

Televisão Digital de Alta Definição - HDTV

Yuzo Iano, Luiz Rômulo Mendes, Vicente Idalberto Becerra Sablón, José Alexandre Nalon

Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação
Departamento de Comunicações - DECOM-FEEC-UNICAMP

Resumo: Abrange-se neste artigo os principais aspectos referentes aos sistemas de televisão de alta definição. Desde as primeiras propostas japonesas até os modernos sistemas digitais americanos, europeus e japoneses percorreu-se um caminho de cerca de uma década e meia. A viabilidade tecnológica foi demonstrada pela implementação de equipamentos de geração, gravação e reprodução de sinais de HDTV (High Definition Television). As possibilidades de aplicações em diversos campos das atividades atuais, incluindo o cinema, animaram os desenvolvimentos referentes aos sistemas de HDTV motivando e encorajando pesquisas que resultaram nas propostas da ATSC (Advanced Television System Committee) americana, da DVB (Digital Video Broadcasting) europeia e mais recentemente da ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) japonesa. A facilidade da editoração eletrônica de imagens de alta qualidade, apontou tanto para uma ampla flexibilidade de manipulação da informação quanto para uma maior eficiência no tocante ao tempo de acesso do trabalho final. Além disso, o sistema foi adaptado para conviver com modernos conceitos de redes para transmissão de dados, áudio e vídeo.

I. INTRODUÇÃO

O termo “*high-definition television*”-HDTV (televisão de alta definição) não é novo, tendo sido usado ao longo do tempo para definir o começo de novas gerações de sistemas de TV. Por exemplo, na década de 30, o termo foi usado para descrever a televisão eletrônica monocromática, que utilizava 405 linhas e representou um grande avanço sobre sua antecessora, a televisão com varredura mecânica. Em 1948, o termo “*high-definition*” foi usado para se referir ao sistema de TV de 819 linhas monocromático introduzido na França, o que naquela época representou um salto de qualidade em relação ao sistema de 625 linhas que estava em uso. Na década de 70, iniciou-se no Japão um programa de pesquisa e desenvolvimento que conduziria à criação de um sistema de HDTV com aproximadamente 1000 linhas [1]. Esse sistema japonês, conhecido como MUSE (“Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding”), pode ser considerado o precursor moderno dos sistemas de HDTV atuais.

Uma das recentes definições do termo HDTV é apresentada no relatório técnico 801 [2]:
“... um sistema projetado para permitir visualização a uma distância de aproximadamente três vezes a

altura de quadro (monitor de vídeo), tal que o sistema é virtualmente transparente para a qualidade de discernimento que seria percebida na cena original por um observador com acuidade visual normal.”

Essa definição psico-visual implica que um sistema de HDTV deve ter pelo menos duas vezes a resolução de um sistema de TV convencional em ambas as dimensões espaciais, melhores características associadas à colorimetria e também maior relação de aspecto. Esse conceito comumente aceito, entretanto, é inadequado para descrever de forma completa um sistema baseado em tecnologia digital que utiliza técnicas de compressão. Isso ocorre porque tal conceito não considera as dimensões temporais nem os aspectos de codificação resultantes do processo de compressão do sinal de vídeo digital. Não obstante, a definição de HDTV apresentada em [2] tem sido muito utilizada.

Novos conceitos têm sido introduzidos para se avançar além do sistema de HDTV. Por exemplo, em [3] apresenta-se um estudo sobre sistemas de imagens de super-alta definição (“*Super-High-Definition*”-SHD) os quais têm como objetivo integrar todas as mídias existentes sem distinção entre imagens paradas e em movimento. Técnicas de compressão de vídeo digital utilizadas em sistemas de super-alta definição possibilitam redução de taxa do sinal original de 6 Gbps para 150 Mbps com excelente qualidade de reprodução. Comparativamente, os sistemas de HDTV comprimem o sinal original de cerca de 1,0-1,5 Gbps para aproximadamente 20 Mbps.

II. DESAFIOS DESTA NOVA TECNOLOGIA

A meta do serviço de HDTV inclui desenvolver um sistema com melhor desempenho quanto ao movimento de quadros, percepção de profundidade e colorimetria em relação aos padrões de transmissão de televisão convencionais de 525 e 625 linhas (PAL-“*Phase Alternation (by) Line*”, NTSC-“*National Television Systems Committee*” e SECAM-“*Sequentiel (Couleur/ Crominance avec) à Mémoire*”). Tal sistema coloca o observador (telespectador) em um grande cenário com uma ampla relação de aspecto e o mantém com a percepção de maior participação. Essa tecnologia deve incorporar diversas aplicações, tais como o uso na produção eletrônica de filmes, efeitos especiais para cinema, pós-produção em estúdio, imagens computadorizadas, televisão fotográfica, educação, telemedicina, armazenamento digital de obras de arte, vídeo-conferências e trabalhos científicos [4][5].

De modo geral essa nova tecnologia tem enfrentado os seguintes desafios:

1. Uso de sofisticadas técnicas de compressão, a fim de se transmitir a maior quantidade de informações possível dentro dos limites de capacidade dos canais de transmissão. A resposta a este desafio foi a adoção do Padrão de compressão de vídeo digital MPEG-2 (“Moving Pictures Expert Group”) pelos principais sistemas HDTV atuais;
2. Implementação de técnicas de *hardware* para se realizar processamento em tempo real;
3. Utilização de técnicas de transmissão confiáveis em canais não ideais. Os atuais sistemas de HDTV utilizam códigos convolucionais, codificação de Reed-Solomon e código de treliça com esta finalidade;
4. Desenvolver monitores de vídeo (“*displays*”) com forma, tamanho e brilho adequados.

