

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO

TV over IP

Bases para implantação da transmissão
de TV em pacotes de dados IP

Dezembro 2003

Fernando Amaral Shayani (fernando@shayani.net) – 97/22769

Marcelo Mariano Miziara (raxidex@yahoo.com) – 98/65659

Universidade de Brasília

Esta página foi deixada intencionalmente em branco.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos orientadores Humberto Abdalla Júnior e Antonio José Martins Soares e aos colaboradores José Roberto Marchioni, Jefferson de Jesus Wanderley e Gustavo (Mais TV Brasília) pelo extenso suporte oferecido e por sua freqüente disponibilidade em ajudar-nos em nossas dúvidas.

Agradecemos a todos que tiveram contato com nosso lado humano, por terem suportado todos os momentos de extensa concentração com paciência imensurável.

Por fim, agradecemos também ao *Google*, por nos ajudar a filtrar o conteúdo adequado nas milhares de paginas inúteis da Internet.

RESUMO

A televisão do modo que conhecemos atualmente está fadada a ser substituída por tecnologias mais modernas, principalmente em relação à sua transmissão e imagem do vídeo, migrando de um sistema analógico para um sistema digital.

O sistema digital possui diversas formas de ser implantada e neste estudo, iniciou-se a pesquisa da base de funcionamento do sistema de televisão, com a intenção de visualizar um futuro próximo aonde todas as imagens e sons serão digitais, utilizando avançadas técnicas de codificação, e sua transmissão, além de modulações digitais, trafegarão em uma rede de dados IP.

Nesta pesquisa, foi analisado o funcionamento analógico das emissoras de TV a cabo e microondas em Brasília e suas tendências para a migração digital.

Foram feitas análises e comparações de diversos tipos de codificadores com a intenção de encontrar a combinação ótima de qualidade com compatibilidade.

Finalmente, chegou-se a um vislumbre da enorme capacidade de transmissão e possibilidade de inserção de conteúdos e serviços em uma rede de televisão baseada em pacotes IP.

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
2.	Sinal de Vídeo Analógico	3
2.1.	Sistemas de vídeo.....	3
2.2.	Frequência de varredura vertical e horizontal.....	5
2.3.	Canal de radiodifusão de televisão.....	6
3.	Sinal de Vídeo Digital.....	8
3.1.	DVB.....	8
3.2.	ATSC.....	8
3.3.	ISDB.....	9
3.4.	Escolha Brasileira de transmissão digital para TV aberta.....	9
4.	Compressão de Vídeo	10
4.1.	Vídeo.....	10
4.1.1.	Resolução	10
4.1.2.	Taxa de Quadros	10
4.1.3.	Cor	11
4.2.	Codificação	11
4.3.	Funcionamento da codificação	13
5.	Sistemas por Cabo e por MMDS	17
5.1.	Como tudo começou.....	17
5.1.1.	TV a cabo no Brasil.....	18
5.2.	Transmissão por Cabo.....	19
5.2.1.	Head-end	19
5.2.2.	Os cabos	20
5.2.3.	Transmissão de dados.....	23
5.2.4.	Limitações do sistema.....	25
5.2.5.	Migração para um sistema de televisão digital a cabo.....	25
5.3.	Transmissão por MMDS	27
6.	Formato de vídeo digital.....	30
6.1.	Introdução	30
6.2.	CODEC	31
6.2.1.	Windows Media.....	32

6.2.2.	Divx	34
6.2.3.	MPEG-4	37
6.3.	Testes práticos.....	39
6.3.1.	Metodologia.....	39
6.3.2.	Equipamento utilizado.....	41
6.3.3.	Tempo de codificação	41
6.3.4.	Tamanho de arquivo	44
6.3.5.	Processamento para reprodução.....	47
6.3.6.	Qualidade Visual	49
6.3.7.	Escolha do codec.....	49
7.	Visualização.....	51
7.1.	<i>Set-top-box</i>	51
7.2.	Softwares	53
7.3.	Soluções para operadoras.....	56
8.	Transmissão digital de dados/vídeo.....	59
8.1.	O sistema	59
8.2.	Equipamento do assinante.....	63
9.	Vantagens do sistema digital de vídeo e dados.....	65
9.1.	Quantidade de canais	65
9.2.	Novos serviços.....	66
9.2.1.	Video-on-Demand	67
9.2.2.	E-mail e mensagens instantâneas	67
9.2.3.	Interatividade.....	67
9.2.4.	Objetos	68
9.2.5.	Internet always-on.....	69
9.2.6.	Segurança	69
9.2.7.	Ensino/Conferência a distância.....	69
10.	Conclusão	71
11.	Passos futuros	72
12.	Bibliografia	73

I. Índice de figuras e tabelas

Figura 1 - Modo de varredura	6
Figura 2 - Canal de 6,0 MHz de Radiodifusão de Televisão	7
Figura 3 - Redundâncias temporais e espaciais.....	12
Figura 4 - Blocos de 8x8 pixels.....	14
Figura 5 - Compressão de dados pela DCT	15
Figura 6 - Conversão de Vídeo em MPEG	16
Figura 7 - Esquema de utilização de TV a cabo.....	17
Figura 8 - Exemplo da arquitetura Tree and Branch	21
Figura 9 - Exemplo de arquitetura fiber backbone.....	21
Figura 10 - Arquitetura HFC (Hybrid Fiber/Coaxial)	22
Figura 11 - TAP	22
Figura 12- Faixa de frequências.....	24
Figura 13 - Terayon TetraPro	24
Figura 14 - Modulações no sistema de transmissão digital por cabo.....	26
Figura 15 - Sistema MMDS, Head-end (H) e Assinante (A).....	27
Figura 16 - Esquema do sistema MMDS.....	28
Figura 17 - Tempo de codificação - ESTATICO	42
Figura 18 - Tempo de codificação – FILME.....	43
Figura 19 - Tamanho de arquivo - ESTATICO	45
Figura 20 - Tamanho de arquivo - FILME.....	46
Figura 21 - Processamento - DivX.....	47
Figura 22 - Processamento - MPEG-4	47
Figura 23 - Processamento - Windows Media 9.....	48
Figura 24 - Comparativo de custos de processamento do codificadores.....	48
Figura 25 - Exemplos de set-top-boxes. Acima o IP440 da Pace Micro, e abaixo o ACTIVY 300 da Fujitsu.....	52
Figura 26 - Acima temos o chip EM8550 da Sigma Designs, junto com o AveL LinkPlayer, da I-O Data, que usa o em8550. Abaixo temos o eccle5000, com Linux embutido	53
Figura 27 - Interface do Windows Media Player.....	54

