
TV DIGITAL: UM NOVO CONCEITO

Fujio Yamada*

Gunnar Bedicks Jr.**

Luis T. M. Raunheite***

Francisco Sukys****

Carlos E. Dantas*****

Cristiano Akamine*****

Resumo

A revolução na área de semicondutores vem promovendo uma transformação radical nos sistemas de televisão. A TV digital apresenta sistema de imagem mais perfeita combinado com o som de alta qualidade, além de permitir a inclusão de outras facilidades como interatividade, transmissão simultânea de vários programas no mesmo canal de TV e implantação de TV móvel, o que está despertando grande interesse dos usuários, das operadoras de televisão e do mundo dos negócios. O desafio que a TV digital terrestre enfrenta é minimizar os efeitos dos ruídos impulsivo do multipercurso e efeito Doppler que degradam a qualidade da imagem. Cada padrão aplica técnicas diferentes para contornar esses problemas. Este trabalho apresenta uma síntese da estrutura de cada padrão e mostra os resultados de testes executados pelo Laboratório de

* Doutor em Engenharia Eletrônica. Professor de Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). *E-mail:* fyamada@mackenzie.com.br

** Mestre em Engenharia Elétrica. Professor de Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). *E-mail:* gbedicks@ieee.org

*** Doutor em Engenharia de Telecomunicações. Chefe do Departamento de Engenharia Elétrica e professor da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). *E-mail:* raunheite@mackenzie.com.br

**** Engenheiro eletrônico. Professor de Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). *E-mail:* fsukys@mackenzie.com.br

***** Engenheiro eletricitista. Professor de Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). *E-mail:* cdantas1@terra.com.br

***** Engenheiro eletrônico. Professor de Engenharia Elétrica da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). *Email:* akamine@mackenzie.com.br

Rádio e TV Digital da Universidade Presbiteriana Mackenzie para avaliação das características dos principais sistemas existentes.

Palavras-chave: TV digital, efeito Doppler, semicondutores.

Abstract

The revolution in the semiconductor area comes promoting a radical transformation in the television system. The digital television presents almost perfect image system combined with the high quality sound, beyond to allowing to include the other facilities as interactivity, simultaneous transmission of more than one program in the same TV channel and the introduction of mobile TV are awoken the great interest to users, television operators and to the business world. The challenge faced by the terrestrial digital TV is to minimize the degradation effects due the multipath interference, impulsive noise and Doppler effect. Each digital TV standard applies different techniques to solve this problems. This article presents a synthesis of each standard and shows the test results carried out by Mackenzie Presbyterian University Radio and Digital TV Laboratory for characteristic evaluation of main existing systems.

Keywords: Digital TV, Doppler effect, semiconductor.

1 INTRODUÇÃO

Recentes noticiários têm abordado com destaque o assunto referente à televisão digital, assim como têm surgido no comércio aparelhos de televisão, ainda na versão analógica, com telas de maior largura, o que vem despertando a atenção dos usuários para essa nova tecnologia que ainda não existe no Brasil.

A televisão nasceu acompanhando o antigo cinema com tela na razão de 4 unidades de largura para 3 unidades de altura (4 x 3). Entretanto, o cinema evoluiu e as imagens ficaram com melhor definição e maior largura, criando um campo de visão maior. Somente agora, nos últimos anos, é que a televisão, graças às novas técnicas digitais, começa a recuperar o seu espaço, fornecendo uma imagem com maior largura (16 x 9) e com melhor qualidade (*high definition television* (HDTV) = TV de alta definição – Figura 1). Contudo, a boa imagem esperada da TV digital está sujeita a vários tipos de perturbações:

- interferências do ruído impulsivo, originado de ignição de veículos automotivos e por motores elétricos (que geram campos eletromagnéticos);
- recepção de sinais de multipercurso causados por reflexões em edifícios e outras superfícies refletoras, efeitos que podem ser notados em telas de TV analógica, como faixas no meio do vídeo ou imagem fantasma, ou ainda na tela de TV digital, como artefatos (minúsculos quadrados) espalhados na tela.

No desenvolvimento de sistema de TV digital, procura-se minimizar esses efeitos, fazendo o uso de circuitos especialmente desenvolvidos para esse fim, bem como utilizando métodos de modulação mais eficientes.



Figura 1 Imagem HDTV.

Fonte: Acervo dos autores.

A evolução da tecnologia dos semicondutores permite que funções complexas possam ser executadas por minúsculos *chips*, os quais processam dados recebidos pela antena, aplicando algoritmos desenvolvidos para cancelar os efeitos perturbadores dessas interferências.

As informações de vídeo, quando digitalizadas para obter alta definição de imagem, transformam-se em sinais com elevadas taxas de *bits*, da ordem de 1 *gigabit*/segundo, os quais são impossíveis de transmitir na largura de banda de 6 MHz reservada para cada canal de televisão. Por isso, é necessário submeter os sinais digitalizados ao processo de compressão, a fim de reduzir a taxa de transmissão. Hoje existem vários métodos de compressão de sinais, como o MPEG2, MPEG4, WM9 ou H264 aplicáveis para o caso (WITHAKER, 1998).