As respostas a esses desafios devem conduzir à criação de equipamentos a um custo razoável. Possivelmente, o maior desafio atual é justamente a produção de receptores e monitores a um preço razoável que possibilite a um grande número de consumidores o acesso a esta nova tecnologia [6]. Atualmente, os receptores HDTV top de linha do sistema ATSC (Advanced Television System Committee) custam entre cinco a dez mil dólares [41], mas os preços tendem a cair.

Nº	QUESTÃO	TÍTULO
1	Q.27-2/11	Padrões para estúdios de alta definição e para os programas de intercâmbio internacionais
2	Q.47/11	Padrões para HDTV
3	Q.52/11	Procedimentos para avaliação subjetiva, etc.
4	Q.69/11	Compatibilidade dos padrões de HDTV com os padrões já existentes e futuros
5	Q.70/11	Efeitos da tecnologia dos monitores de vídeo sobre os padrões HDTV
6	Q.71/11	Qualidade total do quadro
7	Q.AAA/11	Redução da taxa de bits para a codificação, etc.
8	Q.AAB/11	Codificação para a radiodifusão dos sinais de HDTV originais em canais de banda estreita.
9	Q.121/11	Radiodifusão terrestre da televisão digital.
10	Q.AAD/11	Medidas objetivas em ambientes de estúdios de HDTV.

Tabela 1. *Questões a serem observadas para o desenvolvimento de sistemas HDTV (extraído de [4])*

Outros desafios enfrentados para se conduzir o trabalho do CCIR (The International Radio Consultative Committee / ITU-R(International Telecommunications Union) , hoje) com relação à padronização do sistema HDTV foram os fatores que

levassem em consideração as diferentes formas de transmissão, possíveis aplicações e a necessária harmonização entre a transmissão ou não de aplicações de imagens de alta definição (HD). No início do processo de padronização, o CCIR elaborou um conjunto relevante de questões iniciais (padrões e práticas) a ser observado para o desenvolvimento de sistemas HDTV. As principais questões são apresentadas na Tabela 1.

III. PRIMEIRAS PROPOSTAS

Os esforços para se desenvolver um novo serviço HDTV iniciaram pela proposta japonesa para um novo programa de estudo sobre TV digital de alta definição (“*Japanese Proposal for a New Study Program - High Definition Television*”) em Março de 1972 [7]. Os japoneses propuseram que o CCIR estudasse os serviços de HDTV como uma forma para melhorar os serviços de transmissão de TV existentes. Naturalmente, uma das limitações foi a tecnologia necessária para sua implementação [8][9][11][11][12]. A proposta sugeria [4]:

- Imagens em movimento bem conformadas e com um som de alta qualidade;
- Alta definição de imagens para atender futuras aplicações nas áreas educacional e de entretenimento em que um monitor de vídeo grande fosse utilizado;
- Razão de aspecto (Horizontal:Vertical) na faixa de 5:3 (1.667:1) a 2:1, com uma função de transferência de modulação de pelo menos 50% e resolução de 700 a 900 linhas de varredura efetivas (ativas) para reprodução em aparelhos de televisão.

As propostas, requerimentos padrões, etc. para esse sistema podem ser consultadas em [7] e [13]. Os resultados desse trabalho foram mostrados nos Estados Unidos à “*Society of Motion Picture and Television Engineers*” (SMPTE), durante a “*Winter TV Conference*”, celebrada em San Francisco, Califórnia, em fevereiro de 1981. Desde então a SMPTE tem apoiado as iniciativas japonesas para implantação da HDTV no plano mundial. Esse quadro mudaria mais tarde, nos anos 90, com o espaço dos serviços HDTV sendo disputado pelos países europeus e mais recentemente pelos próprios americanos.

A capacidade de se transmitir imagens de HDTV para o público foi demonstrada pela primeira vez no Japão, e depois na Europa, usando-se tecnologia analógica de transmissão.

Os progressos para desenvolver uma transmissão analógica de HDTV foram reportados pela primeira vez no trabalho do *Interim Working Party* (IWP) 11/6, e depois em 1990, no work of *Task Group* 11/1. O trabalho estava focalizado sobre os dois sistemas, MUSE (“Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding”) e HD-MAC (“High Definition-Multiplexed Analog Components”).

Na época, foram propostas e reportadas ao CCIR características de vários sistemas alternativos. Entretanto os trabalhos dos sistemas MUSE (Japão -

NHK-“Nippon Hoso Kyokai / Japan Broadcasting Corporation”) [14][15][16] e HD-MAC (Europa - EU) [17][18] apresentavam propostas mais significativas principalmente do ponto de vista prático, uma vez que os sistemas já haviam sido implementados.

O mérito do sistema analógico MUSE foi o de demonstrar a viabilidade de implementação da HDTV. Os equipamentos de geração e reprodução dos sinais passaram a fazer parte da nova realidade tecnológica e foram aproveitados para o próximo passo da evolução da HDTV: sistemas HDTV com transmissão totalmente digital.

IV. COMEÇO DA TRANSMISSÃO DIGITAL

A partir de 1990 começa a fase de realizações de grandes esforços na América do Norte para o estabelecimento de um sistema HDTV que utilizasse 6 MHz de largura de banda por canal, largura já utilizada pelas emissoras de TV em operação (NTSC). Para tanto, concentraram-se esforços nos estudos de técnicas de compressão de vídeo digital e técnicas de modulação adequadas [4]. A proposta inicial foi lançada pela “General Instrument” [19]. As demonstrações práticas dos diferentes sistemas realizadas na América do Norte rapidamente foram repetidas na Europa.

