

Subsistema de Compressão e Codificação do Sinal de Vídeo (Parte I)

Vicente Idalberto Becerra Sablón, Yuzo Iano, Renê Togni Del Pietro, Luiz Rômulo Mendes

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

Resumo: Vários sistemas de televisão digital de alta definição (HDTV - *High Definition Television*) foram estudados e propostos no mundo. Dois padrões já estabelecidos, um americano e outro europeu, estão em destaque devido às suas características. O padrão americano surgiu da união de quatro propostas concorrentes submetidas ao *Advisory Committee on Advanced Television Service (ACATS)* para serem analisadas. Respostas inconclusivas sobre o melhor sistema, já que todos apresentaram excelente desempenho, levaram os proponentes dos sistemas a se unirem, formando um consórcio denominado Grande Aliança (GA) que definiu o novo padrão baseado nas melhores características obtidas em cada um dos sistemas. Na Europa, o padrão HDTV foi desenvolvido por um consórcio de indústrias e governos chamado de DVB (*Digital Video Broadcasting*), e estabelecido pelo ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*). Pode-se dividir um sistema HDTV em subsistemas, sendo que um desses subsistemas é responsável pela etapa de compressão e codificação de vídeo. Serão apresentados, em dois artigos, os subsistemas de compressão e codificação de vídeo utilizados pelos padrões HDTV europeu e americano. Este artigo (Parte I) descreve as etapas de pré-processamento do sinal de vídeo estabelecidas pelos padrões americano e europeu de televisão digital de alta definição. São também apresentados os formatos de vídeo utilizados por esses padrões. O artigo seguinte (Parte II) descreve o processo de compressão de vídeo dos padrões HDTV europeu e americano.

I. INTRODUÇÃO

A televisão é um dos meios de comunicação mais difundidos no mundo. Os sistemas de televisão estão prestes a dar um salto tecnológico que causará um impacto semelhante ao proporcionado pela introdução da televisão em cores nos Estados Unidos, no início dos anos 50. Isso ocorrerá com a implantação em larga escala de sistemas de televisão digital de alta definição, conhecidos como sistemas HDTV (HDTV - *High Definition Television*). O principal objetivo dos sistemas de HDTV é o de melhorar a qualidade do sinal de televisão reproduzido em relação à qualidade oferecida pelos sistemas de televisão convencional analógica. A percepção da melhoria da qualidade pelo usuário final se dará principalmente

pelo aumento de resolução espacial (aproximadamente o dobro nas duas direções, horizontal e vertical, em relação à TV analógica convencional), pelo aumento do conjunto de cores reproduzidas e pela mudança da relação (razão) de aspecto, que passa a ser mais próxima daquela utilizada nos filmes de cinema (16/9 para HDTV).

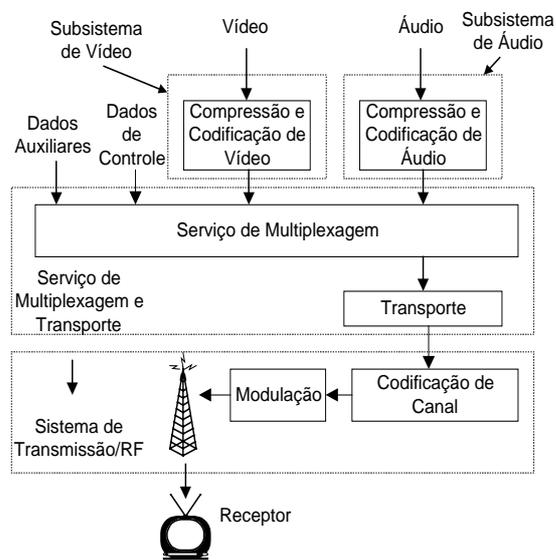


Figura 1. Diagrama Básico de um Sistema HDTV.

Vários países têm trabalhado no desenvolvimento de padrões para o sistema de HDTV, sendo que dois padrões já estabelecidos têm merecido maior destaque: os padrões americano e europeu. O desenvolvimento do padrão europeu iniciou-se em setembro de 1993 com a formação do *Digital Video Broadcasting Group*, quando 85 fabricantes e *broadcasters* de 12 países se reuniram para formar um grupo de trabalho com a finalidade de desenvolver sistemas de transmissão de televisão digital. Foram estabelecidos três padrões, DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*), DVB-C (*DVB-Cable*), e DVB-S (*DVB-Satellite*) para transmissão de televisão digital terrestre, via cabo e via satélite, respectivamente [1].

Em meados de 1993, sete grupos (seis empresas e uma universidade) que concorriam para a escolha do padrão do sistema de televisão digital americano decidiram trabalhar em cooperação para desenvolver um único padrão de televisão digital de alta definição para os Estados Unidos. A aliança entre esses grupos foi chamada de Grande Aliança (GA) e o padrão de HDTV por ela estabelecido é conhecido como Padrão

HDTV da Grande Aliança ou Padrão HDTV ATSC (*Advanced Television System Committee*) [2] [3] [4] [5].

A Figura 1 apresenta o diagrama geral de um sistema de televisão digital. Observa-se que o sistema é dividido nos seguintes subsistemas [4] [6] [7] [8] [9][10]:

- 1) Compressão e codificação de fonte.
- 2) Multiplexagem e transporte.
- 3) Transmissão e RF.

O subsistema de compressão e codificação de fonte envolve métodos de redução da taxa de bits, ou seja, compressão dos sinais de vídeo, áudio e dados (auxiliares e de controle). Esse subsistema, por sua vez, pode ser dividido em subsistemas de áudio e vídeo, como apresentado na Figura 1. O padrão HDTV europeu utiliza o Padrão MPEG-2 para compressão de áudio, enquanto que o padrão HDTV americano utiliza o sistema Dolby AC-3 [11] [12]. Ambos os padrões de HDTV utilizam o Padrão MPEG-2 para compressão de vídeo [13] [14][15] [16][9][17].