Em 1998, começaram a surgir os primeiros padrões de TV digital, e, desde então, o Laboratório de Rádio e TV Digital da Universidade Presbiteriana Mackenzie, em convênio com Associação Brasileira de Emissoras de Rádio e Televisão/Sociedade de Engenharia de Televisão (Abert/SET), desenvolve trabalhos de pesquisa na área de TV digital, como o estudo de desempenho dos três primeiros padrões de modulação de TV digital para transmissão terrestre que surgiram: Advanced Television System Committee (ATSC), Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T) e Integrated System Digital Broadcasting-Terrestrial (ISDB-T). Este artigo tem por objetivo esclarecer os conceitos básicos a respeito dessas novas tecnologias, bem como apresentar alguns dos resultados mais relevantes obtidos nesse projeto. Foram realizadas medidas em laboratório e testes em campo para comparação das características e do desempenho desses padrões cujos resultados serão apresentados nas próximas seções. Os dados obtidos foram adotados pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) como parâmetros de referência para TV digital que servem de subsídio para tomada de decisão do futuro Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD), bem como foram referenciados em muitas publicações internacionais sobre TV digital.

2 AS VANTAGENS DA TV DIGITAL

Da mesma forma que a tecnologia digital permitiu a evolução dos computadores, os quais possibilitam executar tarefas até então inimagináveis, os sistemas de televisão também estão evoluindo para o mundo digital, trazendo inúmeras vantagens para o telespectador, para a operadora de televisão e para o mundo dos negócios. Algumas das vantagens proporcionadas pela nova tecnologia são apresentadas a seguir:

- Imagem de alta qualidade denominada HDTV, projetada em tela mais larga, e sistema de som que dispõe de até seis canais simultâneos que proporciona desempenho semelhante ao do produzido por um CD.
- Versatilidade do sistema de TV digital pela possibilidade da existência de vários programas simultâneos no mesmo canal de transmissão. Isso significa disponibilidade, por exemplo, de quatro eventos por canal de TV, aumento do leque de opções ao usuário, maior flexibilidade para o telespectador e ampliação de oportunidades de negócios para a operadora.
- Maior resistência a interferências do ruído impulsivo, isto é, de sinais causados por multipercursos, efeito Doppler, e mesmo por interferência de canais de TV adjacentes.
- Maior área de cobertura: para uma mesma potência de transmissão, o alcance da TV digital será maior se comparado com o sistema analógico, permitindo que usuários residentes em locais mais distantes tenham uma recepção de boa imagem.
- Permite a utilização do sistema de interatividade. Por exemplo, a operadora será capaz de enviar informações complementares à imagem normalmente mostrada, com acesso permitido aos possuidores de cartão magnético (conhecido como *smart card*) fornecido apenas pela operadora mediante assinatura. Com essa facilidade, o telespectador poderá ter acesso à informação não mostrada na transmissão normal. Ainda: o telespectador poderá apostar num resultado do jogo de futebol, mesmo durante a partida, ou enviar sua opinião durante um debate de auditório.
- Como a maioria dos programas atuais já é produzida em sistemas digitais, as operadoras não necessitarão de equipamentos adicionais para a geração dos programas na nova tecnologia.
- Implementação gradual: os sistemas de TV digital estão sendo concebidos para permitir o uso dos receptores analógicos durante a fase de transição, por meio de um conversor denominado *Set Top Box* que converte o sinal na recepção digital em analógico.

3 PADRÕES DE TV DIGITAL

Neste tópico, será apresentada uma breve noção sobre os sistemas de transmissão e recepção de TV digital, bem como as principais características desses mesmos sistemas. A Figura 2a mostra, de modo sucinto, as estruturas de transmissão, e a Figura 2b, os blocos de recepção de TV digital. As diferenças básicas entre os vários sistemas existen-

tes estão principalmente nos processos de modulação e demodulação, razão pela qual neste trabalho só serão abordadas as características desses módulos. Em razão da alta taxa de transmissão necessária para se obter a imagem de alta definição, como a da HDTV, é sempre utilizado o processo de compressão dos sinais digitalizados, e, na recepção, aplica-se o processo inverso, sendo o MPEG2 o processo mais utilizado, embora existam outros métodos que trazem resultados equivalentes (WITHAKER, 1999).

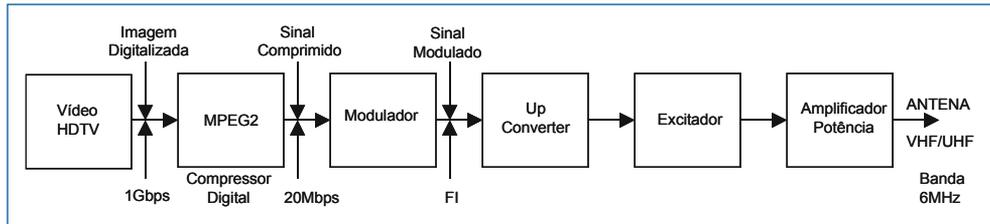


Figura 2a Transmissor.

Fonte: Elaborada pelos autores.

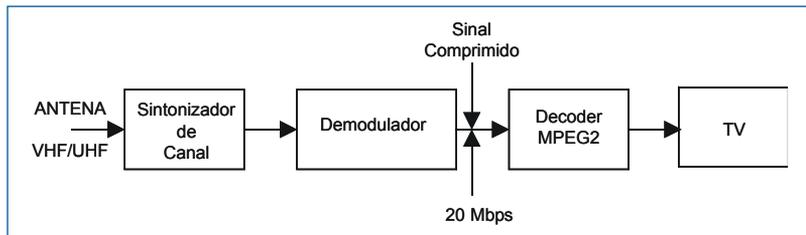


Figura 2b Receptor.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.1 Sistema ATSC

O sistema americano ATSC (1995) foi introduzido nos Estados Unidos em 1998 e tem como principal característica ser monoportador com modulação de amplitude de 8 níveis na versão 8 *vestigial sideband* (8VSB), ocupando a mesma banda de 6 MHz utilizada no sistema analógico, e que codifica o sinal de vídeo digitalizado de 1Gbps, comprimido pelo MPEG2 para a taxa de 19,39 Mbps. A Figura 3 mostra a estrutura do modulador ATSC.