Os documentos do CCIR reportavam nominalmente três larguras de banda para os canais de televisão:

- 6 MHz para os Sistemas M e N (NTSC, PAL)
- 7 MHz para o Sistema B (PAL, SECAM)
- 8 MHz para os Sistemas G, H, I, D, K, K1, L (SECAM, PAL) [20]

A transmissão terrestre foi distribuída em 8 bandas (VHF) e 9 bandas (UHF). Os detalhes sobre a distribuição por largura de banda, seleção de países (áreas geográficas) e dos principais conceitos seguidos podem ser consultados em [21], [22] e [23].

Baseado nos testes de laboratório dos sistemas digitais propostos, em março de 1993, foram desenvolvidas as recomendações relativas ao sistema digital pelo “Advisory Committee on Advanced Television Service” (ACATS) “Special Panel” [24]. Posteriormente foi formada a Grande Aliança (GA) [25][26], a fim de se estabelecer um padrão HDTV único a partir das melhores características dos sistemas inicialmente testados pelo ACATS. Os membros da GA são: AT&T, General Instrument Corporation (GI), Massachusetts Institute of Technology (MIT), Philips Electronics North America Corporation, David Sarnoff Research Center, Thomson Consumer Electronic, e a Zenith Electronic Corporation [27]. A Tabela 2 mostra as quatro propostas testadas durante a primeira concorrência para o padrão.

O DigiCipher™ e o Channel Compatible DigiCipher™ (CCDC) HDTV System foram desenvolvidos por um consórcio realizado entre a MIT e a GI. O Digital Spectrum Compatible (DSC) HDTV System foi desenvolvido pela Zenith e a AT&T [28]. O Advanced Digital Television (AD-HDTV) HDTV System [29] foi desenvolvido pelo consórcio entre a

Philips, Thomson, Sarnoff, NBC em conjunto com a Compression Labs Inc. (CLI). O codificador de vídeo do sistema AD-HDTV foi baseado no padrão MPEG-1 [30][31]. Entretanto, o padrão de codificação de vídeo digital escolhido pela GA [32] foi o Padrão MPEG-2 [33] que representa uma evolução do padrão MPEG-1 [34].

DSC-HDTV ³ (<i>progressive scan</i>)	AT&T, Zenith
AD-HDTV ⁴ (<i>interlaced scan</i>)	Philips, Sarnoff, Thomson, NBC, CLI
DigiCipher ¹ (<i>interlaced scan</i>)	General Instrument, MIT
CCDigiCipher ² (<i>progressive scan</i>)	General Instrument, MIT

Tabela 2. As Quatro Propostas Testadas durante a Primeira concorrência para o Padrão HDTV Americano ([34])

Na Europa, os padrões para HDTV (e SDTV) foram desenvolvidos por um consórcio de indústrias e governo chamado de “Digital Video Broadcasting” (DVB). Esse grupo também estabeleceu padrões para a transmissão digital via satélite e via cabo (através da European Telecommunications Standards Institute, ETSI) e depois completou o padrão da transmissão digital terrestre conhecido como DVB-T. O Padrão DVB-T tem sido utilizado principalmente para transmissão de vários canais de TV digital padrão (SDTV-“Standard Digital Television”) [1], entretanto esse padrão também contempla a transmissão de sinais HDTV. Em [35] e [36] pode-se obter informações adicionais sobre a HDTV na Europa.

Por outro lado, foi desenvolvido no Japão um padrão para radiodifusão de serviços multimídia conhecido como “Integrated Services Digital Broadcasting” (ISDB). Esse sistema pode ser utilizado para vários serviços, por exemplo, HDTV, SDTV, transmissão de dados e outras aplicações multimídia. Assim como o sistema europeu, DVB-T, e o americano, ATSC, o sistema japonês ISDB utiliza o Padrão MPEG-2 nas etapas de codificação de vídeo e multiplexação. A modulação utilizada pelo sistema ISDB-T é o COFDM (“Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing”), que também é utilizado pelo sistema DVB-T. Uma estação transmissora experimental localizada em Tokyo está em operação e, ao longo do corrente ano (1999), outras estações experimentais estão sendo ativadas perfazendo um total de onze estações experimentais cobrindo todo o território japonês. Em [37] pode-se obter maiores informações sobre o desenvolvimento dos sistemas HDTV no Japão.

V. RADIODIFUSÃO UTILIZANDO SFN

“Single Frequency Network” (SFN) é um conceito utilizado para se definir uma rede de transmissores operando na mesma frequência de forma síncrona. As técnicas tradicionais de radiodifusão não possibilitam o SFN, ou seja, uma determinada emissora transmitindo através de duas antenas geograficamente

adjacentes deve utilizar frequências distintas. Uma das vantagens apresentadas pelos defensores do sistema HDTV europeu é que a modulação COFDM, ao contrário da modulação 8-VSB, possibilita a utilização do conceito de SFN.

A utilização de SFN resulta em ganho de canalização, ou seja, para uma mesma banda espectral é possível aumentar o número de canais efetivamente utilizados. Para melhor compreensão desse conceito, serão utilizados alguns jargões próprios de sistemas de telefonia móvel celular. Nesses sistemas, uma célula é definida como a área geográfica coberta por uma antena transmissora, e “cluster” é definido como um conjunto de células dentre as quais são distribuídos os canais disponíveis. Portanto, quanto maior o número de células de um “cluster”, menor será o número de canais atribuídos a cada célula. Para cobertura de uma região, é utilizado um padrão de células (“cluster”8) que se repete até cobrir toda a área geográfica dessa região.