Na etapa de multiplexação e transporte, os *streams* de áudio e vídeo codificados, juntamente com dados de controle e dados auxiliares, são agrupados em "pacotes" similares de informação. Esses pacotes são multiplexados segundo uma ordem de transmissão e enviados ao serviço de transporte. Nesta etapa, tanto o padrão HDTV europeu quanto o americano utilizam a parte de sistemas do padrão MPEG-2 [18] [19] [20] [9].

O serviço de Transmissão e RF refere-se ao processo de codificação de canal e modulação em RF para a transmissão do sinal. Utiliza-se a codificação de canal como forma de combater os efeitos de ruídos e interferências presentes no canal de transmissão que afetam a qualidade do sinal transmitido. Os sistemas ATSC (americano) e DVB (europeu) utilizam como técnicas de codificação de canal a codificação de treliça e *Reed-Solomon*. O sistema ATSC de RF utiliza modulações 8-VSB e 16-VSB (VSB - *Vestigial Side Band*) para transmissões terrestre e via cabo, respectivamente. Por outro lado, o sistema DVB-T utiliza modulação COFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) [21] [22] [23] [24] [25].

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre os sistemas ATSC e DVB terrestres.

	Sistema americano	Sistema europeu
Codificação De vídeo	MPEG-2 (ML@HP)	MPEG-2
Codificação de áudio	Dolby AC-3	MPEG-2
Transporte	MPEG-2	MPEG-2
Modulação	8-VSB	COFDM

Tabela 1. Comparação entre sistemas ATSC e DVB terrestres.

As etapas de compressão e codificação do sinal de vídeo são precedidas de um pré-processamento que prepara o sinal para ser comprimido e codificado segundo o Padrão MPEG-2. Neste artigo, apresentam-se os subsistemas de pré-processamento

do sinal de vídeo dos sistemas HDTV europeu e americano, juntamente com os formatos de vídeo utilizados por esses sistemas. Esses formatos estão relacionados com parâmetros do sistema, tais como: tamanho do quadro, taxa de quadros, relação de aspecto, correção gama, sinais de sincronismo, largura de faixa e outras características no tempo e em frequência.

II. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SINAL DE VÍDEO

De modo geral, a imagem tridimensional real presente na frente da câmera de vídeo é transformada em uma imagem bidimensional plana para ser reproduzida na tela do receptor. Essa passagem é efetuada no transdutor óptico-elétrico (tubo da câmera ou CCD (Charge Coupled Device)), ou mais especificamente no mosaico da mesma, onde se tem reproduzida uma imagem bidimensional da cena. Para uma operação conveniente do sistema, são amplamente exploradas as características visuais do ser humano. Devido ao fenômeno da persistência visual, que consiste na retenção da imagem pela retina por uma fração de segundos (cerca de 1/24 segundos), não é necessário transmitir todas as infinitas imagens que compõem uma cena em movimento, mas apenas um número finito das mesmas, separadas entre si por um tempo menor que o tempo de retenção da imagem na retina. Devido à capacidade de resolução finita do sistema visual humano (capacidade de distinguir detalhes muito próximos entre si) denominada "acuidade visual", não é necessário transmitir todos os infinitos pontos que compõem uma imagem, o que possibilita limitar a quantidade de informação enviada. A escolha dos pontos a serem transmitidos deve levar em conta a forma da tela da televisão. A tela padronizada é retangular e a relação entre a largura da tela e a altura é conhecida como relação de aspecto. Os pontos escolhidos para a transmissão situam-se sobre linhas horizontais, espaçadas uniformemente no sentido vertical, denominadas "linhas de varredura". O espaçamento vertical deve ser menor que o mínimo detalhe perceptível pelo observador [26]. Para tanto, a distância de observação é de no mínimo 6 vezes a altura da tela para TV convencional e de 3 vezes para HDTV.

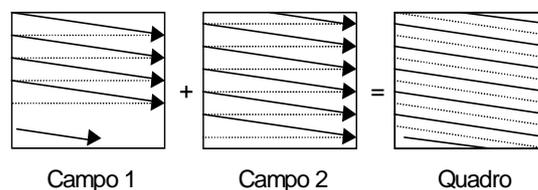


Figura 2. Modo de varredura entrelaçado

Existem dois modos de se prover a varredura da imagem: o modo progressivo e o modo entrelaçado [26] [2] [4] [27]. No modo progressivo, o feixe eletrônico varre o mosaico da câmera (ou do receptor) linha a linha, de forma contínua até o final do quadro. Em seguida, o processo de varredura do quadro seguinte é então inicializado. No modo de varredura

entrelaçada, um quadro é dividido em dois campos. Um primeiro campo é formado varrendo-se com o feixe eletrônico somente metade das linhas que compõem o quadro e o segundo campo é formado varrendo-se com o mesmo feixe as linhas restantes. A vantagem do entrelaçamento está em se diminuir o efeito de cintilamento, decorrente da diferença de brilho que existe em pontos da tela devido ao tempo finito gasto pelo feixe ao percorrê-la. A relação de 2:1 para o entrelaçamento mostrou-se satisfatória para inibir o efeito do cintilamento para uma frequência de quadro de 30 Hz (60 Hz para campo). A Figura 2 apresenta o modo de varredura entrelaçada. A varredura é o processo eletrônico que permite transformar uma informação bidimensional em um sinal elétrico dependente apenas de uma variável, o tempo.