O sinal oriundo do MPEG2 é dividido em pacotes de 187 *bytes* mais um *byte* de sincronismo, o qual identifica o início e o fim de cada pacote. No sincronizador de quadro, o sincronismo é removido. O circuito aleatorizador torna aleatória a distribuição de *bits* do sinal digital, evitando que determinadas sequências de *bits* se repi-

tam, o que provocaria o aparecimento de concentrações e vazios de energia no espectro de frequências transmitido, podendo provocar interferências em outros canais e ser mais suscetível a interferências externas. O codificador *Reed Solomon* é um dispositivo corretor de erros do tipo *Forward Error Corrector* (FEC) que permite ao receptor detectar e corrigir os erros introduzidos pelo meio de transmissão, e é capaz de corrigir até 10 *bytes* errados num pacote de 187 *bytes* transmitidos; mas, para isso, acrescenta 20 *bytes* de redundância ao pacote de 187 *bytes* úteis presentes na entrada, formando assim o *Data Segment* de 208 *bytes*. A taxa de *bits* na saída desse bloco é de 21,45 Mbps. O entrelaçador embaralha o conteúdo do *Data Segment*, formando novos *Data Segment* a cada 52 segmentos. Na transmissão do sinal, quando do aparecimento de interferências concentradas em forma de rajadas como as produzidas pelo ruído impulsivo, o circuito desembaralhador distribui esses erros uniformemente pelo *Data Segment* desembaralhado, diminuindo o efeito perturbador do ruído. O codificador convolucional tem uma função complementar ao *Reed Solomon*, acrescentando *bits* adicionais vazios para possibilitar, na saída do receptor, a correção de erros introduzidos durante a transmissão. Assim, o FEC 2/3 (codificador convolucional) significa que cada 2 *bits* na entrada geram 3 *bits* na saída. A taxa de *bits* na saída é de 32,18 Mbps. No multiplexador, os *bytes* de sincronismo que haviam sido removidos no sincronizador de quadro são substituídos pelo sincronismo de segmento, e também é acrescentado o sincronismo de campo.

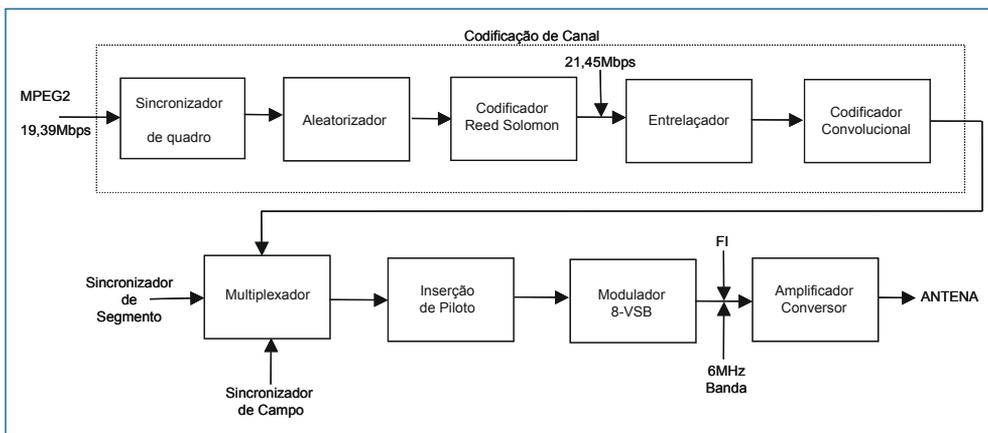


Figura 3 Diagrama de blocos do sistema ATSC.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A seguir, é inserido o piloto, o qual, no bloco do modulador 8VSB, vai gerar uma componente fixa com frequência da portadora para permitir que o receptor tenha uma referência necessária para sincronizar o demodulador síncrono de RF. Esse piloto

consome 7% da potência transmitida. O modulador 8VSB faz corresponder a cada símbolo de 3 *bits* presente na sua entrada um dos 8 possíveis níveis de tensão, gerando uma taxa de 10,76 Msps (megassímbolos por segundo). O sinal assim obtido é encaminhado ao modulador *Dual Side Band* (DSB) que gera sinal de FI com largura de 21,52 MHz. Um filtro passa-banda elimina uma das bandas laterais, produzindo o sinal VSB com largura de 10,76 MHz. O filtro de Nyquist reduz essa banda para 5,58 MHz. Esse sinal é então convertido pelos circuitos subsequentes para a frequência final de transmissão.

No receptor de TV digital, os circuitos componentes dele efetuam as operações inversas às descritas até aqui para o transmissor.

O sistema ATSC usa o áudio *Dolby Surround* AC3 que suporta a transmissão do sinal através de cinco canais e mais um canal de baixa frequência, o que resulta em um bom desempenho do sistema de som.

3.2 Sistema DVB-T

A principal característica do sistema europeu DVB-T é o fato de ser multiportador (1.705 portadoras para o modo 2K e 6.817 para o modo 8K) com modulação *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex* (COFDM), além da introdução do intervalo de guarda que permite um bom desempenho contra as interferências originadas de multipercurso. O padrão DVB-T, embora originalmente desenvolvido para a largura de banda do canal de 8 MHz, pode ser configurado para outras larguras como 7 MHz ou 6 MHz. O diagrama da Figura 4 ilustra a estrutura do modulador DVB-T. Como esse sistema é configurável para diversas opções de transmissão, a taxa de transmissão proveniente do MPEG2 é variável.