Utilizando esses conceitos de célula e “cluster”, pode-se observar, através de um exemplo, o ganho de canalização proporcionado pela modulação COFDM. Considere a situação da França, onde há 45 canais de 8 MHz na banda UHF alocados para transmissão televisiva [38]. Atualmente cinco canais nacionais são suficientes para saturar a banda disponível, pois é utilizado um “cluster” de nove células. Dessa forma, os 45 canais disponíveis são divididos entre nove células, resultando em 5 canais de 8 MHz efetivamente utilizados por cada célula. A utilização de um sistema de transmissão com modulação COFDM poderia aumentar o número de canais disponíveis por célula, inicialmente diminuindo o número de células por “cluster” até chegar à utilização de um “cluster” de uma única célula, ou seja, cada célula poderia utilizar até 45 canais. O ganho de canalização seria de 9 vezes no último estágio, quando o processo de migração do sistema de TV analógico estivesse totalmente concluído para o sistema digital. A Figura 1 ilustra o plano de canalização para os casos do sistema analógico atual, (a), e o sistema 100% DVB-T, (b). No primeiro caso, Figura 1a, cada programa utiliza 9 canais de 8 MHz, um para cada célula. No segundo caso, Figura 1b, cada programa só utiliza um canal de 8 MHz, ou seja todos os transmissores (no centro de cada célula) utilizam um mesmo canal de 8 MHz para um determinado programa.

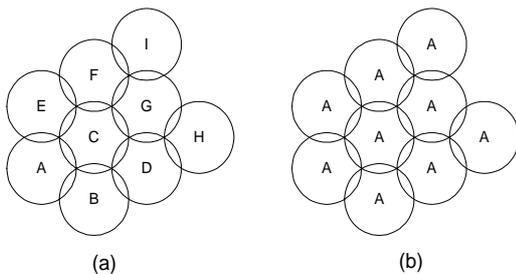


Figura 1. (a) Plano de frequência do sistema de TV analógico Francês; (b) Possível plano de frequência do sistema DVB-T

Deve-se observar que no exemplo anterior considerou-se que o serviço oferecido pelo sistema digital seria HDTV. Caso esse serviço fosse SDTV, que reflete melhor a situação atual na Europa, seria possível aumentar ainda mais o número de canais transmitidos, pois é possível se transmitir até 6 programas SDTV dentro de um canal de 8 MHz do sistema DVB-T.

O conceito SFN pode ser também utilizado na cobertura de áreas de sombra em que é utilizado um repetidor que retransmite o sinal na mesma faixa de frequência que recebe. De acordo com [39] essa aplicação foi recentemente demonstrada em circunstâncias operacionais em Berlim.

VI. CONCORRÊNCIA ENTRE SISTEMAS DE TELEVISÃO DIGITAL

A iniciativa de estabelecimento de um único padrão HDTV para os países europeus pode ser comparada com o que ocorreu com os sistemas celulares nesse continente. Até o final da década de 80, havia vários sistemas celulares analógicos diferentes em operação nos países europeus. Muitas vezes o usuário de um sistema não podia realizar ligações a partir de um país vizinho caso este tivesse um sistema celular diferente. A situação descrita ocorria com frequência, dado que os países europeus têm pequena extensão territorial. A fim de resolver esse problema, no processo de migração para tecnologia celular digital foi estabelecido um padrão para sistema celular digital (GSM-“Global System for Mobile Communications”) que atualmente é utilizado por todos os países da Europa.

Da mesma forma, os países europeus uniram-se através de um consórcio entre governos e empresas chamado DVB (“Digital Video Broadcasting”), com o objetivo de estabelecer um padrão global de transmissão de televisão digital. Atualmente, participam deste consórcio aproximadamente 200 empresas de radiodifusão, fabricantes, operadoras e organismos de regulamentação espalhados em mais de 30 países.

Na Europa, a padronização dos sistemas de televisão digital visando possibilitar interoperabilidade entre equipamentos iniciou-se pelo estabelecimento de padrões de sistemas de televisão digital para difusão via satélite, (DVB-S) e via cabo (DVB-C). Mais tarde foi estabelecido um padrão que contempla radiodifusão terrestre, o DVB-T, que utiliza modulação COFDM. Os padrões DVB-S e DVB-C são utilizados em quase todos os países do mundo, inclusive os EUA [40]. Por outro lado, há uma forte competição a nível mundial entre os padrões de radiodifusão terrestre americano, europeu (DVB-T) e japonês.

Na Europa, o investimento é maior em SDTV (“Standard Definition Television”) e não em HDTV. Para os europeus, a alta definição não é essencial, uma vez que restringe o número de canais.

No Reino Unido, as transmissões, com objetivos comerciais utilizando o sistema DVB-T iniciaram-se em novembro de 1998. Em agosto de 1999, já havia

aproximadamente 350.000 usuários do sistema DVB-T no Reino Unido [40]. Nesta implementação, em um canal de 8 MHz são transmitidos 6 programas SDTV com relação de aspecto de 16:9.

Possivelmente a Austrália será o primeiro país a utilizar o sistema DVB-T para transmissão de sinais HDTV, pois na maioria dos países europeus, atualmente, há um interesse maior em transmissão de SDTV que possibilita um número maior de canais. O início da transmissão comercial de sinais HDTV através do sistema DVB-T utilizando canais de 7 MHz na Austrália está previsto para 1º de Janeiro de 2001 [40].

Nos EUA, o processo de padronização de sistemas de televisão digital iniciou-se pelo sistema de transmissão terrestre objetivando serviços de HDTV. Durante os estudos para estabelecimento do padrão HDTV americano, cogitou-se a utilização de modulação COFDM. Entretanto decidiu-se pela modulação 8-VSB para o modo de transmissão terrestre. Um dos motivos dessa escolha é que havia uma preocupação com possíveis atrasos nos planos de implementação de HDTV devido à utilização da modulação COFDM, já que a modulação 8-VSB, ao contrário da modulação COFDM, era considerada uma tecnologia bem consolidada.

Em abril de 1999 já existiam nos EUA 57 estações, em 29 cidades, transmitindo através do sistema ATSC digital. De acordo com o FCC, todos os americanos terão acesso ao sistema de televisão digital até 2002, e o sistema NTSC, que durou quase meio século, deverá acabar em 2006 completando a migração para o sistema digital.

