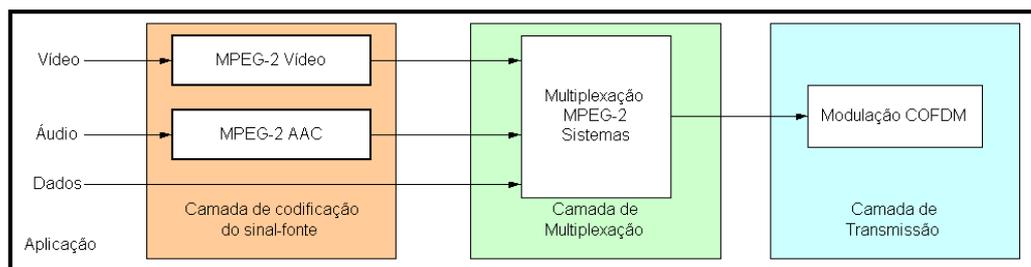


Figura 2.7 – Sistema ISDB

O ISDB utiliza, para a codificação do sinal-fonte de vídeo e multiplexação, o padrão MPEG-2. Para a codificação de sinal-fonte de áudio, o padrão adotado é a variante MPEG-2: AAC (Advanced Áudio Coding) Para a radiodifusão terrestre, o padrão ISDB-T utiliza, como no DVB-T, o sistema COFDM. Como no DVB, o ISDB é um sistema com parâmetros configuráveis (pela emissora), permitindo obter diferentes níveis de robustez com as respectivas capacidades de transporte. O ISDB apresenta três modos de operação, ou seja, de número de portadoras, conforme indicado na tabela 2.2. Em comparação ao DVB, existe um modo intermediário chamado 4k. Além disso, comparando-se com a tabela 2.1, pode-se verificar que os valores para os modos 2k e 8k são ligeiramente diferentes. O número de portadoras no ISDB é ligeiramente inferior, o mesmo ocorrendo com o comprimento do símbolo. Por outro lado, o ISDB utiliza um clock mais rápido (8,127 MHz versus 6,857 MHz do DVB em 6 MHz).

Parâmetro	Modo de operação		
	2k	4k	8k
Número de portadoras total	1405	2809	5617
Portadoras por segmento	108	216	432
Espaçamento entre as portadoras (kHz)	3,968	1,984	0,992
Comprimento do símbolo (μ s)	252	504	1008
Intervalo entre símbolos (μ s)	7,8 - 63	15,75 - 126	31,5 - 252
Duração do quadro (ms)	53 - 64,2	106 - 128,5	212 - 257
Clock principal (MHz)	8,127 (512/63)		

Tabela 2.2 – Modos de operação do ISDB-T

A estrutura de funcionamento do ISDB é muito semelhante ao DVB, apresentado na figura 2.7, com algumas pequenas diferenças. A primeira diferença ocorre no embaralhamento interno. No DVB, o único embaralhamento efetuado é o de frequências, ou seja, as portadoras utilizadas para cada trecho de um bloco de informação são permutadas segundo um padrão pseudo-aleatório. Como

comentado anteriormente, isso confere uma maior imunidade a interferências localizadas em uma frequência específica. O ISDB utiliza adicionalmente um segundo embaralhamento, a transposição temporal, ou seja, grupos de bits têm a sua posição temporal permutada segundo uma dada seqüência. As demais diferenças entre o DVB e o ISDB decorrem do fato deste último adotar um mecanismo diferente, a segmentação de bandas.

O ISDB, como o próprio nome indica, é uma plataforma concebida para múltiplas aplicações, e não apenas para o serviço de televisão. Tendo em vista tal princípio, nessa tecnologia, as portadoras são agrupadas em 13 segmentos, denominados de *Data Segment*. Em tese, um canal de 6 MHz poderia ser dividido entre 13 serviços ou emissoras diferentes, embora, como será mostrado mais adiante, para o serviço de televisão, os segmentos são agrupados em “camadas”, podendo-se ter no máximo três camadas. Em um sistema de 6 MHz, cada segmento tem uma largura de 429 kHz ($6/14$ MHz), e pode ter os seus próprios parâmetros de transmissão, tais como a relação de código convolucional (FEC) e intervalo de guarda. Os segmentos são numerados de 0 a 12, e estão dispostos conforme indicados na figura 2.8. Para o serviço de televisão, todos os segmentos são utilizados.