No circuito multiplexador, os sinais de vídeo e áudio comprimidos pelo MPEG2, além do sinal de dados, são multiplexados e há a distribuição aleatória dos *bits*, evitando a repetição de determinadas sequências de *bits*, para minimizar o aparecimento de concentrações destes ou de espaços vazios, operação que equivale à dispersão de energia. Aos *bits* que são divididos em pacotes de 188 *bytes*, o *Reed Solomon Coder* acrescenta mais 16 *bytes* sem informação para facilitar a correção de erros, formando um segmento de 204 *bytes*. O entrelaçador convolucional embaralha o conteúdo dos dados para que, quando aparecer uma interferência em rajadas, os erros sejam distribuídos de tal modo que o seu efeito seja minimizado. Na recepção, o conteúdo é desembaralhado, ficando tudo igual ao original. O codificador convolucional é um FEC programável para 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 e 7/8. Por exemplo, para razão 5/6, a cada 5 *bits* de informação é acrescentado 1 *bit* de correção. Quanto menor a fração, menor é a robustez do sinal contra as interferências externas. O entrelaçador de bloco divide o feixe digital de entrada em feixes digitais formados por pacotes de 2 *bits* (QPSK),

4 *bits* (16QAM) ou 6 *bits* (64QAM). O modulador tem a função de mapear os feixes digitais. A função de transmissão hierárquica é realizada por esse bloco. O bloco adaptador de quadro realiza as funções de criação e sincronização dos quadros e acréscimo das informações de piloto. Cada portadora vai apresentar, durante um período de tempo chamado *time useful* (TU), um certo estado de amplitude/fase definida pelo método de modulação empregado (QPSK, 16QAM ou 64QAM). O tempo útil para 8 k é 1194,7 μ s (837 símbolos por segundo), e para 2 k é de 298 μ s (3.348 símbolos por segundo). Como todas essas portadoras moduladas formam um conjunto de sinais ortogonais entre si, elas podem ser separadas na recepção sem ter sofrido interferências mútuas. Quanto mais robusto for o método, menor será a taxa útil de *bits* que se pode transmitir. Assim, o QPSK é o mais robusto, e o 64QAM, o menos robusto.

Intervalo de guarda é uma extensão cíclica do símbolo OFDM, o qual não carrega nenhuma informação útil. A interferência de multipercurso provoca um espalhamento dos símbolos no domínio do tempo. Sem a existência de intervalo de guarda, os símbolos se interferem mutuamente. O intervalo de guarda evita a interferência intersimbólica. Assim, um símbolo não interfere no outro. Esse intervalo de guarda é programável para 1/4, 1/8, 1/16 e 1/32. Quanto maior for a fração, maior será a robustez do sinal transmitido contra as interferências de multipercurso. Mas, em contrapartida, quanto maior for o intervalo de guarda, menor será a taxa útil de *bits* transmitida. Os feixes que resultam do modulador COFDM são convertidos em sinais analógicos pelo circuito D/A, que modulam a portadora de FI, mantendo o sinal modulado dentro da banda de 6 MHz.

O sistema de som utilizado nesse sistema é o *MUSICAN Stereo* comprimido pelo MPEG2 ou o Dolby AC3.

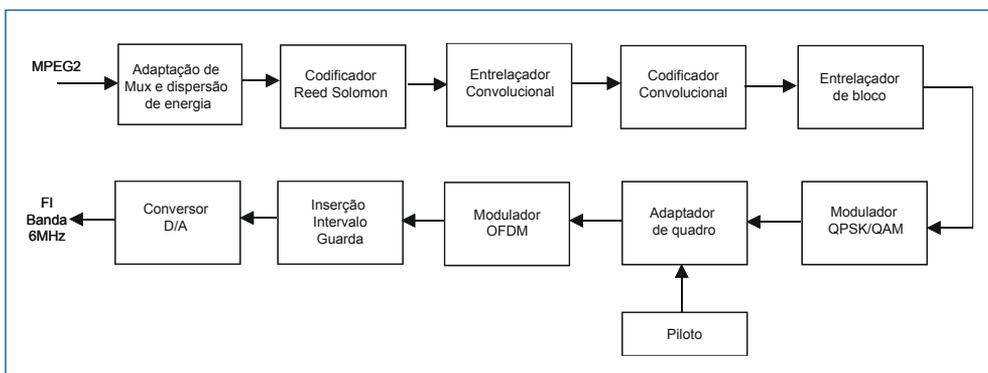


Figura 4 Diagrama de blocos do sistema DVB-T.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.3 Sistema ISDB-T

O sistema japonês ISDB-T (EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE, 1997) é uma evolução do sistema DVB-T com o uso de multiplexadoras, modulação OFDM e inserção de intervalo de guarda. Uma inovação desse sistema é a segmentação que divide a banda de 6 MHz do canal em 13 segmentos e, conforme o tipo de transmissão escolhida, utiliza um ou mais segmentos para cada camada, com a possibilidade de transmitir até 3 feixes de dados simultâneos com modulações diferentes entre si. O diagrama da Figura 5 ilustra o método de modulação do padrão ISDB-T.