A televisão americana já conta com cem horas semanais de programação em HDTV. No primeiro trimestre deste ano foram vendidos 25 mil receptores HDTV e a previsão é que as vendas atinjam cem mil receptores até o final de 1999 [41].

Um dos motivos da escolha da modulação COFDM pelos países europeus é a possibilidade de implantação de redes SFN (“Single Frequency Network”) que possibilitam uma melhor ocupação do espectro disponível. Sistemas com modulação COFDM possibilitam um maior número de canais disponíveis se comparados com sistemas utilizando modulação 8-VSB. Por outro lado, defensores do sistema americano alegam que a implementação prática de redes SFN utilizando o Sistema DVB-T não está efetivamente comprovada, especialmente em situações em que o espectro disponível é compartilhado entre sistemas de televisão analógicos e digitais. O desempenho prometido pelos idealizadores do DVB-T só seria obtido em testes de laboratório [42].

Outra vantagem dos sistemas que utilizam modulação COFDM é a melhor qualidade de reprodução no caso de receptores móveis. Além disso, os sistemas europeu e japonês, ao contrário do sistema americano possibilitam transmissão hierárquica. Por outro lado, o sistema DVB-T também apresenta desvantagens em relação ao americano, por exemplo, uma maior relação entre potência de pico e potência média.

Vários países, inclusive o Brasil, têm realizado testes comparativos entre os três sistemas: americano, europeu e japonês. O fato é que não há, pelo menos por enquanto, um consenso sobre qual seria o melhor sistema HDTV. Dessa forma, muitas vezes fatores políticos e econômicos têm maior peso do que aspectos técnicos na escolha do sistema a ser adotado por um determinado país.

Os seguintes países adotaram o sistema DVB-T: 15 países europeus, Austrália, Nova Zelândia, Singapura e mais recentemente a Índia. Por outro lado, os seguintes países já escolheram o sistema americano como padrão a ser utilizado: EUA, Canadá, Coreia do Sul, Taiwan e Argentina.

O aspecto econômico deve ser levado em conta na escolha do sistema de HDTV, uma vez que os empresários, usuários e consumidores podem ser beneficiados com melhores preços de equipamentos, condições de pagamento e facilidades de aquisição de receptores. Esses ganhos são garantidos pela escala de produção dos itens associados aos sistemas adotados por países que tenham um grande mercado para HDTV.

VII. HDTV NO BRASIL

Considerando que o Brasil adotará uma tecnologia digital para HDTV, pode-se projetar uma imensa variedade de aplicações advindas dessa opção tecnológica. Além das aplicações destinadas a empresas de entretenimento, podemos citar [1]:

- Publicidade/propaganda/vídeos-esta indústria tende a crescer consideravelmente, já que a nova tecnologia tem maior versatilidade e alta eficiência em produções digitais a baixo custo. Isso porque permite a editoração eletrônica que abre amplas possibilidades de ensaios e efeitos, sem envolver desperdício de memória de massa (rolos de filmes, revelação química e transporte).
- Processamento de imagens, reconhecimento e retificação (“recuperação”) de imagens de satélites ou médicas.
- Sistema de segurança; vídeo-conferências; produções de novelas e filmes, etc.
- No setor de publicações, dadas as possibilidades de edição de imagens e textos.
- Sistemas CAD (“Computer Aided Design”); sistemas com bancos de dados interativos para fins educacionais, médicos (microcirurgias), etc.

Devido à compatibilidade com sistemas da mídia digital e com a interligação dos serviços de mídia com as redes de comunicações, muitas aplicações surgirão já que a mídia tem um vasto campo de exploração e está em constante mutação. A própria disponibilidade do sistema HDTV deverá permitir a criação de novas aplicações relacionadas com as etapas de processamento de sinal de vídeo e imagens, a saber: geração, transmissão, armazenamento e reprodução.

A. Instituições no Brasil responsáveis pela padronização do sistema de HDTV.

Quem coordena a padronização no Brasil é a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações).

Os testes dos sistemas estão sendo gerenciados pela Universidade Mackenzie e a validação dos testes pelo CPqD (Fundação Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações - antes de outubro de 1998, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Telebrás).

Participam também

- SET, Sociedade de Engenharia de Televisão;
- ABERT, Associação Brasileira dos Engenheiros de Rádio e Televisão;
- Grupo de Trabalho da FEEC-UNICAMP (Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas). Desde 1980, o grupo trabalha com pesquisas em televisão e processamento digital de imagens.

B. Sistema a ser adotado no Brasil

Diferentes padrões para transmissão terrestre HDTV concorrem no cenário internacional, dentre os quais três têm merecido maior atenção: o Japonês (ISDB-T); o Europeu (DVB-T); e o Americano (Padrão da GA).

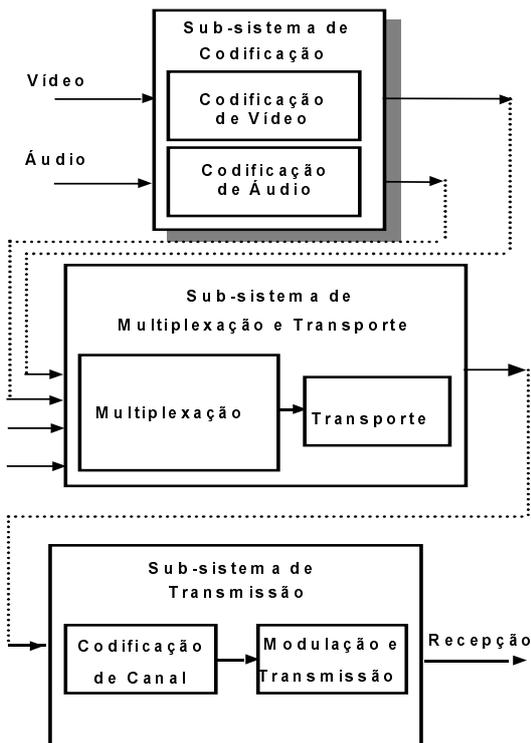


Figura 2. Sub-sistemas de transmissão de HDTV

O Brasil tem investido seriamente em pesquisas relacionadas com essa tecnologia envolvendo parte de órgãos governamentais, grupos de trabalhos e estudos das Universidades, bem como associações de grupos empresariais. Esses esforços são conduzidos de modo que seja possível se obter as bases científicas para se adotar um padrão entre os já citados, e que o mesmo venha a se adequar à realidade do mercado brasileiro.