Tanto o padrão americano quanto o padrão europeu foram projetados para incorporar múltiplos formatos de vídeo (modos de varredura, resoluções temporais e espaciais, relações de aspecto, etc.) necessárias para a reprodução de sinais provenientes de diversas fontes, tais como vários padrões de filmes, sinais provenientes de câmeras de vídeo, mídias eletrônicas e ópticas, etc. Uma consequência dessa capacidade de incorporar múltiplos formatos é a necessidade de o padrão prover subsistemas de conversão de formatos. Assim, um sinal de vídeo entrelaçado que deve ser apresentado em um monitor com varredura progressiva deve ser desentrelaçado por um conversor antes de ser apresentado.

A seleção dos formatos de vídeo (modo de varredura, resolução espacial e temporal, etc.) para sistemas HDTV não depende somente de fatores técnicos, mas também econômicos e políticos. A solução adotada foi a de oferecer uma variedade razoável de formatos sem adicionar um custo excessivo ao codec (codificador-decodificador). Por exemplo, a inclusão do modo de varredura entrelaçado é justificada pelo fato de que, atualmente, a maioria das câmeras de vídeo utilizam esse formato. Porém, a tendência é que, no futuro, o formato progressivo seja também utilizado para transmissão de HDTV (a maioria dos monitores de vídeo utilizam varredura progressiva com taxa de repetição de quadros entre 50 e 120 Hz).

Diferentes formatos de quadros propostos pelos padrões permitem adequar a resolução dos quadros às características da cena. Por exemplo, no sistema americano, filmes codificados a taxas de 24 ou 30 quadros por segundo podem possuir tamanhos de quadros de 1280(H) x 720(V) ou 1920(H) x 1080(V) dependendo da complexidade da cena. A letra (H) aqui significa número de *pixels* na direção horizontal, ou seja, o número de pixels em uma linha de varredura e a letra (V) o número de linhas de varredura que compõem o quadro. Caso a complexidade da cena seja muito alta, um formato inadequado poderá levar à perda de resolução da imagem codificada [4] [27] [28]. Esforços deverão ser dirigidos para se trabalhar com todos os formatos incluindo-se os convencionais (NTSC, PAL e SECAM - National Television System Committee, Phase Alternation (by) Line e Sequential

(Coleur/ Crominance avec) à Mémoire) eventualmente usando-se tanto protocolos quanto interfaces. Deve-se observar ainda que, atualmente, sinais de vídeo podem ser sintetizados através de técnicas computacionais.

II.1. RESOLUÇÃO VERTICAL

A resolução vertical está relacionada com o número de linhas de varredura usadas para representar cada quadro da seqüência de vídeo (linhas ativas) no sistema. Nos sistemas convencionais de televisão utilizam-se, em geral, 525 e 625 linhas de varredura horizontais. Nem todas as linhas carregam informação de vídeo ativo porque o intervalo de tempo correspondente a algumas delas é reservado para o intervalo de apagamento vertical (usado para transportar o sinal de sincronismo vertical, VITS (*Vertical Interval Test Signals*) e outras informações nos sistemas convencionais). O termo “ativo” serve para designar informação de vídeo correspondente à imagem que se deseja transmitir. Nos Estados Unidos foram propostos dois formatos de produção para HDTV, conforme a SMPTE 274M (1994) e SMPTE S17.392 (1995) com 750 e 1125 linhas de varredura respectivamente, as quais podem ser consideradas como entradas para o subsistema de vídeo. Na Europa, a partir do formato 1250/50 proposto ao CCIR no ano 1987, foram desenvolvidos diferentes sistemas até se chegar ao padrão atual. As propostas apresentadas estão dadas na Tabela 2 [21].

CARACTERÍSTICAS	USA	EUROPA
Número de Linhas de Varredura	750 (1:1)	
Progressivo (1:1)	1125 (1:1)	1250 (1:1)
Entrelaçado (2:1)	1125 (2:1)	
Número de Linhas Ativas por Quadro	720 (750) 1080 (1125)	1152 (1250)
Taxa de repetição de linha (kHz)	33,75 (2:1)	62,5 (1:1)
Taxa de Quadro/Campo(Hz)	60/59.94 30/29.97 24/23.98	50

Tabela 2. Formatos de Varredura.

II.2. RESOLUÇÃO HORIZONTAL

A resolução horizontal está relacionada com a variação do sinal reproduzido na tela no sentido horizontal. Dessa forma, nos sistemas analógicos essa resolução se relaciona com a largura de faixa do sinal de vídeo. Nos sistemas atuais de televisão usam-se, em geral, larguras de faixa de 4,2; 5,0; 5,5 e 6,0 MHz. Por outro lado, são consideradas larguras de faixa de 30 e 60 MHz para os padrões de HDTV americano e europeu, respectivamente. Deve-se observar que, no caso dos sistemas digitais, por exemplo, a HDTV, essas faixas espectrais são referentes aos sinais antes do processo de amostragem (digitalização do sinal). No processo de amostragem deve-se, em geral, utilizar taxa de amostragem com pelo menos o dobro da maior frequência (largura de faixa) do sinal. Isso é

necessário para satisfazer o teorema da amostragem (Nyquist) e evitar distorções no sinal reproduzido no receptor devido ao “aliasing” (sobreposição de componentes espectrais) [27]. Dessa forma, a resolução horizontal de um sinal de vídeo digital é dada pelo número de pixels ativos de uma linha ativa do quadro. Note-se que nem todo o intervalo de tempo da linha horizontal corresponde ao sinal de vídeo ativo, pois parte dele é reservado para o intervalo de apagamento horizontal (onde se transmite o pulso de sincronismo horizontal e a salva de subportadora de cor nos sistemas convencionais).