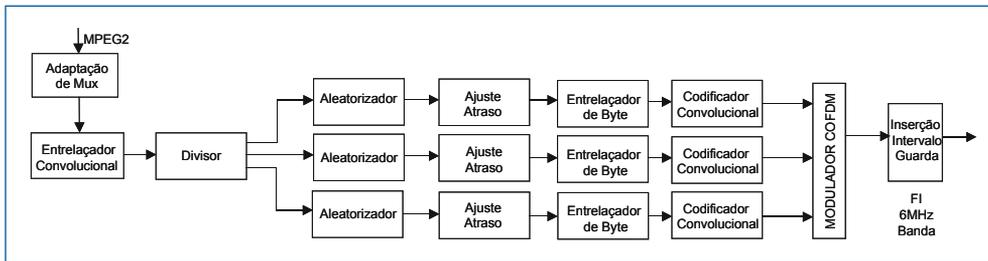


Figura 5 Diagrama de blocos do sistema ISDB-T.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os blocos adaptação de mux e entrelaçador convolutivo atuam de forma semelhante ao DVB-T. Como mostra a Figura 5, o sinal digital pode ser dividido pelo divisor em 3 camadas hierárquicas, e cada uma delas pode ter o aleatorizador e o entrelaçador de *bytes* ajustados de forma independente para cada camada. O aleatorizador provoca a distribuição aleatória dos *bits* a exemplo dos outros padrões para efetuar a dispersão de energia. No modulador, os feixes de entrada são remultiplexados e arranjados em grupos de dados (*Data Segments*) que, após a modulação em OFDM, vão formar 13 segmentos úteis (*OFDM Segments*), tendo cada um a largura de banda de $6 \text{ MHz}/14 = 428,57 \text{ KHz}$. O segmento central de número 7 normalmente é alocado para transmissão portátil de banda estreita de 1 segmento. O intervalo de guarda é inserido para que o sinal de multipercurso não interfira no sinal principal. Na recepção, ocorre o processo de demodulação, inverso da transmissão.

O sistema de som utilizado pelo ISDB-T é o AAC, compatível com *Dolby AC3*.

4 COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS PADRÕES

A Tabela 1 mostra as características principais dos três padrões de TV digital (ITU-R..., 1999).

TABELA 1

Comparação das características dos padrões de TV digital

Padrões	ATSC	DVB-T	ISDB-T
Método de modulação	AM	COFDM	OFDM
Tipo de modulação	8VSB	QPSK, 16QAM e 64QAM	QPSK, 16QAM e 4QAM
Codificador convolucional	2/3 fixo	1/2, 2/3, 3/4, 5/6/, 7/8	1/2, 2/3, 3/4, 5/6/, 7/8
Intervalo de guarda	Não existe	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Modo	Não aplicável	2K e 8K	2K, 4K e 8K
Número de portadoras	1	1705 (2K) e 6817 (8K)	1405 (2K), 2809 (4K) e 5617 (8K)
Entrelaçador temporal	Fixo	Fixo	0~400 ms configurável
Taxa de transmissão	19,39 Mbps	Variável	Variável

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 1 mostra que o sistema ATSC é menos versátil. O sistema ISDB-T é o mais versátil e flexível, permitindo configurar conforme a necessidade de programação. Entre outras facilidades, o sistema baseado em modulação OFDM permite a transmissão hierárquica com mais de um programa por canal de TV, desde o HDTV até canal de TV móvel, com pequena taxa de transmissão (ocupando banda da ordem de 430 KHz).

A Tabela 2 mostra as possibilidades de combinações de programa com modulações diferentes na mesma transmissão (transmissão hierárquica).

TABELA 2

Características comparativas da transmissão hierárquica

	ATSC	DVB-T	ISDB-T
Número de camadas	1	Até 2	Até 3
Método de modulação associado a feixes	Não aplicável	QPSK e QPSK ou QPSK e 16QAM	DQPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Codificador convolucional	Não aplicável	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8
Intervalo de guarda	Não aplicável	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Modo	Não aplicável	2K e 8K	2K, 4K e 8K
Entrelaçador temporal	Não aplicável	Fixo e igual para as 2 camadas	0~400ms

Fonte: Elaborada pelos autores.

5 RESULTADO DAS MEDIDAS

Nesta seção, serão apresentados os resultados comparativos de algumas características mais relevantes para avaliação de desempenho de um sistema de televisão digital (SUKYS et al., 2001).

5.1 Teste de desempenho das características de recepção

Nesse teste, é avaliada a relação C/N (portadora/ruído) intrínseca de cada sistema. O nível do sinal de entrada da TV digital é mantido constante a -30 dBm (condição de recepção ótima). Ao sinal de entrada é injetado um nível de ruído branco até o valor N_{dBm} em que ocorre, na saída do sinal demodulado do receptor, o limiar de taxa de erro (3×10^{-6}). Essa taxa de erro é conhecida como limiar de perceptibilidade, a partir do qual ocorre degradação da imagem na tela. Nessa condição, é calculada a relação C/N para cada sistema. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos.

TABELA 3

Relação sinal ruído dos sistemas

ATSC	DVB-T (64-QAM 8K 1/16 3/4)	ISDB-T (64-QAM 8K 1/16 3/4 0.2 s)
14,5 dB	17,7 dB	18,9 dB

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 3 mostra que existe uma vantagem do sistema ATSC em aproximadamente 4 dB sobre os demais sistemas. A desvantagem do DVB-T e ISDB-T é que eles terão uma área de cobertura menor para uma mesma potência de sinal transmitido pelo ATSC.

5.2 Mínimo nível de sinal

Esse teste tem como objetivo determinar o mínimo nível de sinal que o receptor deve receber na sua entrada para manter uma qualidade de imagem aceitável. Esse teste não pode ser entendido como referência para comparação de sistemas por ser fortemente influenciado pela qualidade do receptor usado no teste. O teste consiste em sintonizar o receptor para o canal em teste e ir reduzindo o nível de sinal de entrada até atingir o limiar de perceptibilidade (taxa de erro de 3×10^{-6}).