Existem vantagens e desvantagens para a adoção de algum sistema digital proposto (ATSC, DVB-T e ISDB-T). Apesar desses pormenores não estarem completamente acertados dada a própria delicadeza do assunto, emissoras e indústrias brasileiras se unem para assinar um acordo de princípios a fim de estudar e debater as propostas do *Digital Video Broadcasting* (DVB) no Brasil [43].

O Brasil ainda não tem totalmente definido o padrão a ser adotado, esperando os resultados dos testes que estão sendo conduzidos no país. Uma estratégia pode ser esperar que os EUA, a Europa e o Japão façam primeiro sua total seleção, para não correr o risco de começar isolado, como aconteceu com o caso do PAL-M. Essa motivação tem respaldo econômico uma vez que os investimentos na área de *broadcasting* são volumosos e erros podem resultar em grandes prejuízos. Dessa forma, essa seleção do padrão está relacionada, como foi colocado anteriormente, não só com as considerações técnicas, mas também com aspectos financeiros.

O Brasil deve escolher entre os sistemas para transmissão terrestre o tipo de modulação **8-VSB** ou **COFDM** (6 MHz) porque ambos são compatíveis com a largura de banda adotada (6 MHz). Sugestivamente, o COFDM deve apresentar melhor desempenho técnico global. Para a transmissão por cabo através dos EUA, está proposto **16-VSB**, sendo que o Brasil pode adotar **64-QAM**. Essa última é uma tecnologia consolidada e apresenta um bom rendimento. Além disso, o uso do **16-VSB** pode implicar em se realizar maiores gastos, já que legalmente pode implicar em pagamentos adicionais de royalties (direitos autorais e de propriedade) [43].

VIII. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

O sistema de transmissão e recepção da Televisão Digital de Alta Definição é altamente complexo, devido à grande quantidade de dados que devem ser enviados. Além disso, a necessidade de uma transição suave entre a HDTV e a TV convencional faz com que parâmetros locais, como por exemplo a banda de transmissão, venham a se tornar fatores decisivos nas especificações. Ainda assim, existem vários pontos onde existem concordâncias.

O objetivo principal de um sistema de HDTV é o de fornecer a melhor qualidade de som e imagem possível. A intenção inicial era obter uma qualidade semelhante à obtida com filmes de 35mm [44]. Porém, para que os sistemas convencionais de transmissão de TV não tivessem que ser descartados repentinamente, era forçoso que a banda de transmissão permanecesse na faixa original (6 MHz para os EUA, 6-8 MHz para a Europa). Além desses, foram determinados os seguintes objetivos: resoluções espaciais vertical e horizontal de aproximadamente o dobro daquelas das televisões convencionais; resolução temporal de até 60 Hz; melhor representação de cores; razão de aspecto de 16x9 (contra os 4x3 das televisões convencionais); som multicanal de alta fidelidade; transmissão de informações (similarmente ao

teletexto) e pixels quadrados compatíveis com os monitores de vídeo.

O diagrama de blocos da Figura 2 representa os 3 sub-sistemas básicos em que se pode dividir um sistema de transmissão de televisão digital. Esses sub-sistemas são: compressão / codificação da fonte; multiplexação / transporte e transmissão de RF, sendo que a transmissão vias cabo ou satélite são muito similares [45].

A codificação da fonte consiste na compressão das seqüências de áudio e vídeo, bem como na inclusão de dados auxiliares como controles, acesso condicional, etc. Essa codificação é feita segundo o padrão MPEG-2 para áudio e vídeo sendo o padrão de áudio o DOLBY AC-3 (americano) ou o MPEG (europeu). Esses sistemas de codificação são feitos através de uma DCT (Discrete Cosine Transform - Transformada Discreta de Coseno), que permite boa compactação da energia do sinal. O sistema de vídeo contém estimação e compensação de movimento, além de outras estratégias (DPCM - Differential Pulse Code Modulation, Run Length Coding e Código de Huffman), que permitem a compressão de até 60:1 das seqüências. O sistema de áudio utiliza técnicas de overlapping (MDCT - Modified DCT), que permitem a compressão de áudio sem que distorções significativas apareçam na reprodução.

A camada de multiplexação e transporte consiste na formatação dos dados, como são divididos em pacotes e enviados para a transmissão. O padrão MPEG-2 também fornece soluções para a multiplexação dos vários sinais que compõem a transmissão de HDTV, no entanto não fornece detalhes físicos sobre sua transmissão.

Por fim, a camada de transmissão abrange as definições sobre a transmissão, tais como a codificação do canal e a modulação. Neste sub-sistema, alguns bits de informação são acrescentados (códigos corretores de erros, embaralhamento, entrelaçamento, código de treliça) para permitir a perfeita reconstrução do sinal pelo receptor. A transmissão é feita digitalmente.

A recepção realiza uma seqüência complexa de processamentos para recuperar os sinais transmitidos. Essa seqüência inclui: sintonia de canais; demodulação, detecção de sincronismo; rejeição do sinal NTSC (para manter a compatibilidade com sistemas convencionais); equalização do sinal; rastreamento de fase; decodificação e desembaralhamento de dados.