Figura 28 - Interface do Divx player.....	55
Figura 29 - Interface do Quicktime	55
Figura 30 - EN5920 da Tandberg.....	56
Figura 31 - 4Caster da Envivio	57
Figura 32 - 4Sight da Envivio.....	57
Figura 33 - 4View da Envivio.....	58
Figura 34 - Os modelos da Optibase, o MGW 2400 e o MGW 5100	58
Figura 35 - Taxa de <i>upstream</i> dos sistemas DOCSIS.....	61
Figura 36 - Comparativo de velocidades de <i>upstream</i> e <i>downstream</i> dos sistemas DOCSIS	62
Figura 37 - Motorola SB5100 SURFboard DOCSIS 2.0 Cable Modem	63
Figura 38 – Toshiba DOCSIS 2.0 certified PCX2600 Cable Modem.....	64
Figura 39 - Terayon TJ 715 Cable Modem.....	64
Figura 40 - Comparativo de quantidades de canais com sistema analógico, MPEG-2 e Windows Media 9.....	66
Tabela 1 - Capacidades de compressão do MPEG	12
Tabela 2 - Código de Huffman.....	16
Tabela 3 - Tempo de codificação - ESTATICO	42
Tabela 4 - Tempo de codificação - FILME.....	43
Tabela 5 - Tamanho de arquivo - ESTATICO	45
Tabela 6 - Tamanho de arquivo - FILME	46

II. Acrônimos

ABERT	Associação Brasileira de Emissoras de rádio e TV
ABTA	Associação Brasileira de TV por Assinatura
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AM	Amplitude Modulation
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATSC	Advanced Television Standards Committee
AVC	Advanced Video Coding
CATV	Community Antenna Television
CBR	Constant Bit Rate
CCIR	Comité Consultatif International des Radiocommunications
CD	Compact Disc
CDMA	Code Division Multiple Access
CD-R	Recordable Compact Disc
CD-RW	Rewritable Compact Disc
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
DCT	Discrete Cosine Transformation
DOCSIS	Data over Cable Service Interface Specification
DRM	Digital Rights Management
DVB	Digital Video Broadcasting
DVD	Digital Versatile Disc
FCC	Federal Communications Commission
FPS	Frames per Second
FM	Frequency Modulation
HDTV	High Definition Television
HFC	Hybrid Fiber/Coaxial
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet protocol
IRD	Integrated Receiver Decoders
ISDB	Integrated Services of Digital Broadcasting
ISO	International Organization for Standardization

ITU	International Telecommunication Unit
JVT	Joint Video Team
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service
MMS	Microsoft Media Server
MPEG	Motion Picture Experts Group
MSDB	Microsoft Database
NTSC	National Television System Committee
PAL	Phase Alternation Line
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
S-CDMA	Synchronous Code Division Multiple Access
SECAM	Sequential Couleur Avec Memoire
SET	Sociedade Brasileira de Engenharia de TV e Telecom
SHF	Super High Frequency
TCP	Transport Control Protocol
TVoIP	TV over IP
UHF	Ultra High Frequency
VBR	Variable Bit Rate
VHF	Very High Frequency
VRLC	Variable Run Length Coding
VSF	Vestigial Side Band
WM ou WM9	Windows Media

1. Introdução

Não se pode negar a imensa contribuição da televisão como meio catalítico da humanidade. É preciso ser honesto: ela tem proporcionado vários benefícios seja na área do entretenimento, seja na área do conhecimento; assim como malefícios, que não convém discutirmos aqui, pois fugiria ao escopo do projeto. Há quem a enxergue como um instrumento capaz de contribuir com o crescimento educacional e estímulo à imaginação, outros a enxergam como incentivadora de vários comportamentos doentios, estimulante à violência e banalizadora do sofrimento humano.

Segundo MacLuhan¹, "*as tecnologias criam tipos de cidades, criam tipos de trabalho e lazer totalmente novos*". Desse modo o ser humano desenvolve novos tipos de comportamento com as novas tecnologias. Surge a interatividade e a comunicação em tempo real aplicadas à televisão. Portanto a comunicação interativa junto à individualidade do ser humano estimula e lhe dá poder de decisão na programação.

Uma das grandes tendências de nosso tempo é a convergência entre dados, vídeo e voz. A transmissão de televisão sobre uma rede de dados será uma realidade possível com o aumento da velocidade de acesso à Internet, esta a qual podemos ver que cada dia se consolida como rápida. A utilização de tecnologias como o ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) tem feito o acesso à Internet de forma rápida se tornar uma realidade. Esta tecnologia transforma linhas telefônicas comuns e antigas em um canal de alta velocidade para dados.

As vantagens da televisão sobre IP (TVoIP - *TV over IP*) são apontadas principalmente no ramo da interatividade, da auto-programação e da seleção de programas a que o telespectador pretende assistir em determinado espaço de tempo, ou seja, cada pessoa poderá compor seu próprio canal, com seus programas preferidos, devidamente selecionados. O projeto se dispõe a mostrar os ambientes disponíveis e as necessidades para o funcionamento de um sistema como este, tendo em vista que muitos internautas assistem televisão enquanto navegam pela Internet.

¹ Marshall McLuhan - (1911-1982) foi professor de Literatura e Cultura. É autor da célebre frase "*The medium is the message*" - o meio é a mensagem. A sua frase transmite a idéia de que os meios de comunicação e as tecnologias são determinantes, ou seja, o conteúdo modifica-se em função dos meios que os veiculam.

Um dos diferenciais da TVoIP é que esta poderá fornecer o conteúdo tanto para os aparelhos atuais (com a presença de um *set-top-box* ligado ao aparelho de TV para transformar os pacotes IP em sinais de vídeo e de áudio), como para os computadores, nesses não precisando de nenhum hardware adicional, bastando apenas ter um software capaz de ler o formato de vídeo e estar ligado à rede responsável pela transmissão dos programas.