II.3. RELAÇÃO DE ASPECTO

A razão (relação) de aspecto define a relação largura/altura da tela empregada tanto na câmera de vídeo quanto no receptor de televisão. Nos sistemas atuais convencionais, a relação de aspecto é de 4/3, enquanto que para o sistema HDTV ela está compreendida entre 5:3 e 2:1, tendo sido adotado o formato 16:9 (= (3/4)² ≈ 1,78:1). A relação de 16/9 foi sugerida pelos EUA, uma vez que essa se encontra próxima das relações presentes nos padrões de cinema em *Vistavision* e *Panavision*, nos quais a relação é de 1,85:1, bem como próxima das relações utilizadas nos formatos europeus de 1,67:1 e 1,75:1. Por outro lado, a relação 16/9 também constitui aproximadamente uma média geométrica entre o formato 4/3 da televisão convencional e o formato 2,35:1 do *Cinemascope/ Panavision*, permitindo centralizar a cena na menor área que é comum entre os diversos formatos, sem perda de detalhes [21]. A reprodução nas telas de televisores pode ser realizada usando-se TRC (Tubo de Raios Catódicos), LCD (Liquid Crystal Display) e mais recentemente tecnologia Plasma Display. Os dois últimos tipos têm a vantagem de permitir telas planas (*flat*) mais compactas. Os cinescópios com tubos também tendem a se tornar mais delgados.

III. PRÉ-PROCESSAMENTO DO SINAL DE VÍDEO

O pré-processamento do sinal de vídeo corresponde à primeira etapa do sistema de compressão e codificação de vídeo e é apresentado na Figura 3 [21].

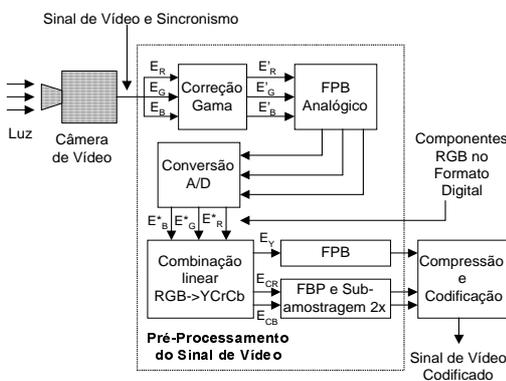


Figura 3. Etapa de pré-processamento do sinal de HDTV.

A imagem bidimensional formada no mosaico da câmera é convertida em sinal elétrico pelo transdutor formado por elementos foto-sensíveis do tubo ou do CCD. Dessa forma, geram-se diferenças de potencial captáveis pelos circuitos internos da câmera. Ao movimento exploratório do feixe na superfície do mosaico dá-se o nome de varredura. A seqüência de varredura se dá da esquerda para a direita, de cima para baixo, lembrando-se que no mosaico da câmera a imagem, em geral, encontra-se invertida em relação à imagem original devido ao sistema óptico na entrada [26]. O sinal elétrico resultante do processo é chamado de sinal de vídeo.

Um sistema de televisão em cores baseia-se no fato de que a combinação de três cores primárias: *Red* (R), *Green* (G) e *Blue* (B) consegue reproduzir a maior parte do espectro das cores visíveis. Assim, o sinal de vídeo de um sistema de televisão em cores é composto de três sinais elétricos denominados de ER, EG e EB resultantes do processo de decomposição apresentado na Figura 4.

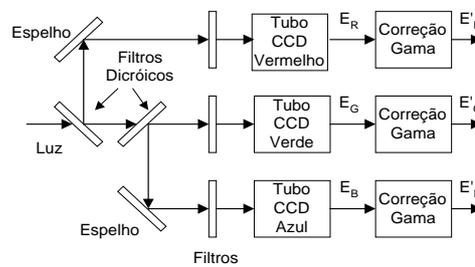


Figura 4. Diagrama em blocos da entrada de uma câmera de TV.

A função dos filtros dicróicos e dos espelhos é a separação das três componentes de cores, presentes no sinal de entrada, e enviá-las para três tubos (R, G e B) onde serão efetuados os processos de varredura para conversão da informação luminosa em sinal elétrico.

Devido às características não lineares do tubo, o sinal elétrico produzido Vs não é proporcional à intensidade da luz presente na entrada da câmera Be, mas para o sistema convencional supõe-se uma lei exponencial da forma [26]:

$$V_s = K_1 B_e^{\gamma_1} \tag{1}$$

onde K1 é a constante do tubo e γ1 é o fator gama do tubo.

No receptor observa-se a mesma relação não linear entre a entrada do sinal Ve e a luminosidade de saída Bs, apresentada na seguinte equação:

$$B_s = K_2 V_e^{\gamma_2} \tag{2}$$

onde K2 é a constante do cinescópio e γ2 o seu fator gamma.

A fim de corrigir essa não linearidade, aplica-se uma correção, chamada correção gamma, no elemento transmissor que consiste em modificar a tensão Vs de saída da câmera, de forma a compensar as distorções introduzidas pelos tubos tanto na geração do sinal quanto na reprodução da imagem. Após a correção gamma, temos:

$$V_s' = (K_1 Be^{\gamma_1})^{\gamma_c} \Rightarrow V_s' = K_1^{\gamma_c} (Be)^{\gamma_1 \gamma_c} \quad (3)$$

Logo :

$$B_s = K_2 (K_1^{\gamma_c} (Be)^{\gamma_1 \gamma_c})^{\gamma_2} = K_2 K_1^{\gamma_2 \gamma_c} (Be)^{\gamma_1 \gamma_c \gamma_2} \quad (4)$$

Dessa forma, escolhendo-se $\gamma_c = 1/\gamma_1 \gamma_2$, obtemos a linearidade desejada. Adota-se $\gamma_c = 2,2$, segundo as normas do CIR como valor prático, embora existam variações nesse valor em função das características dos tubos empregados ($\gamma_c = 2,8$ para PAL-M).