O sistema apresentado na Figura 2 é o padrão utilizado pela Grande Aliança (USA), que desenvolve os padrões de transmissão e recepção de HDTV nos Estados Unidos. O sistema europeu é significativamente diferente, apesar dos princípios básicos serem semelhantes (por exemplo, a compressão dos sinais através do padrão MPEG-2, com o qual o sistema europeu é diretamente compatível).

As principais diferenças estão na camada de codificação de canal e transmissão. O sistema europeu de televisão digital de alta definição define vários parâmetros, como o desempenho global requerido, a modulação digital do sinal, compatibilidade entre

equipamentos desenvolvidos por diferentes empresas e descreve em detalhes a forma como a transmissão deve ser feita. No entanto, não define precisamente como deve ser feita a recepção do sinal, deixando a questão em aberto, o que permite várias propostas de implementações. O sistema japonês é o mais recente e por isso incorpora técnicas novas que devem melhorar o desempenho sob algumas condições mais específicas de testes. Além disso, para radiodifusão, se não existe compatibilidade técnica para permitir que um receptor convencional receba um sinal de HDTV digital, garante-se com o esquema de transmissão “*simulcast*” pelo menos a compatibilidade de programação. Nesse caso, o mesmo programa é transmitido através do sinal convencional (1 canal) e através do sistema de HDTV (outro canal).

IX. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio e suporte fornecidos pelos órgãos de pesquisa, a saber: **FAESP** - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo; **CAPES** - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; Fundação **CPqD** - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento em Telecomunicações, **CNPq** - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e **FAEP**- Fundo de Apoio ao Ensino e a Pesquisa da UNICAMP.

X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kenneth, P.D. “**HDTV evolves for the Digital Era,**” IEEE Communications Magazine, USA, pp. 110-112, Junho 1996.
- [2] Reports of the CCIR. “**Report 801-4, Parte3,**” annex to vol. XI, pt 1, pp. 53, 1990.
- [3] Ono, S. , e Suzuki J. “**Perspective for Super-High-Definition Image Systems,**” IEEE Communications Magazine, USA, pp. 108, June 1996.
- [4] Krivocheev, M. I. “**The First Twenty Years of HDTV: 1972-1992,**” SMPTE Journal, USA, pp. 913-930, October 1993.
- [5] Hatada, T. , Sakata, H. , Kusaka, H. “**Induced Effects of Direction Sensation and display size,**” J. ITEJ, Japão, vol.33, n5, May 1979.
- [6] Anastassiou, D. “**High-Definition Television,**” IEEE Communications Magazine, USA, pp. 108, June 1996.
- [7] CCIR Document 11/31-E, “**Proposal for a New Study Program - High Definition Television ,**” March 1972.
- [8] Nishizawa, T. “**Visual Effect of Line Interference Scanning,**” ITE, Japan, vol.1, pp. 46-49 September 1971.
- [9] Mitsuhashi, T. “**A Study of the Relationship between Scanning Parameters and Picture Quality,**” NHK Labs. Note No 256, 1980.
- [10] Ohtani, T., Fujio, T., Hamasaki, T “**Subjective Evaluation of Picture Quality for Future High-**