Conteúdos on-line personalizados, complementares ao da televisão e sempre atualizados também serão de grande valia e atração ao telespectador. Esta interatividade ainda está dando os primeiros passos e enquanto isso resta ao telespectador apenas escolher o canal a ser assistido.

2. Sinal de Vídeo Analógico

O sinal que sai de uma câmara de televisão, cujas variações de amplitude correspondem as diferentes intensidades de luminosidade da imagem a ser transmitida é chamado de **sinal de vídeo**, e o sinal gravado por um microfone com as variações das amplitudes dos sons é chamado **sinal de áudio**. O vídeo é modulado em amplitude (AM-VSB) e o áudio é modulado em frequência (FM), sendo transmitidos então através de um canal. No lado da recepção, ocorre o procedimento inverso, ou seja, o sinal de vídeo transmitido é recebido pela antena do aparelho de TV e depois demodulado.

A transmissão e a recepção do sinal de vídeo ocorre de forma sincronizada, ou seja, enquanto a tela do tubo de imagem está sendo varrida continuamente pelo feixe eletrônico e produzindo a imagem visível ao olho humano (imagem transmitida), o mesmo processo está ocorrendo no lado da transmissão na câmara de TV. É por isso que é fundamental a existência de sincronismo perfeito entre as varreduras no transmissor e no receptor de TV para que cada elemento de imagem transmitido através do canal possa ser reproduzido corretamente na sua devida posição relativa à imagem como um todo. Um sinal de vídeo é constituído basicamente do sinal de vídeo ativo propriamente dito, dos sinais de apagamento e sincronismo horizontais (linha) e dos sinais de apagamento e sincronismo verticais (campo).

2.1. Sistemas de vídeo

Os sistemas de vídeo são na realidade, adaptações para o sistema da transmissão de TV preto e branco já em uso no país ou região. Foram necessárias seguir diversas regras, que fizeram variar o funcionamento de um país para o outro, criando diferentes sistemas e padrões:

- Sistema NTSC - *National Television System Committee* – Criado e utilizado nos EUA. Consiste na modulação em amplitude de duas subportadoras de mesma frequência e em quadratura de fase, pelos sinais de crominância I e Q;

- Sistema SECAM - *Sequential Couleur Avec Memoire* – Criado na França. Consiste na modulação em frequência de duas subportadoras com frequências distintas;
- Sistema PAL - *Phase Alternation Line* – Criado na Alemanha, consiste na modulação em amplitude de duas subportadoras de mesma frequência e em quadratura de fase, pelos sinais de crominância U e V, com inversão seqüencial da fase da subportadora modulada por V.

Os padrões de TV determinam um conjunto de características do serviço de TV estabelecidos pelo CCIR (*Comité Consultatif International des Radiocommunications*). Esses padrões foram estabelecidos, inicialmente, para a TV preto e branco e, posteriormente, estendeu-se por questões de compatibilidade para a TV a cores. Como padrões podemos definir os padrões M, N, B, G, L, D, K, H e I. Temos a seguinte divisão de acordo com os países:

- Sistema PAL
 - Padrão M (Brasil)
 - Padrão B, G (Alemanha)
 - Padrão N (Argentina)
- Sistema SECAM
 - Padrão L (França)
 - Padrão D, K (Ex – URSS)

Vale ressaltar que um mesmo sistema pode respeitar diversos padrões, bem como um mesmo padrão pode ser aplicado em diversos sistemas, por exemplo:

- Padrão M
 - Sistema PAL
 - Sistema NTSC

- Padrão B, G
 - Sistema PAL
 - Sistema SECAM

Abaixo são listadas algumas características do sinal de vídeo composto do sistema PAL-M:

- 30 quadros por segundo
- Cada quadro possui dois campos
- 60 campos por segundo
- Varredura entrelaçada
- 525 linhas por quadro
- Sinal de luminância – sinal Y

2.2. Freqüência de varredura vertical e horizontal

Analisando o sistema PAL-M, usado no Brasil, temos que a taxa de campos de 60 Hz é a freqüência de varredura vertical, ou seja, o tempo de cada ciclo de exploração vertical para um campo é 1/60s. Esta é a velocidade com que o feixe de elétrons completa o seu ciclo de movimento vertical, de cima para baixo e de volta para cima novamente, pronto para começar a próxima varredura vertical. Para manter o sincronismo tanto a filmadora quanto para o tubo de imagens operam a 60Hz.

O número de linhas de exploração horizontal num campo é a metade do total de 525 linhas para um quadro completo, uma vez que cada quadro possui dois campos, um com as linhas ímpares e outro com as linhas pares. Isto resulta em 262,5 linhas para cada campo vertical. Seguindo raciocínio similar ao apresentado no item anterior, se o tempo de um quadro é de 1/30 segundos e cada quadro possui 525 linhas, o número de linhas por segundo é dado por:

$$N_{\text{linhas por segundo}} = 525 \times 30 = 15750 \text{ linhas por segundo}$$

Esta frequência de 15750 Hz é a velocidade com que o feixe de elétrons completa seu ciclo de movimento horizontal, da esquerda para a direita e de volta para a esquerda novamente, pronto para iniciar a próxima varredura horizontal.

A frequência horizontal é de 15750 Hz e a frequência vertical igual a 60 Hz (frequência da rede).