Para HDTV, tem-se :

$$V = 1,099L^{0,45} - 0,099 \quad p/ \quad 0,018 \leq L \leq 1 \quad (5)$$

$$V = 4,500L \quad p/ \quad 0 \leq L \leq 0,018 \quad (6)$$

L = Luminância da imagem $0 \leq L \leq 1$

V = Tensão na saída do corretor gamma

$$1/\gamma = 1/2,2 \cong 0,45$$

Outras propostas visando à correção gamma foram também padronizadas para HDTV. As correções são feitas separadamente para cada cor. No caso em que a correção é feita sobre o sinal de luminância, temos o princípio da luminância constante sendo aplicado. De fato, nos sistemas convencionais a reprodução de luminância por um receptor em preto e branco só será correta se o sinal transmitido for um tom de cinza e no caso de imagem colorida para as frequências acima da faixa de banda básica dos sinais diferença de cor (1,3 MHz para PAL-M e 0,6 MHz para NTSC). Em HDTV a preocupação tem sido apenas com imagens coloridas e por isso o princípio citado não precisa necessariamente ser levado em conta.

Como vimos, através de uma combinação conveniente das cores primárias R, G e B, podemos produzir uma vasta quantidade de cores utilizada para representar as mais variadas cenas em um sinal de televisão em cores. O diagrama de cromaticidade elaborado pelo CIE (*Comission Internationale de l'Éclairage*) fornece as coordenadas "x" e "y" de um sistema normalizado em relação ao branco de referência (W-White) das intensidades das componentes primárias necessárias para formar as cores representáveis que se encontram dentro do diagrama, limitado nas bordas pelas cores espectrais.

Na Tabela 3, são mostradas as coordenadas de cromaticidade do sistema CIE para as componentes primárias R, G e B, bem como as coordenadas de referência do branco para o iluminante D₆₅ usado no sistema HDTV. Os valores foram escolhidos de tal forma que o sistema HDTV concentre uma maior quantidade de cores do que os sistemas de televisão em cores convencionais.

	USA		EUROPA	
	x	Y	x	y
R	0.6300	0.3400	0.6915	0.3083
G	0.3100	0.5950	0.0000	1.0000
B	0.1550	0.0700	0.1440	0.0297
W	0.3127	0.3290	0.3127	0.3290

Tabela 3. Coordenadas de Cromaticidade e o Branco de referência para o sistema de HDTV

A próxima etapa do pré-processamento é a filtragem dos sinais E_R, E_G e E_B de modo a limitar seus espectros, evitando-se o efeito de *aliasing* no processo de amostragem. O processo de amostragem e quantização, representado esquematicamente na Figura 3 pelo bloco "Conversor A/D", é utilizado para converter o sinal da sua forma analógica para a forma digital. O formato digital é usado nas etapas de compressão e codificação do padrão MPEG-2. O processo de amostragem é caracterizado pela frequência de amostragem que impõe uma quantidade mínima de amostras por segundo necessárias para se reconstruir sem erros o sinal original no receptor. De acordo com o teorema de *Nyquist*, a frequência de amostragem deve ser maior que duas vezes a máxima frequência do sinal que está sendo amostrado.

No caso da digitalização da televisão convencional, a frequência de amostragem padronizada é de 13.5 MHz, o que é razoável já que o sinal de vídeo é transmitido dentro de uma faixa máxima de 6 MHz (4,2 MHz para NTSC e PAL-M). Para os sistemas HDTV propostos, os formatos de amostragem são mostrados na Tabela 4. No caso do sistema americano da Grande Aliança a frequência de amostragem é gerada a partir do oscilador padrão de 27 MHz [6] que é utilizado para sincronizar os codificadores de áudio e vídeo com o sistema de transporte.

No processo de amostragem, cada amostra é quantizada e representada por um número fixo de bits que varia entre 8 e 10 bits/amostra. Desta forma, obtem-se os sinais discretos (no tempo e na amplitude), E_R^{*}, E_G^{*} e E_B^{*}.

Após a quantização, aplica-se uma transformação linear nesses sinais, que passam a ser representados por uma componente de luminância E_Y, e duas componentes de crominância E_{CR} e E_{CB}. A componente de luminância contém a informação do brilho ou luminosidade da cena. Seus níveis variam desde o nível correspondente à cor branca até o nível correspondente à cor preta. Os receptores mais antigos (P&B) utilizam somente essa informação para decodificar o sinal de televisão. As componentes de crominância (sinais diferença de cor) e a luminância contêm informações das três diferentes cores que são reproduzidas na tela.

A transformação linear é um meio eficiente e simples de descorrelacionar as componentes E_R^{*}, E_G^{*} e E_B^{*}, originais, aumentando o ganho de compressão nas etapas posteriores de processamento. Uma outra vantagem dessa transformação está relacionada ao fato de que o sistema visual humano é mais sensível às variações da componente de luminância do que as das componentes de crominância, de modo que podemos desprezar algumas amostras das últimas (através de um processo de subamostragem) sem prejuízo da qualidade para o observador. As equações de conversão das componentes R, G e B para as componentes Y, Cr e Cb empregadas no sistema de HDTV americano e Y, C1 e C2 empregadas no sistema europeu são dadas a seguir :

Sistema Americano

$$\begin{bmatrix} E_Y \\ E_{CR} \\ E_{CB} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,212 & 0,701 & 0,087 \\ 0,500 & -0,445 & -0,055 \\ -0,116 & -0,384 & 0,500 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_R^* \\ E_G^* \\ E_B^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

Sistema Europeu

$$\begin{bmatrix} E_Y \\ E_{C1} \\ E_{C2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,339 & 0,621 & 0,039 \\ 1,190 & -1,118 & -0,070 \\ -0,271 & -0,497 & 0,769 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} E_R^* \\ E_G^* \\ E_B^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

Antes de se proceder à subamostragem das componentes de crominância há a necessidade de filtrarmos o sinal com um filtro passa-baixas, de modo a evitar o efeito de *aliasing* nos espectros dos sinais reproduzidos no receptor.