- Definition Television,**” NHK Tech. J., Japan, vol.28, n.4, 1976.
- [11]Kusaka, H. , Nishizawa, T. “**An 1125 Line HDTV Three Vidicon Color Camera,**” NHK Tech. Rep., Japan vol. 16, n10, 1973.
- [12]Komoto, T. , Kubo T. “**High Definition Color CRT Display,**” NHK Tech. Rep. , Japão, vol.16, n.10, 1973.
- [13]Corr. 1 to CCIR Doc. 11/31-E, July, 1972.
- [14]Nikoya, *et al.* “**Concept of MUSE System and Its Protocol,**” NHK Laboratory Note 348, July 1987.
- [15]Ninomiya, Y. , *et. al.* “**An HDTV Broadcasting System Utilizing a Bandwidth Compression Technique, MUSE,**” IEEE Trans., USA, vol.BC-33, n.3, 1987, pp. 130-169.
- [16]Ninomiya, Y. “**The Japanese Scene,**” IEEE Spectrum, USA, pp. 54-57 April 1995.
- [17]Vreeswijk, *et. al.* “**HD-MAC Coding of High-Definition Television Signals,**” (Philips Netherlands, France, U.K.), IEEE Conf. Publication No. 293, International Broadcasting Convention, Brighton, U.K.,1988.
- [18]Vreeswijk, W.P., Haghiri, M.R. “**HD-MAC Coding for MAC Compatible Broadcasting of HDTV Signal,**” Proc. HDTV Workshop,^{3rd}, ed., 1989.
- [19]Paik, W. “**Digi-Cypher, A Digital, Channel Compatible, HDTV Broadcast System,**” IEEE Trans., USA , vol. BC-36, n.4, pp. 245-254, 1990.
- [20]CCIR Report 624-3 (Mod. F) “**Characteristic of Television Systems**”.
- [21]Krivochchev, M.I. “**Summary of International Standards Activities, NAB HDTV World Conference,**” Las Vegas, Nevada, pp. 5-7, April 16, 1991.
- [22]Krivochchev, M. “**International Trends in HDTV, 27th Electronic Industry Technical Conference,**”. Tokyo, Japão, Outubro 5, 1990.
- [23]Krivochchev, M “**Suggests New System to Deal with Different International Bandwidths,**” Television (J. Royal Television Society), pp. 7, April, 1991.
- [24]Special Panel of the ACATS. “**Choosing an American Digital HDTV Terrestrial Broadcasting System,**” IEEE Proc. on Broadcasting, USA, April, 1994.
- [25]Challapali K. , *et al.* “**The HDTV Grand Alliance System,**” Proceeding of the IEEE, USA, v.83, n2, pp. 1094-1105, February 1995.
- [26]The Grand Alliance. “**The U.S. HDTV standard THE GRAND**” IEEE Spectrum, USA, pp. 36-45, April 1995.
- [27]Petajan, E. “**The HDTV Grand Alliance System,**”. Proceeding of the IEEE, USA, v.83, n7, pp. 1094-1105, July 1995.
- [28]Zenith Electron, Corp. “**Digital Spectrum Compatible HDTV system,**”. ZEC, November, 1991.
- [29]Advanced Television Res. Consortium. “**Advanced digital system description,**” ATRC, January, 1992.
- [30]ISO CD 11172-2. “**Coding of Moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 M bits/s**”. Novembro, 1991.
- [31]LeGall, D. “**MPEG: a video compression standard for multimedia applications,**” Trans. ACM,USA, 1991.
- [32]Grand Alliance. “**Grand alliance HDTV system specification,**”. FCC Advisory Comm. On Advanced Television Service, 1994.
- [33]LeGall, D. “**MPEG-2 system**” Proc. IEEE, USA, 1994.
- [34]Vasudev Bhaskaran, Konstantinos Konstantinides “**Image and Video Compression Standards - Algorithms and Architectures**”, second edition, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [35]Schafer, R. “**The Status of HDTV in Europe,**” IEEE Communications Magazine, USA, pp. 120-125, June 1996.
- [36]Fox, B. “**The digital Dawn in Europe,**” IEEE Spectrum, USA, pp. 54-57 April 1995.
- [37]Ninomiya, Y. “**The Japanese Scene,**” IEEE Spectrum, USA, pp. 54-57 April 1995.
- [38]Le Flock, Bernard, *et al.*, “**Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing,**” Proc. of IEEE, vol. 83, no. 6, pp. 982-996 , June 1995.
- [39]Stott, J., “**DVB-T and the Magic of COFDM,**” http://www.dvb.org/dvb_articles/dvb_magic.htm
- [40]“**DigiTAG Newsletter,**” Setembro 1999 http://www.dvb.org/dvb_news/dvb_newsletter.htm
- [41]Turner, B., “**SET’99 discute a televisão do próximo milênio,**” Revista engenharia de televisão, no. 47, pp.8-18, September/October 1999.
- [42]http://www.atsc.org/Press/PR_Argentina-adopts.html.
- [43]Roberto, J.E. “**TV digital, que padrão adotar?** ”. Engenharia de TV, São Paulo, pp. 60, June 1996.
- [44]Krivochchev, M. I; “**The First Twenty Years of HDTV: 1972-1992**”, SMPTE Journal, October, 1993; pgs 913-930.
- [45]Chiquito, J.G. & Fasolo, S.A; “**Camada de Transmissão e Modulação de Televisão Digital de Alta Definição**”; Publicação FEEC 014/97 da FEEC/UNICAMP, 1997.

XI. NOTAS:

- ¹ CCIR foi um dos cinco órgãos permanentes do ITU. Realizou estudos relacionados com as questões técnicas e operacionais referentes às radiocomunicações estabelecendo recomendações (padrões e práticas) para os sistemas de radiodifusão. Hoje é a ITU-R.
- ² Em Janeiro de 1993, o ITU foi reorganizado. Nesta nova recomendação, as atividades formalmente concentradas dentro do CCIR foram transferidas em sua maior parte para a nova **Radio Communication Bureau (RCB)**.
- ³ **International Telecommunications Union (ITU)** é uma agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU), que se ocupadas Telecomunicações.

⁴**Grupo de Estudo 11** (Study Group 11) responsabilizou-se sobre todos os aspectos da radiodifusão (*broadcasting*) de televisão incluindo a convencional (ex. NTSC, PAL, SECAM), o melhoramento do sistema e intercâmbio internacional de programas.

Yuzo Iano recebeu os títulos de Engenheiro Eletrônico, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica através da UNICAMP. Atualmente é Professor Adjunto do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (DECOM/FEEC/UNICAMP). É o responsável pelo Laboratório de Comunicações Visuais do DECOM. Seus interesses estão voltados para processamento digital de sinais de áudio e vídeo. Trabalha com processamento digital de imagens e em especial com pesquisas sobre HDTV e televisão convencional há 20 anos.

Vicente I. Becera Sablón recebeu os títulos de Engenheiro Eletrônico, na UCLV (Universidad Central de Las Villas, Cuba) Mestre em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações através da UNICAMP. Atualmente é Professor Assistente da Faculdade de Matemática-Física e Computação da UCLV e estudante de Doutorado do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (DECOM/FEEC/UNICAMP). Dedicou-se a estudos

relativos a processamento digital de sinais de áudio e vídeo.

Luiz Rômulo Mendes recebeu os títulos de Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela Universidade Federal de Uberlândia, e Mestre em Engenharia Elétrica e Telecomunicações pela UNICAMP. Atualmente é estudante de Doutorado do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (DECOM/FEEC/UNICAMP). Tem interesses voltados para as áreas de processamento digital de sinais de áudio / vídeo e redes de alta velocidade.

José Alexandre Nalon recebeu o título de Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela Universidade Federal de Uberlândia, e o título de Mestre em Engenharia Elétrica e Telecomunicações pela UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). Atualmente, cursa o Doutorado no Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (DECOM/FEEC/UNICAMP). Suas pesquisas abrangem processamento e codificação de sinais digitais de áudio, imagens e vídeo.

e-mail: yuzo@decom.fee.unicamp.br;
romulo@decom.fee.unicamp.br;
vicente@decom.fee.unicamp.br;
nalon@decom.fee.unicamp.br;