O resultado da Tabela 4 mostra que o sistema ATSC tem maior alcance comparado com os outros sistemas para a mesma potência de transmissão, o que equivale dizer que, para mesma área de cobertura, necessita de transmissor de menor potência.

TABELA 4

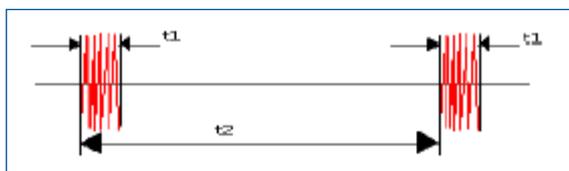
Mínimo nível de sinal

ATSC	DVB-T (64-QAM 8K 1/16 3/4)	ISDB-T (64-QAM 8K 1/16 3/4 0.2 s)
-82,3 dBm	-78,4 dBm	-76,8 dBm

Fonte: Elaborada pelos autores.

5.3 Robustez do sistema de TV digital ao ruído impulsivo

Esse teste tem como objetivo verificar a robustez de cada sistema ao ruído impulsivo. O canal digital interferido é modulado por uma sequência pseudoaleatória – *pseudo random binary sequency* (PRBS15) –, e o sinal interferente é obtido por um simulador de ruído de ignição, que emite rajadas de ruído branco cuja duração é ajustável de 1 μ s a 999 μ s.



t1: tempo durante o qual o ruído branco é injetado na janela com a potência N_{eq} .
A largura da janela é ajustável de 1 μ s a 999 μ s
t2: tempo entre janelas, o qual decresce linearmente entre 100 ms e 10 ms, e rapidamente retorna à situação original, quando o ciclo recomeça. Cada ciclo dura 30 s.

Figura 6 Ruído impulsivo simulado.

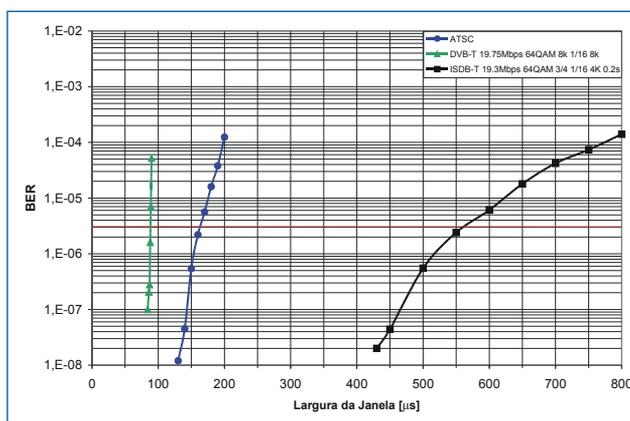


Gráfico 1 Taxa de erro x largura de janela (μ s).

Fonte: Elaborado pelos autores.

O sinal digital de entrada é mantido constante (-30 dBm). Na janela t1, é injetado ruído branco com nível constante de (N_{eq}) dBm, valor esse 5 dB acima do nível de sinal digital. Nessas condições, a largura de t1 é variada até atingir o limiar de taxa de erro (3×10^{-6}). O Gráfico 1 mostra que o sistema DVB-T apresenta resultado pior que o ATSC nesse parâmetro. O sistema ISDB-T mostra uma melhor imunidade a ruído impulsivo, devido ao uso de técnica de embaralhamento de dados, característica que é exclusiva desse padrão de TV digital.

5.4 Robustez do sistema digital à interferência de multipercurso

Em televisão, a presença de interferências de multipercurso provocado por reflexões do sinal em obstáculos, como edifícios e superfícies refletoras, é inevitável. Este item mostra o grau de robustez de cada padrão de TV digital com relação ao efeito de multipercurso. O teste consiste em criar um ou vários sinais com diferentes atrasos no tempo a partir de um mesmo sinal de TV e injetá-los na entrada do receptor junto com o sinal principal. O Gráfico 2 mostra, para os três padrões, o resultado do grau de imunidade do sinal de TV na presença de um sinal de multipercurso com tempo de atraso positivo (pós-eco) ou negativo (pré-eco). O resultado mostra que o sistema ISDB-T suporta um atraso de até $\pm 60 \mu s$, enquanto o ATSC não tolera o pré-eco e, para o pós-eco, chega no máximo até $40 \mu s$. O DVB-T suporta atraso de $\pm 75 \mu s$.