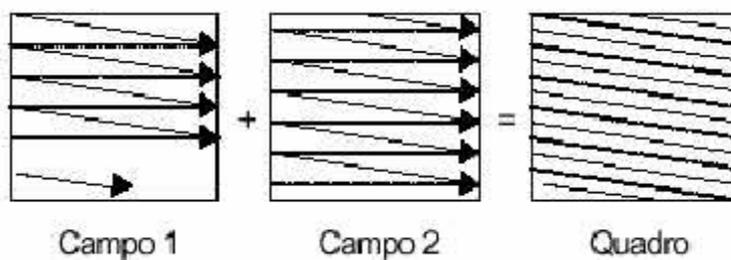


Figura 1 - Modo de varredura

2.3. Canal de radiodifusão de televisão

O grupo de frequências atribuídas pelo FCC (*Federal Communications Commission*) a uma estação de rádio difusão para transmissão de seus sinais é chamado de canal. Cada estação de televisão tem um canal de 6,0MHz dentro de uma das seguintes faixas alocadas para radiodifusão de televisão comercial:

- 54 a 88 MHz para os canais de 2 a 6 da faixa inferior de VHF
- 174 a 216 MHz para os canais 7 a 13 da faixa superior de VHF
- 470 a 890 MHz para os canais 14 a 83 de UHF

Em todas as faixas, cada canal de TV tem largura de 6,0 MHz. Como exemplo, o canal 2 vai de 54 MHz a 60 MHz e o canal 3 vai de 60 MHz a 66 MHz. Um canal pode ser utilizado por muitas estações de radiodifusão, mas estas devem estar bastante afastadas umas das outras, a fim de reduzir ao mínimo a interferência entre as mesmas. Tais estações, que usam o mesmo canal, são estações de canal comum. As estações que utilizam canais adjacentes em frequência, como os canais 3 e 4, são estações de canal adjacente. Para reduzir ao mínimo a interferência entre as estações elas precisam

estar separadas por uma certa distancia. A Figura 2 mostra como os diferentes sinais da portadora se ajustam no interior do canal padrão de 6,0 MHz. A freqüência da portadora de imagem, designada por **P**, está sempre 1,25 MHz acima da extremidade inferior do canal. Na extremidade oposta, a freqüência da portadora de som, designada por **S**, está 0,25 MHz abaixo da extremidade superior. Este espaçamento das freqüências da portadora se aplica a todos os canais de TV nas faixas de VHF e UHF, quer a radiodifusão seja em cores, quer seja monocromática (preto e branco).

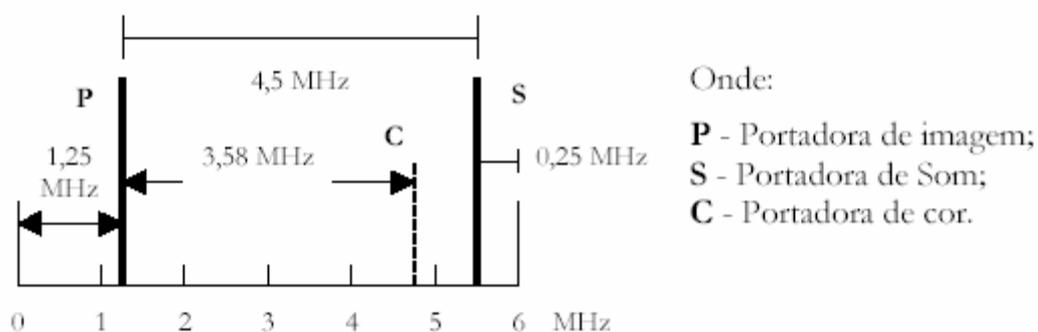


Figura 2 - Canal de 6,0 MHz de Radiodifusão de Televisão

3. Sinal de Vídeo Digital

Existe atualmente um movimento a nível mundial que pretende que as emissões televisivas se tornem a médio prazo 100% digital. Isto se deve às fortes vantagens que as técnicas digitais oferecem face às analógicas, como: uma maior imunidade do sinal ao ruído devido a facilidade na detecção e correção de erros, a possibilidade de regeneração do sinal, o uso de técnicas de modulação digitais com maior eficiência espectral (melhor aproveitamento da largura de banda, ou seja, capacidade de colocar mais canais num faixa de frequência onde só cabe um canal na transmissão analógica), além de transmitir imagem com qualidade de cinema e som estéreo.

Os sistemas de transmissão digital também foram definidos diferentemente de acordo com os países. Estes sistemas são o europeu (DVB - *Digital Video Broadcasting*), o norte-americano (ATSC -*Advanced Television Standards Committee*) e o japonês (ISDB – *Integrated Services of Digital Broadcasting*). Vamos ver em separado as principais características de cada um dos sistemas:

3.1. DVB

- Digitalização do sinal de vídeo: MPEG-2
- Digitalização do sinal de áudio: MPEG-2 BC
- Transmissão de sinais: Modulação COFDM
- Privilegia: multi-programação, interatividade e novos serviços

3.2. ATSC

- Digitalização do sinal de vídeo: MPEG-2
- Digitalização do sinal de áudio: Dolby AC-3
- Transmissão de sinais: Modulação 8-VSB
- Privilegia: HDTV

3.3. ISDB

- Digitalização do sinal de vídeo: MPEG-2
- Digitalização do sinal de áudio: MPEG-2 AAC
- Transmissão de sinais: modulação COFDM
- Privilegia: HDTV, recepção móvel e portátil

3.4. Escolha Brasileira de transmissão digital para TV aberta

Primeiramente um relatório da SET/Abert (Sociedade Brasileira de Engenharia de TV e Telecom/Associação Brasileira de Emissoras de rádio e TV) aponta o padrão japonês como o mais adequado ao Brasil. Há grande entusiasmo da Abert e da maioria das emissoras pelo ISDB. O sistema norte-americano foi considerado 'absolutamente inadequado' ao Brasil por alguns engenheiros da SET, fazendo supor que os EUA estão adotando a pior tecnologia de TV digital.

Os japoneses afirmam que seu sistema é o mais sofisticado e que permite, inclusive, recepção móvel, isto é, em trens, ônibus ou automóveis. O número de outras facilidades e recursos é tão grande que o sistema foi apelidado carinhosamente de 'canivete suíço da TV digital'.

Atualmente tem-se falado na criação de um sistema de TV digital brasileiro. Vários pontos precisam ser analisados antes da adoção de um sistema puramente brasileiro. Por um lado, o sistema seria desenvolvido totalmente baseado nas necessidades brasileiras, além de não ser preciso o pagamento de *royalties*, pois a idéia é trabalhar em cima das partes abertas dos outros sistemas. Por outro lado, a importação seria um problema, pois os grandes fabricantes precisariam modificar os aparelhos ao enviarem para o Brasil. Com a exportação a mesma coisa, seria preciso modificar os aparelhos para os padrões estrangeiros.