CARACTERÍSTICAS		USA	EUROPA
LARGURA DE FAIXA	Sinal de luminância	30 MHz	60 MHz
	Sinal de crominância	15 MHz	30 MHz
FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM	Sinal de luminância	74,25 MHz	144 MHz
	Sinal de crominância	37,125 MHz	72 MHz
Número de Amostras ATIVAS POR LINHAS	Sinal de luminância	1280 (720 linhas ativas) 1920 (1080 linhas ativas)	1920 (1152 linhas ativas)
	Sinal Diferença de cor (Crominância)	640 (720 linhas ativas) 960 (1080 linhas ativas)	960 (1152 linhas ativas)
NÚMERO TOTAL DE AMOSTRAS POR LINHA	Sinal de luminância	1650 (720 linhas ativas) 2200 (1080 linhas ativas)	2304 (1152 linhas ativas)
	Sinal Diferença de cor (Crominância)	825 (720 linhas ativas) 1100 (1080 linhas ativas)	1152 (1152 linhas ativas)
Nomenclatura das Componentes de vídeo codificadas para HDTV (PCM 8 bits /amostra)		$E'_Y = Y$ $E'_Y - E'_R = C_R$ $E'_Y - E'_B = C_B$	$E'_Y = Y$ $E'_{C1} = C_1$ $E'_{C2} = C_2$
TAXA DE BITS (sem compressão)		1,18 Gbps	2,3 Gbps

Tabela 4. Formatos de Amostragem

Para o sistema americano, as componentes de crominância são limitadas a uma largura de faixa de 15 MHz, enquanto que para o sistema europeu estão limitadas a 30 MHz. O filtro passa-baixas colocado na saída do sinal de luminância serve para limitar a sua faixa aos valores especificados pelo padrão. A subamostragem das componentes de crominância segue o formato de cor 4:2:0, ou seja, para cada grupo de quatro amostras de luminância toma-se apenas uma amostra de cada componente de crominância. Isso corresponde a amostrar o sinal por um fator de 2, ou seja, tomar amostras alternadas tanto na direção vertical quanto na horizontal da imagem. Com isso, a

frequência de amostragem para o caso americano é fixada em 37.125 MHz e em 72 MHz no caso europeu.

Após efetuada a subamostragem, os sinais são enviados ao bloco de compressão e codificação para geração do sinal de vídeo codificado [21] [27].

IV. SINAIS DE SINCRONISMO

Os sinais de sincronismo nos sistemas convencionais de televisão são transmitidos a fim de se indicar ao receptor o início e o término de cada linha de varredura (sincronismo horizontal) e de cada quadro ou campo (sincronismo vertical). Em um sistema analógico, um sinal de sincronismo é transmitido através de níveis de tensão dentro do sinal de vídeo composto.

No caso de um sistema completamente digital (eg., poderia ser um sistema HDTV), os sinais de sincronismo são indicados mediante a codificação de cada quadro e de cada linha de varredura. Dessa forma, os níveis de sincronismo provenientes da câmera são utilizados para sincronizar o relógio do sistema de amostragem, a fim de se indicar o início e o término do grupo de amostras ativas (amostras carregando somente informação de vídeo) que serão posteriormente codificadas e transmitidas. O número de amostras a serem codificadas dependerá do formato de amostragem utilizado pelo sistema [21]. Logo, não há necessidade de se transmitir sinais de sincronismo vertical e horizontal de televisão em sistemas de transmissão digitais.

Tanto os sinais de cor como os sinais de sincronismo são representados através de níveis de tensão provenientes da câmera antes do processo de digitalização. Os níveis de tensão designados para esses sinais estão de acordo com as propostas dos diferentes sistemas e projetados sobre uma impedância de 75 ohms. As Tabelas 5, 6 e 7 mostram os níveis de tensão considerados para o sistema americano, bem como os intervalos de tempo considerados para os sinais de sincronismo vertical e horizontal. As Figuras 5 e 6 mostram as formas de onda dos sinais de sincronismo analógicos. No caso do sistema Europeu, os parâmetros dos sinais de vídeo são mostrados nas Tabelas 8, 9 e 10 e as formas associadas aos pulsos de sincronismo são mostradas nas Figuras 7 e 8 [21][27].

O sinal de sincronismo de campo utilizado no sistema americano é constituído por 10 pulsos do tipo mostrado na Figura 6, sendo o espaçamento entre esses pulsos de meio período de linha horizontal [21].

No sistema europeu, o pulso de apagamento vertical começa na linha 1241 até a linha 88 do campo seguinte.

Dessa forma, durante o tempo de varredura da linha 1250 é inserido o pulso de sincronismo vertical, cuja forma é mostrada na Figura 8. Os parâmetros são mostrados nas Tabelas 9 e 10. [21] [27].

Naturalmente, os pulsos de sincronismo definidos são necessários nos estúdios de televisão para sincronização dos sinais provenientes de diversas fontes. (câmeras, gravadores, sinais externos e internos).

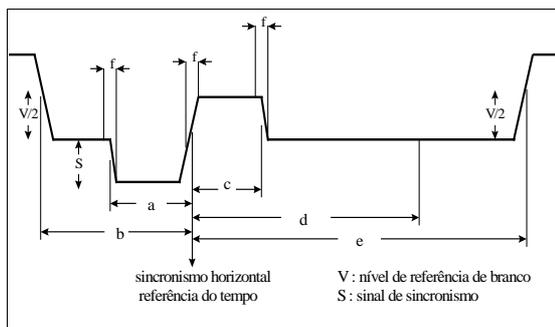


Figura 5. Forma de onda do Período de Apagamento de Linha Horizontal. Sistema Americano.