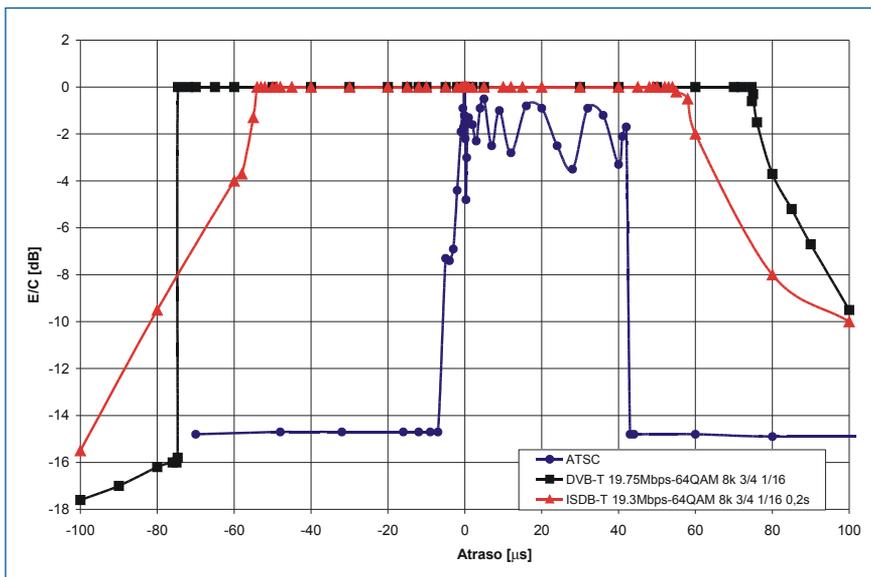


Gráfico 2 Um sinal de eco/sinal principal.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 3 mostra o desempenho dos três sistemas na condição de presença simultânea de um eco com atraso de $1 \mu\text{s}$ em relação ao sinal principal e ruído branco variável. No eixo vertical, consta a relação D/N (potência do sinal direto/potência de ruído branco), e, no eixo horizontal, consta a relação D/E (potência de sinal direto/potência de eco). O gráfico mostra que, para todos os sistemas, quanto mais forte é o sinal de eco, maior deve ser a relação sinal ruído para manter o sistema operacional. A modulação 8VSB não suporta eco muito intenso. Todos os sistemas funcionam bem para ecos fracos, e, nesse caso, o ATSC até tem uma certa vantagem.

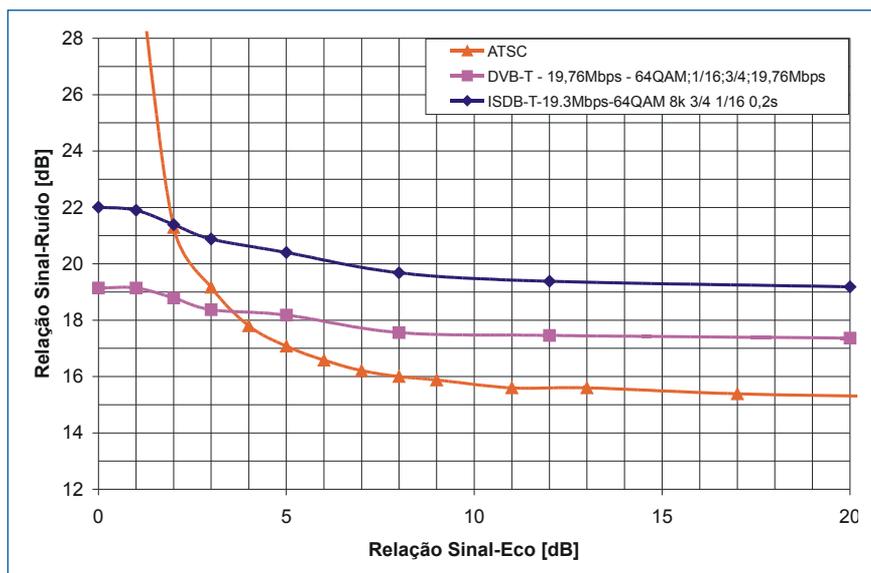


Gráfico 3 (Sinal principal + eco) x (sinal principal + ruído branco).

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.5 Interferência de multipercurso na presença de múltiplos ecos

Com a finalidade de avaliar o comportamento dos três sistemas na condição mais próxima possível da situação real, foram simuladas diversas combinações de eco, com amplitudes e atrasos variados, conforme se pode ver na Tabela 5. Nessa simulação, adotaram-se as seguintes nomenclaturas:

- Brasil A: “Canal Rice” simplificado. Condição de recepção com antena externa, localizada onde o sinal refletido é baixo.
- Brasil B: “Canal Harbour Apartment” simplificado.

- Brasil C; “Canal Rayleigh” simplificado. Segunda versão da recepção com antena interna. Representa condição intermediária de recepção entre os canais A e D, onde existem reflexões com atrasos menores que o canal D. O primeiro eco (ECO1) é mais forte que o sinal principal.
- Brasil D: “Canal Rayleigh” simplificado. É a situação de recepção usando antena interna, situação considerada de difícil recepção por causa da presença de fortes sinais refletidos.
- Brasil E: é a situação extrema, representada pela recepção pelo processo rede de frequência única (SFN) – repetição da mesma frequência por estações repetidoras –, em que os sinais são originados de três transmissores (EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE, 1997).

TABELA 5

Condições relativas dos diversos canais com múltiplos ecos

Nome	Descrição	Path 1	Path 2	Path 3	Path 4	Path 5	Path 6
Brasil A	Atraso (μ s)	0	0,15	2,22	3,05	5,86	5,93
	Atenuação (dB)	0	13,8	16,2	14,9	13,6	16,4
Brasil B	Atraso (μ s)	0	0,3	3,5	4,4	9,5	12,7
	Atenuação (dB)	0	12	4	7	15	22
Brasil C	Atraso (μ s)	0	0,089	0,419	1,506	2,322	2,799
	Atenuação (dB)	2,8	0	3,8	0,1	2,5	1,3
Brasil D	Atraso (μ s)	0,15	0,63	2,22	3,05	5,86	5,93
	Atenuação (dB)	0,1	3,8	2,6	1,3	0	2,8
Brasil E	Atraso (μ s)	-1	0	1	x	x	x
	Atenuação (dB)	0	0	0	x	x	x

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 6 indica se o sistema funciona ou não nos diversos tipos de canais interferentes, bem como os valores de portadora/ruído para atingir o limiar de BER (3×10^{-6}).