4. Compressão de Vídeo

4.1. Vídeo

Quando pensamos em transmissão de vídeo, seja como televisão ou simplesmente vídeos para fins diversos, devemos primeiramente converter a fonte para o formato digital. Isso pode ser feito de várias maneiras, por diversos tipos específicos de codificadores, cada um deles baseado em uma tecnologia ou algoritmo de codificação para obter uma melhor compressão ou qualidade, ou ambas.

Vídeo não é nada mais do que uma série de imagens paradas sendo mostrado de forma rápida o suficiente para que o olho humano não consiga detectar a variação das imagens. Existem três características importantes de vídeo:

- **RESOLUÇÃO** – A quantidade de informação em cada imagem
- **TAXA DE QUADROS** – Com que frequência uma nova imagem é mostrada
- **COR** – Quanta informação de cor está presente

4.1.1. Resolução

Resolução é normalmente medida em *pixels* horizontais e verticais, aonde cada *pixel* é um elemento da imagem. Obviamente, quanto maior a resolução, maior é a informação necessária para aquela imagem, se mantivermos a mesma taxa de bits. Em se tratando de comunicação de dados, uma maior resolução significa que mais informações devem chegar ao destino em um segundo do que menores resoluções.

4.1.2. Taxa de Quadros

A taxa de quadros é simplesmente o número de imagens (quadros) mostrado em um segundo. Filmes, por exemplo, são projetados em 24 quadros por segundo. A televisão norte-americana, a qual utiliza o padrão NTSC projeta imagens em 29.97 quadros por segundo, e o modelo Europeu (PAL) em 25 quadros por segundo.

4.1.3. Cor

Vídeo é feito de “luminância”, o que é o preto-e-branco ou o contraste da imagem; e do componente de cor, chamado de “crominância”. Analogamente à resolução de vídeo, mais cores necessitam maior banda de transmissão. Considere um esquema comum de cor digital, aonde usamos cada uma das cores primárias². Se cada cor pode ser representada por 256 níveis, então poderemos representar 16.8 milhões de cores diferentes (256 Vermelho x 256 Azul x 256 Verde). Para suportar este nível de cor, são necessários oito bits para cada uma das três cores. Então são 8 Vermelho + 8 Azul + 8 Verde – o que chamamos de “24-bit vídeo”.

Trabalhando com computadores, as cores são representadas pelo o que é chamado de “YCrCb”. “Y” significa sua luminância, “Cr” é a crominância-vermelha e “Cb” é a crominância-azul. Este método para representar as cores tem a vantagem de que o olho humano não detecta cores do mesmo modo que detecta o contraste.

4.2. Codificação

A codificação provê um modo de comprimir o sinal de vídeo digital para uma taxa de bits gerenciável. Atualmente, a capacidade de compressão do vídeo em MPEG-1, e MPEG-2 é mostrada na Tabela 1 abaixo:

² Cores primárias para luz são *vermelho*, *azul* e *verde*. Cores primárias para pigmentos (tinta) são *vermelho*, *azul* e *amarelo*.

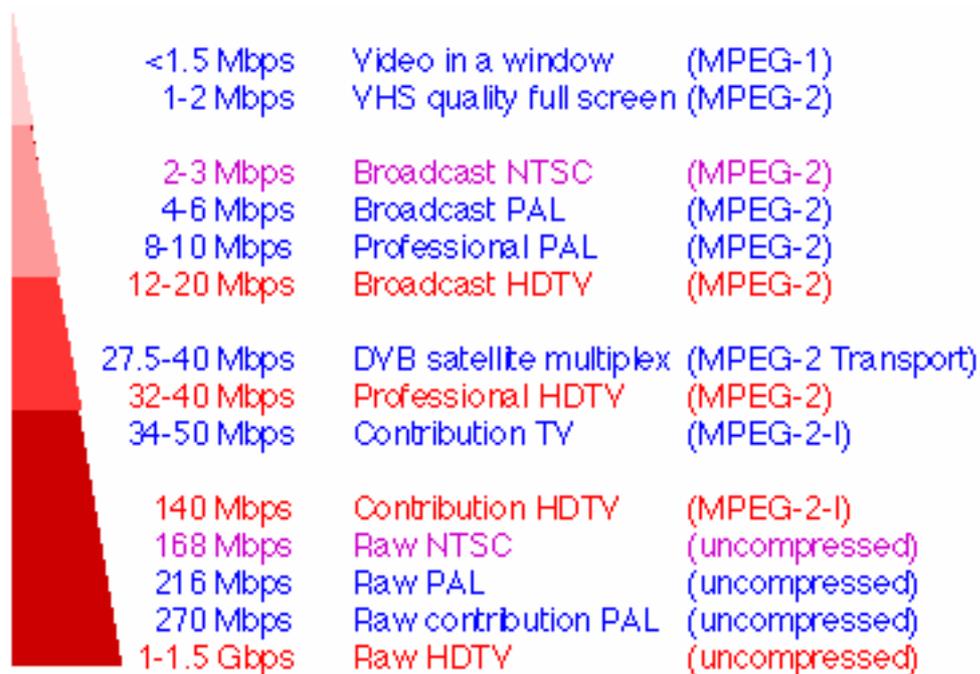


Tabela 1 - Capacidades de compressão do MPEG

O algoritmo de compressão de vídeo alcança uma variedade de altas taxas de compressão explorando as redundâncias nas informações do vídeo. A codificação remove tanto a redundância temporal quando a redundância espacial presentes.

Redundâncias temporais acontecem quando quadros sucessivos mostram a mesma cena. Isto é comum quando os conteúdos da cena se mantêm fixos ou mudam somente um pouco entre dois quadros sucessivos.

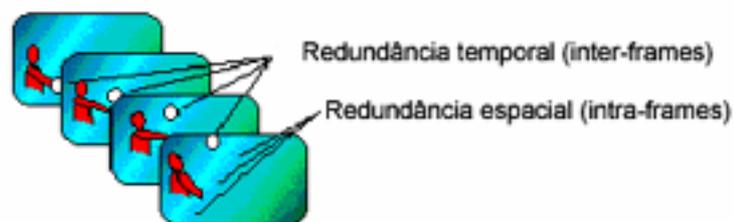


Figura 3 - Redundâncias temporais e espaciais

Redundâncias espaciais ocorrem porque pedaços da imagem são freqüentemente replicados (com poucas alterações) dentro de um mesmo quadro.