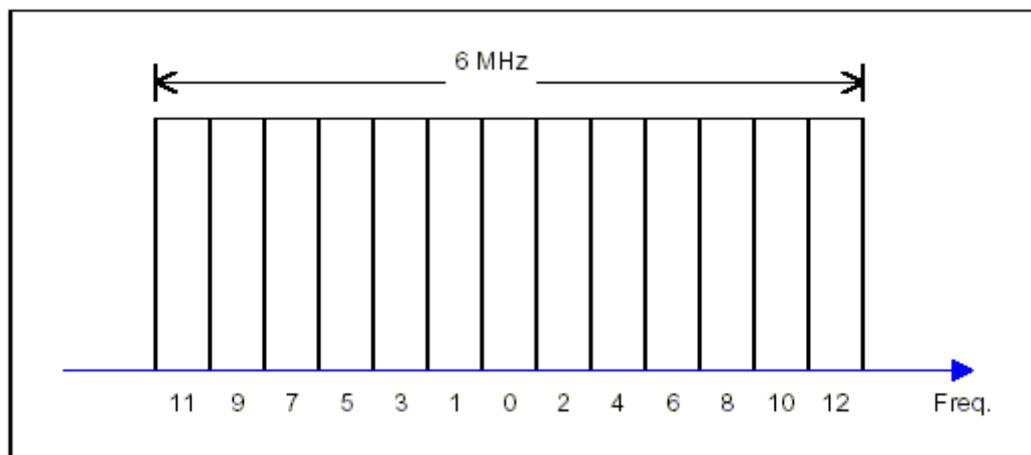


Figura 2.8 – Segmentação de banda no ISDB-T

O ISDB utiliza, tal como o DVB, sinais piloto e de controle, porém com uma distribuição diferente. Ao contrário do DVB, o ISDB utiliza apenas 13 pilotos contínuos, um para cada segmento. Quanto aos pilotos espalhados, a quantidade e o padrão de espalhamento são idênticos ao DVB. Finalmente, o

ISDB reserva algumas portadoras para a finalidade de “canal auxiliar” – ou seja, para uso genérico de transporte de dados. Além da configuração de transmissão convencional, o ISDB admite duas outras formas de utilização: a relação faixa larga x faixa estreita e o modo hierárquico.

Tal como o DVB, o ISDB-T admite a transmissão hierárquica, ou seja, que parte dos sinais sejam transmitidos com um grau de robustez maior que o restante do sinal. No caso do ISDB-T, os sinais podem ser agrupados em três diferentes níveis (chamados de “camadas”) de robustez. Essas camadas podem ser utilizadas para transportar diferentes trechos de informação do mesmo programa, ou programas totalmente diferentes.

Dentro de cada camada, os diferentes segmentos adotam os mesmos parâmetros de transmissão.

Embora a grande dificuldade de compressão e transmissão de sinais, na televisão digital, seja devido às informações de vídeo, o áudio representa uma parcela importante de informação para o usuário final.

Os três padrões de televisão digital apresentam capacidade de lidar com o áudio na mesma configuração, embora utilizem diferentes codificações do sinal-fonte, conforme tabela 2.3.

Plataforma	Codificação	Comentários
ATSC	Dolby AC-3	Padrão proprietário da Dolby Laboratories, Inc.
DVB	MPEG-1	Estéreo (2/0), ISO 11172-3.
	MPEG-2	ISO 13818-3, compatível com MPEG-1 (BC).
ISDB	MPEG-2 AAC	Advanced Audio Coding (ISO 13818-7). Melhor desempenho que o BC, mas não compatível com o MPEG-1.

Tabela 2.3 – Codificação de áudio

O sistema de áudio Dolby AC-3 é um sistema proprietário, implementado pelos laboratórios Dolby dos Estados Unidos. Ele é um algoritmo otimizado para a radiodifusão, mas, por outro lado, não suporta sucessivas operações de decodificação/recodificação do sinal, necessárias em estúdio.

O ISDB optou por adotar uma variante do MPEG-2, conhecido como MPEG-2: AAC (Advanced Audio Coding, padrão ISO/IEC 13818-7). Esse padrão incorpora desenvolvimentos mais recentes na área de algoritmos, sacrificando a compatibilidade regressiva com o MPEG-1. O MPEG-2: AAC consegue obter

som com qualidade de CD operando a taxas de 96 kbit/s. Tal compactação é obtida com o uso de algoritmos e técnicas mais aprimoradas. Uma diferença significativa em relação ao MPEG-2 BC é que, no AAC, é feita uma análise da redundância de informações entre os vários fluxos, coisa que não ocorre no primeiro.

O AC-3 tem o inconveniente de ser um padrão proprietário. Por outro lado, o MPEG, por ser um padrão altamente flexível, mostra um desempenho dos codecs dependente da implementação, criando a possibilidade de codecs de diferentes fabricantes apresentarem comportamento consideravelmente desigual.