SINAL NOMINAL	REFERÊNCIA	NÍVEL (mV)
E'Y, E'R, E'G,	nível de preto	0
E'B com sincronismo	nível de branco	700
	nível de sincronismo	±300
E'PR, e E'PB com sincronismo	nível zero	0
	nível de pico	±350
	nível de sincronismo	±300

Tabela 5. Níveis de Tensão das Componentes de Cor e os Sinais de Sincronismo do Sistema Americano.

CARACTERÍSTICA	VALORES CONSIDERADOS
Forma do sinal de sincronismo	3 níveis bipolar
Intervalo nominal "line-blanking"	3,77 ms
Frequência do relógio de referência	74,25 MHz + 10 ppm
Período do relógio de referência	13,47 ns
Transição de subida do sincronismo	Número de períodos : 0
Transição posterior do sincronismo	Número de períodos : 44
Início do vídeo ativo	Número de períodos : 192
Fim do vídeo ativo	Número de períodos : 2112
Transição anterior do sincronismo	Número de períodos : 2156

Tabela 6. Características dos Sinais de Sincronismo e os Tempos dos Eventos numa Linha de Vídeo do Sistema Americano.

INTERVALO	PERÍODOS DE REFERÊNCIA	TEMPO (ms)
A	44	0,593
B	88	1,185
C	44	0,593
D	132	1,778
E	192	2,586
f (tempo de subida)	4	0,054
Linha (total)	2200	29,630
Linha (ativa)	1920	25,860

Tabela 7. Tempo de duração dos Sinais de Vídeo e Sincronismo do Sistema Americano (Figura 5).

SINAL NOMINAL	REFERÊNCIA	NÍVEL (mV)
E'Y, E'R, E'G, e E'B	nível preto	0
	nível branco	1000
Sincronismo	nível sobre 75 ohm	±300

Tabela 8. Níveis de Tensão das componentes de cor e do Sinal de Sincronismo do Sistema Europeu.

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICA	MS	RELÓGIO DE REFERÊNCIA 2,25 MHz (NÚMERO DE PERÍODOS)
H	Intervalo nominal	16	36
a	Intervalo de apagamento	2,667	6
b	Intervalo entre O _H e o pório de subida do pulso de apagamento	1,778	4
C	Pório Frontal	0,889	2
D	Pulso de Sincronismo	0,444	1

Tabela 9. Sinal de Sincronismo do Sistema Europeu (Figura 7).

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICA	TEMPO (ms)	NÚMERO DE PERÍODOS
V	Período do quadro	20	1250
J	Intervalo de Apagamento do quadro	1,568	98
q'	Duração do pulso de sincronismo de quadro	8	1/2

Tabela 10. Sinais de Sincronismo de Quadro do Sistema Europeu (Figura 8)

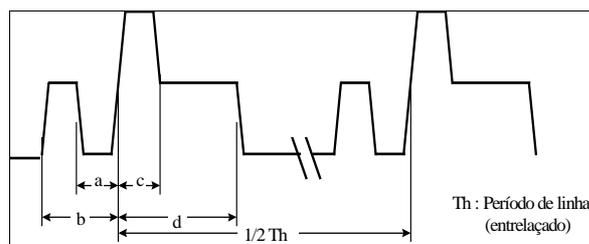


Figura 6. Forma de Onda de um Pulso de Sincronismo de Campo do Sistema Americano

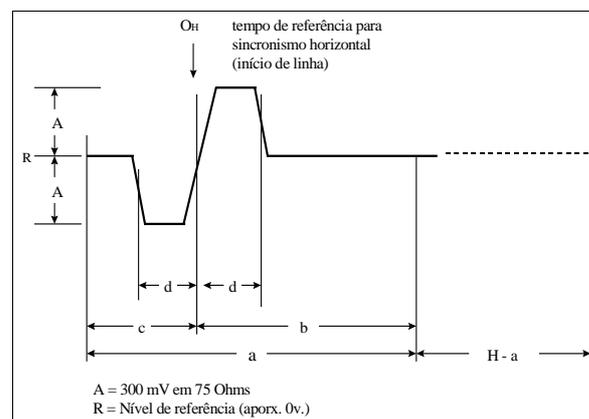


Figura 7. Sinal de Sincronismo de Linha do Sistema Europeu.

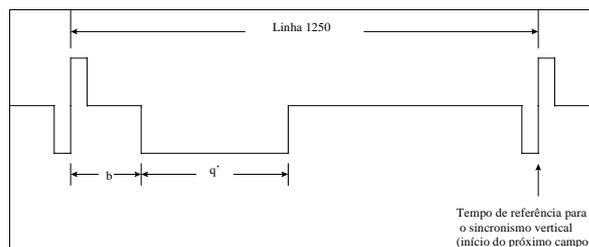


Figura 8. Sinal de Sincronismo de Campo do Sistema Europeu V.

V. CONCLUSÕES

O mérito do sistema HDTV consiste em oferecer serviços com alta qualidade de reprodução e grande flexibilidade. Essas características são viabilizadas pelo uso de tecnologia moderna, esquemas complexos de processamento digital e recursos de infra-estrutura atualmente disponíveis.