4.3. Funcionamento da codificação

Neste projeto, analizaremos diversas codificações de vídeo. Cada uma delas possui suas particularidades, porém todas elas seguem alguns passos básicos que serão descritos neste capítulo.

Para reduzir a banda de transmissão necessária, o vídeo deve ser comprimido.

A codificação é uma modo de representar de forma compacta sinais de vídeo e áudio digital para o usuário. A idéia básica é transformar um *stream* de amostras discretas em um *stream* de bits, o qual ocupa menor espaço, mas que é suficiente para a percepção dos olhos e ouvidos humanos. Essa transformação explora redundâncias perceptuais e também algumas redundâncias estatísticas.

A semântica da codificação diz ao decodificador como representar inversamente os bits compactados de volta no *stream* original de amostras. Essas semânticas são meramente uma coleção de regras (que são também chamados de algoritmos).

Os sete passos a seguir, o qual também está representado na Figura 6 abaixo, descrevem os passos básicos da codificação de vídeo.

1. Escalonamento prévio e conversão de cor

A fim de fazer a informação se adequar às especificações da fonte, os codificadores escalonam, por exemplo, a área ativa de 720x480 para 360x240. A resolução original é usada apenas por profissionais que precisam de alta qualidade de vídeo para editar sem perda de qualidade. E a informação de cor é convertida do RGB (*Red, Green e Blue*) para o YCrCb, que é mais compacto. O modelo YCrCb separa a informação de cor em valores independentes de luminância (brilho) e crominância (matiz).

2. Sub-amostragem de cor

Luminância é o componente dominante que o olho humano enxerga quando olha para uma cor enquanto a crominância é menos importante. Como resultado, o codificador elimina 75% dos valores de crominância.

3. DCT (*Discrete Cousine Transformation*)

O esquema básico é prever o movimento de frame a frame numa direção temporal, e então utilizar o DCT para organizar a redundância. Cada bloco de 8x8 *pixels* é transformado em um conjunto de números que descrevem um nível de detalhe da imagem. Padrões grosseiros irão resultar em muitos zeros, enquanto padrões com muito mais detalhes ou linhas com alto contraste irão ter muito menos valores igual a zero. Nenhuma compressão ocorre neste passo, mas os resultados serão usados depois para obter maior compressão.

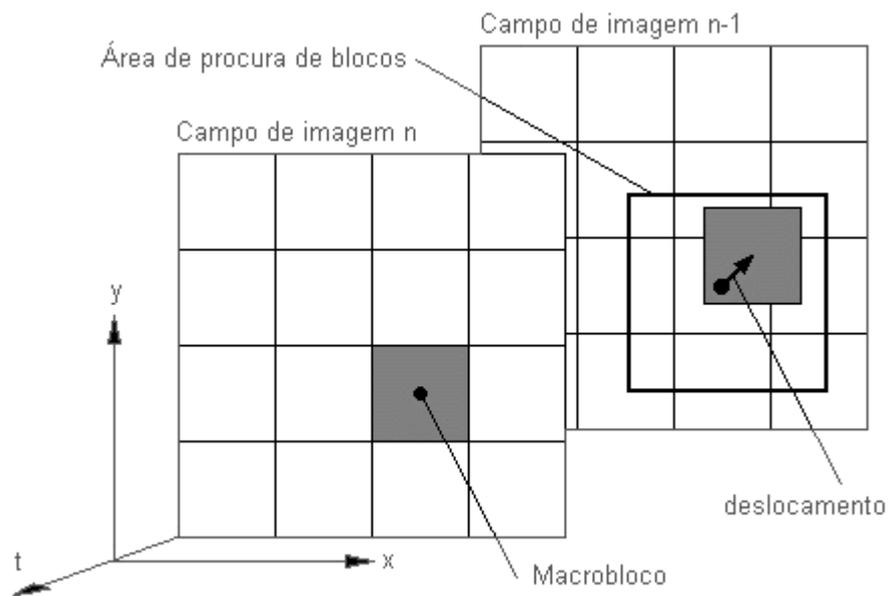


Figura 4 - Blocos de 8x8 pixels

A função do codificador é transmitir o bloco DCT para o decodificador, de uma maneira eficiente em uma taxa de bits, de forma que este possa aplicar a transformada inversa para reconstruir a imagem. A precisão numérica dos coeficientes DCT pode ser reduzida (arredondadas) e ainda manter uma boa qualidade de imagem, pois a DCT “empacota” mais informação do que o olho humano consegue detectar.

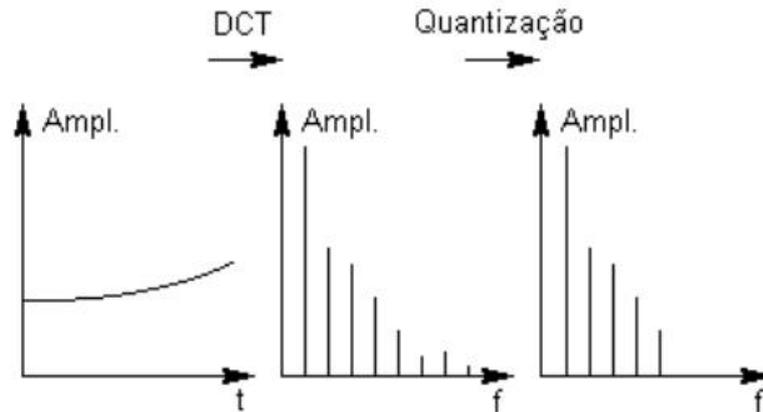


Figura 5 - Compressão de dados pela DCT

4. Quantização

Os resultados da DCT são então arredondados, fazendo com que ocorra uma redução de valores possíveis. Por exemplo, 1.1 será 1 e 5.7 será 6. A quantização tem um maior impacto no tamanho do fluxo final do vídeo codificado. Grandes constantes produzem poucos valores possíveis e aumentam a taxa de compressão.