TABELA 6

Resultado da simulação com múltiplos ecos

Canal Brasil	ATSC	DVB-T (64-QAM 8K 1/16 3/4)	ISDB-T (64-QAM 8K 1/16 3/4 0.2 s)
A	14,8	20,0	22,1
B	NF	22,2	25,1
C	NF	21,2	22,8
D	NF	22,2	24,8
E	NF	27,2	30,5

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota-se que somente para o canal Brasil A, onde a interferência é mais suave, é possível receber o sinal em todos os padrões de TV digital.

5.6 Características dos sistemas de TV digital para recepção móvel (efeito Doppler)

Esse teste tem como objetivo caracterizar o comportamento dos padrões com relação a sinais de multipercurso, originados pela reflexão de superfícies em movimento ou quando o receptor está em um veículo em movimento. Esse teste é efetuado criando um sinal, cuja frequência se desloca simulando reflexão de um ponto móvel (efeito Doppler). O Gráfico 4 mostra os resultados desse teste, em que o sinal de eco é atrasado de 1 μ s em relação ao sinal principal.

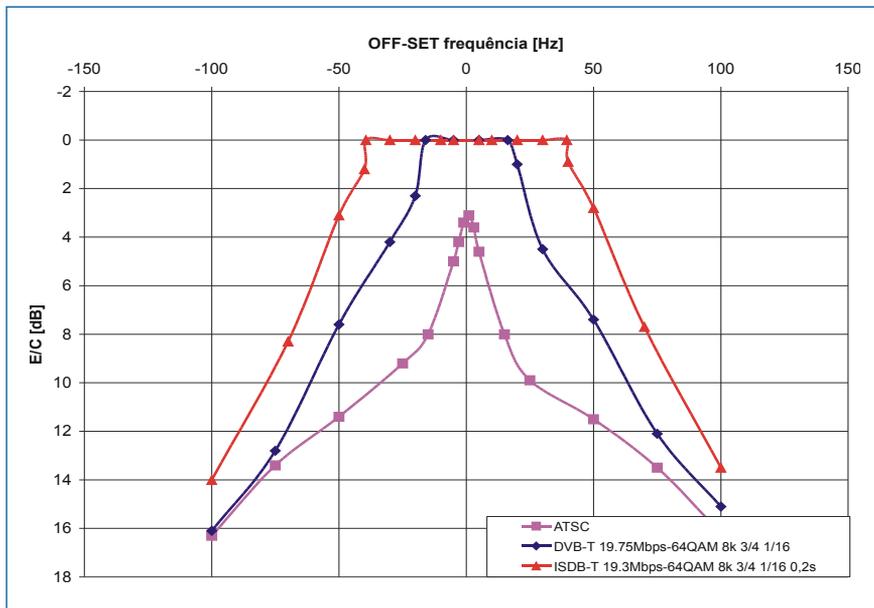


Gráfico 4 Efeito Doppler.

Fonte: Elaborado pelos autores.

É possível observar no Gráfico 4 que quanto mais rápido é o deslocamento do objeto onde o sinal é refletido, mais difícil é a recepção. Nota-se grande vantagem do sistema que usa modulação COFDM em relação à modulação 8VSB para a recepção móvel.

6 CONCLUSÃO

Os três sistemas têm comportamentos parecidos, cada um tendo melhor desempenho em alguns parâmetros e pior em outros. Contudo, todos os sistemas vêm evoluindo no desempenho com relação aos parâmetros negativos apontados, sendo difícil no momento definir qual é globalmente o melhor sistema. Podem-se enumerar alguns pontos positivos de cada padrão de TV digital:

- O ISDB-T apresentou melhor desempenho com relação a ruído impulsivo por causa do *interleaver* de longa duração. Trata-se de um importante parâmetro para o Brasil em razão da existência de muitas causas de emissão de ruído impulsivo, como antigos veículos automotores e motores elétricos com escovas.
- Os padrões que usam modulação COFDM (ISDB-T e DVB-T) têm melhor desempenho que o padrão que usa modulação 8VSB (ATSC), com relação a interferências provocadas pelos sinais de multipercurso. Nas grandes cidades, existem áreas com enorme densidade de edifícios ou superfícies refletoras, que geram muitos sinais de multipercurso que dificultam a boa recepção de sinais de TV sigital.
- O sistema ATSC mostra vantagem em relação ao ISDB-T e DVB-T no que diz respeito à área de cobertura quando se usam iguais potências de transmissão. Isso proporciona grande vantagem para a operadora, pois necessita de transmissor de menor potência que os outros sistemas para cobrir a mesma área.
- O sistema ATSC não mostra versatilidade para transmissão móvel.
- Os sistemas DVB-T e ISDB-T são mais versáteis por permitirem transmissão simultânea de programas com robustez diferentes no mesmo canal de transmissão, dando maior flexibilidade para a operadora e o usuário.

REFERÊNCIAS

ATSC. ATSC Digital Television Standard. ATSC Doc. A/53, Sep. 1995.

EUROPEAN TELECOMMUNICATIONS STANDARDS INSTITUTE (ETSI). Digital video broadcasting (DVB); framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television (DVB-T). ETS 300744 Mar. 1997.

ITU-R WP 11A/59. Channel coding, frame structure and modulation scheme for terrestrial integrate service digital broadcasting (ISDB-T). ITU-R WP 11A/59-E, May 1999.

SUKYS, F. et al. *Evaluation of the digital television transmission system carried out in Brazil*. Wakayama: Hosookyoku Gizitsu, 2001.

WITHAKER, J. *Video compression*. New York: McGraw-Hill, 1998.

_____. *DVT; the revolution in digital video*. New York: McGraw-Hill, 1999.