VI. AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DVB. “**Television for the Third Millennium**”. Disponível na Internet. <http://www.dvb.org/>. Nov. 1998.
- [2] Petejan, E. “**The HDTV Grand Alliance System**”. Proceeding of the IEEE, USA, v.83, n7, p. 1094-1105, Julho 1995.
- [3] Challapali K. , *et al.* “**The HDTV Grand Alliance System**”. Proceeding of the IEEE, USA, v.83, n2, p. 1094-1105, Fevereiro 1995.
- [4] The Grand Alliance. “**The U.S. HDTV standard THE GRAND**” IEEE Specrum, USA, p.36-45, Abril 1995.
- [5] Advanced Television Systems Committee. “**ATSC Standard**”. Disponível na Internet.http://www.atsc.org/Standard/Stan_rps.htm. Jan. 1999.
- [6] Advanced Television Systems Committee. “**Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard**”. ATSC Standard, Doc. A/53, 12 April/4 Outubro 1995.
- [6] Advanced Television Systems Committee. “**Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard**”. ATSC Standard, Doc. A/54, 12 April/4 Outubro 1995.
- [7] International Organization for Standard / International Electrotechnical Commission. “**MPEG-2 Systems**”. Doc. ISO/IEC IS 13818-1, International, Standard, March, 1994.
- [9] DVB. Disponível na Internet. <http://www.etsi.org/> Sept. 1999.
- [10] DVB. Disponível na Internet. <http://www.dvb.org/> Sept. 1998
- [11] Advanced Television Systems Committee. “**Digital Audio Compression (AC-3)**”. Doc. ATSC Standard A/52, 10 Nov. 1994/12 Apr.1995.
- [12] America National Institute. Doc. “**AES Recommended Practice for Digital audio engineering -Serial Transmission format for two-channel lineartyr represented digital audio data**”. AES 3-1992(ANSI S4.40-1992).
- [13] International Organization for Standard/International Electrotechnical Commission. “**MPEG-2 Video**”. Doc. ISO/IEC IS 13818-2. International Standard, May.1996.
- [14] Society of Motion Picture and Television Engineers. “**Standard for Television, 1920 x 1080 Scaning and Interface**”. Doc. SMPTE 274M, 1995.
- [15] Society of Motion Picture and Television Engineers. “**Standard for Television, 1920 x 1080 Scaning and Interface**”. Doc. SMPTE S17.392, 1995.
- [16] International Telecomunicações Union. “**Encoding Parameters of Digital Television for Studios**”. Doc. ITU-R BT.601-4, 1994.
- [17] Schafer, R. “**The Status of HDTV in Europe**”. IEEE Communications Magazine, USA, p. 120-125, Junho 1996.
- [18] International Organization for Standard / International Electrotechnical Commission. “**MPEG-2 Compliance**”. Doc. ISO/IEC CD 13818-4. MPEG Committe Draft, 1994.
- [19] Advanced Television Systems Committee. “**Program Guide for Television**”. ATSC Document T3/S8-050.
- [20] Advanced Television Systems Committee. “**System Information for Digital Television**”. ATSC Document T3/S8-079.
- [21] Sablón, B.V. , Iano, Y. “**Processamento e Compressão do espaço de Sinal de Vídeo aplicado às Imagens de TV Convensional e HDTV usando transformada de Wavelets**”. Campinas: FEE, UNICAMP. Relatorio 1 FAPESP-Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas. Mar. 1999.
- [22] European Telecommunication Standard ETS 300 744, “**Digital VideoBroadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital Terrestrial television (DVB-T)**”, ETSI, Mar. 1997.
- [23] ITU-T Recommendation H.262, ISO/IEC 13182-2, “**Information Technology - Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Video**” Agosto, 1995.
- [24] William, Y.Z. , Yiayan, W. “**CODF: An Overview**” IEEE Transactions on Broadcasting, USA, vol.41, n.1, mar. 1995.
- [25] Yiayan, W. , William, Y.Z. “**Orthogonal Frequency Division Multiplexing a Multi-Carrier Modulation Scheme**”. IEEE Transactions on Consumer Electronics, USA, vol.41, n.3, ago. 1995.
- [26] Samoylov, V.F. , Khromoy, B.P. “**Televison**” MIR Publishs, Moscow.
- [27] Petejan, E. “**The HDTV Grand Alliance System**”. IEEE Communications Magazine, USA, p. 126-132, Junho 1996.
- [28] Zdepski J. et. al. “**Overviewof the Grand Alliance HDTV Video Compressio System**”. Conference Record of the Asilomar Conference on Signal, Systems and Computers, p.193-197, 1994.

[29]Kemper, V.G. “**Aspectos Relevantes para a Definição de um Sistema de Televisão HDTV**”. Campinas: FEE, UNICAMP. Tese (Mestrado-Orientador Y. Iano) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas. Julho 1996.

Vicente Idalberto 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 (Universidade Estadual de Campinas). Atualmente é Professor Assistente da Faculdade de Matemática-Física e Computação da UCLV e estudante de Doutorado do Departamento de Comunicações da Faculdade de Elétrica e de Computação da UNICAMP (DECOM/FEEC/UNICAMP). Seus interesses estão voltados para processamento digital de sinais de áudio e vídeo.

Yuzo Iano recebeu os títulos de Engenheiro Eletrônico, Mestre e Doutor em Engenharia Elétrica através da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). 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. Tem interesses em processamento digital de sinais de

áudio e vídeo. Trabalha com pesquisas em televisão e em especial com a HDTV desde 1986.

Renê Togni Del Pietro recebeu os títulos de Engenheiro Eletrônico e Mestre em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações pela UNICAMP. (Universidade Estadual de Campinas). Atualmente é estudante de Doutorado do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (DECOM/FEEC/UNICAMP). Trabalha nas áreas de processamento digital de sinais de áudio e vídeo.

Luiz Rômulo Mendes recebeu o títulos de Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica pela Universidade Federal de Uberlândia, e Mestre em Engenharia Elétrica e Telecomunicações pela UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). Atualmente é estudante de Doutorado do Departamento de Comunicações da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP (DECOM/FEEC/UNICAMP). Os interesses estão nas áreas de processamento digital de sinais de áudio e vídeo, bem como em redes de alta velocidade.

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