5. *Run Length Coding*

Em alguns tipos de dados, particularmente naqueles gerados em vídeos ou fax, onde geralmente se encontra uma seqüência longa de números com um valor constante, especialmente zero. É mais eficiente, nestes casos, transmitir dois números, o valor constante, e o número de vezes que o valor constante se repete. Por exemplo, em vez de transmitir 1111100100000000, transmitimos 5x1,2x0,1x1,8x0. Esta técnica de codificação é conhecida como *run length coding*, ou ainda *variable run length coding* (VRLC). Se for possível transformar uma seqüência de dados de modo a se obter repetições freqüentes de seqüências de números iguais, então o *run length coding* pode ser usada, e a redução na taxa de transmissão será observada.

6. *Huffman Coding*

A codificação de Huffman é um exemplo de codificação por entropia. Cada símbolo (ou valor) a ser transmitido é transformado numa palavra-código binária com um número variável de bits. As palavras mais freqüentes na seqüência a ser transmitida, são projetadas com o menor número de bits, e as menos freqüentes com o maior número de

bits. Podemos ver na tabela abaixo um exemplo dessa codificação, a_1 aparece com maior frequência, por tanto é utilizado apenas um bit para designá-la, ao contrario de a_5 que aparece raras vezes, podendo usar então mais bits para representar essa informação.

Informação	Probabilidade	Código
a_1	$5/8$	0
a_2	$3/32$	1001
a_3	$1/32$	11011
a_4	$1/8$	111
a_5	$1/8$	101

Tabela 2 - Código de Huffman

7. Compressão entre quadros

A codificação adiciona mais compressão eliminando redundâncias que aparecem em mais de um frame. Os codificadores "olham" vários quadros adiante para explorar blocos de *pixels* repetidos. Blocos de *pixels* idênticos em um ou mais quadros sucessivos são substituídos por um ponteiro que faz referência a uma única cópia do bloco.

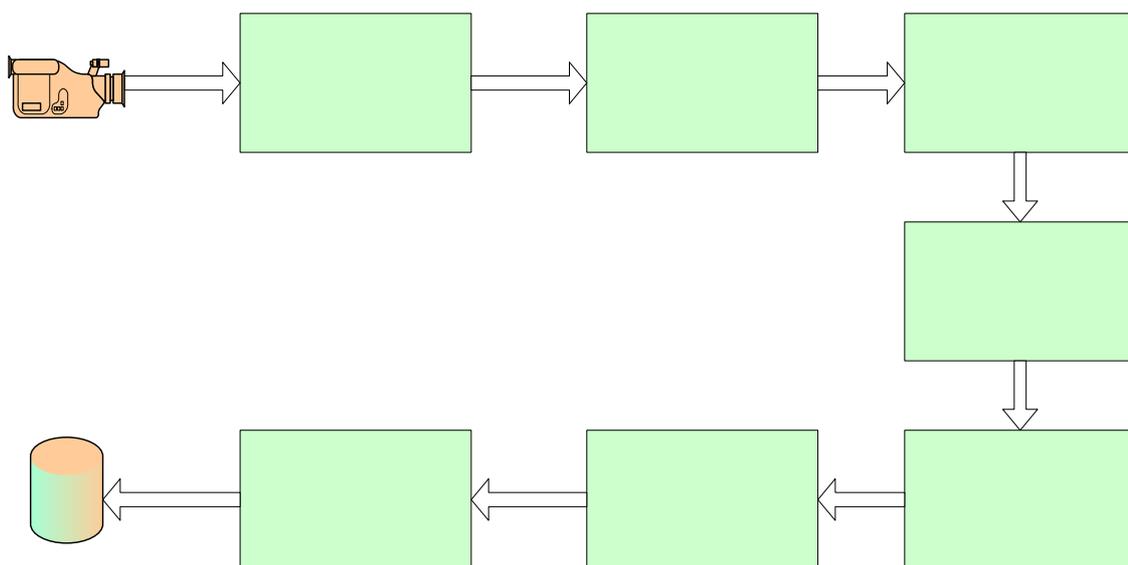


Figura 6 - Conversão de Vídeo em MPEG

5. Sistemas por Cabo e por MMDS

5.1. Como tudo começou

A TV a cabo começou na década de 40 nos EUA, quando pequenas comunidades no interior do país, com dificuldades de recepção dos sinais da TV aberta, se uniram e instalaram antenas de alta sensibilidade. Os sinais, então, eram distribuídos até as residências por meio de cabos coaxiais, o que ficou conhecido como CATV - *Community Antenna Television*, termo que até hoje identifica as operações de TV a cabo. A Figura 7 mostra bem como funcionava, ou melhor, funciona esse sistema.

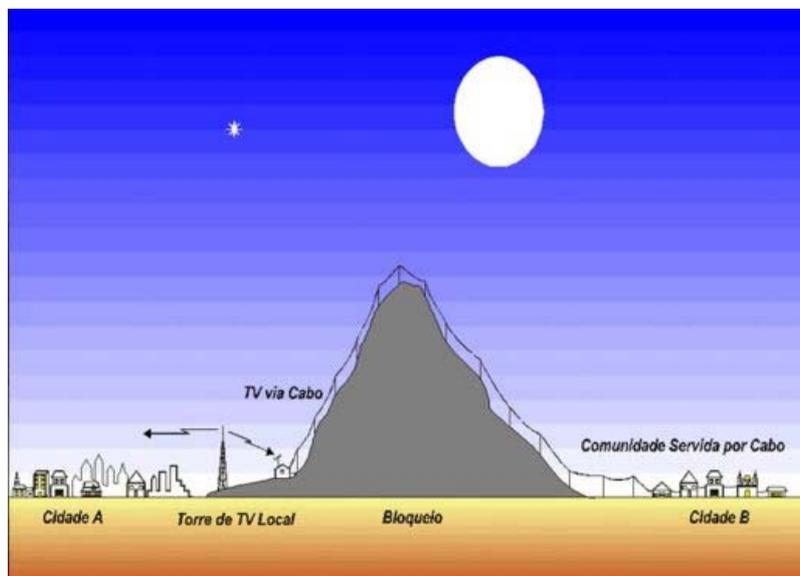


Figura 7 - Esquema de utilização de TV a cabo

A idéia logo foi comprada, e rapidamente estavam sendo implementados sistemas como este para atender áreas afastadas, bloqueadas por montanhas ou que de certa forma fosse difícil a chegada do sinal. Na época eram oferecidos três a cinco canais que apenas retransmitiam a programação da TV convencional. Com o tempo passaram a diferenciar a programação, deixando com que os assinantes escolhessem os programas através de votação, além de oferecer mais canais.

Essa nova tecnologia ofereceu as emissoras um método viável e eficiente em termos de custos de distribuição nacional. Além disso, os usuários podiam escolher os programas que mais lhes agradassem - opção que eles não teriam por meio da TV tradicional. Assim, a TV a cabo despertou o interesse dos moradores de áreas urbanas, além do seu mercado habitual.

5.1.1. TV a cabo no Brasil

Segundo histórico da ABTA – Associação Brasileira de TV por Assinatura, o processo de implantação da TV a cabo no Brasil também começou de forma semelhante. Há aproximadamente quarenta anos atrás houve a necessidade de fazer com que os sinais das emissoras localizadas no Rio de Janeiro chegassem às cidades situadas na Serra do Mar, com boa qualidade de som e de imagem.

Nos anos 80 surgiram no Brasil as primeiras transmissões efetivas de TV por assinatura, com as transmissões da CNN, com notícias 24 horas por dia, e da MTV, com videoclipes musicais. Funcionavam num processo normal de radiodifusão, transmitindo em UHF, com canal fechado e codificado. Tais serviços foram o embrião para a implantação do serviço de TV por assinatura, cuja regulamentação constava de decreto do presidente José Sarney, de 23 de fevereiro de 1988. Em 13 de dezembro de 1989, com a portaria nº 250, do Ministério das Comunicações, o governo introduziu a TV a cabo no país. Conhecido pela sigla DISTV - Distribuição de Sinais de TV por Meios Físicos, o serviço fazia, como diz a sigla, a transmissão usando meio físico, sem a necessidade de utilização do espectro radioelétrico para chegar aos usuários.

Mesmo assim, até meados da década passada, a TV a cabo no Brasil possuía muitos poucos usuários. O custo da mensalidade era elevado e a oferta dos serviços atingia número reduzido de cidades. O novo tipo de TV podia ser considerado um privilégio de poucos. Mas em meados da década passada o número de assinantes em torno de 400 mil, enquanto que em 2001 esse número estava na casa dos 3,5 milhões, segundo pesquisa da *Pay TV Survey*³.

³ Pay TV Survey – Empresa brasileira de pesquisa de mercado voltada exclusivamente para o setor de TV por assinatura

5.2. Transmissão por Cabo

O cabo é o sistema de distribuição mais utilizado no Brasil. Seu custo de instalação por domicílio atingido é mais alto que os de outros sistemas, mas uma rede de cabo pode ser utilizada posteriormente para diversos outros serviços, como transporte de dados, acesso à Internet, telefonia etc.

O estudo de transmissão por cabo envolveu na prática algumas visitas a Net Brasília, onde foi mostrada toda estrutura necessária desde o momento que o sinal chega até o momento que esse é transportado para o assinante final. A finalidade deste estudo é entender o funcionamento da transmissão analógica por cabo disponível atualmente e verificar o que muda com a implementação da transmissão digital na mesma estrutura. Para isso foram verificadas suas limitações quanto a essa implementação e os requerimentos necessários para adaptar a estrutura existente para uma nova estrutura que suporte o funcionamento de transmissão digital.

5.2.1. Head-end

No head-end é encontrado o material necessário para a recepção dos sinais de televisão dos satélites. Os canais são transmitidos do satélite das emissoras nos formatos DVB, VHF, UHF, etc. diretamente para as antenas receptoras, que os captura e caso haja necessidade, como no caso do DVB, são convertidos para formato analógico. Esta conversão digital-analógica é feita pelo IRD – *Integrated Receiver Decoders*, que tem a função de converter o sinal digital em sinal analógico, como NTSC, PAL, etc. No caso é utilizado então o formato PAL-M, pois como dito antes, é o formato padrão do sistema de cores da televisão brasileira.

Após os sinais serem recebidos pelo head-end, é feito um processamento dos mesmos, uma codificação, para que o sinal possa ser transmitido por uma rede e manter a segurança das suas informações, neste caso, de sua confidencialidade, exclusiva ao assinante que paga pelo recurso. É feito então um algoritmo de codificação do sinal, que entre suas funções, retira o sinal de sincronismo do canal e inverte seu sinal de vídeo.

Então, todos os sinais dos canais são novamente transpostos para a banda de frequência específica de cada um deles, para que possam ser combinados todos em um mesmo cabo de transmissão. Faz-se então a modulação desses sinais, AM-VSB para o sinal de vídeo e FM para o sinal de áudio - é nesse momento que os sinais se transformam num canal de televisão. Depois disso os sinais são agrupados e codificados (para controle de acesso nos *decoders* dos assinantes) e em seguida são distribuídos na rede.

5.2.2. Os cabos

O cabo coaxial utilizado na recepção dos assinantes em suas casas possui na teoria uma banda total de 800 MHz, podendo ser inseridos na teoria até 133 canais de 6Mhz. Muitos desses canais nem são utilizados, podendo ser alocados para outros fins, como a banda de retorno, que será vista mais tarde, e para transmissão de dados, como faz o Vírtua. Essa parte de transmissão também será discutida mais tarde.

Este sinal modulado agora é amplificado para ser transmitido visando aumentar a relação sinal/ruído. Porém, este sinal não é transmitido ao assinante desde o head-end por cabos coaxiais. As primeiras arquiteturas de distribuição eram chamadas de *Tree and Branch* (do inglês algo como árvore e galhos), ou seja, temos uma via principal e desta via saem ramificações até a casa do assinante. Eram usados somente cabos coaxiais, o que limitava o tamanho da célula, pois estes possuem um fator de atenuação de 5 dB para cada 100 metros. Era necessária então a presença de muitos amplificadores, e devido à essa presença de um elevado número de amplificadores ocorriam altas distorções e intermodulações.

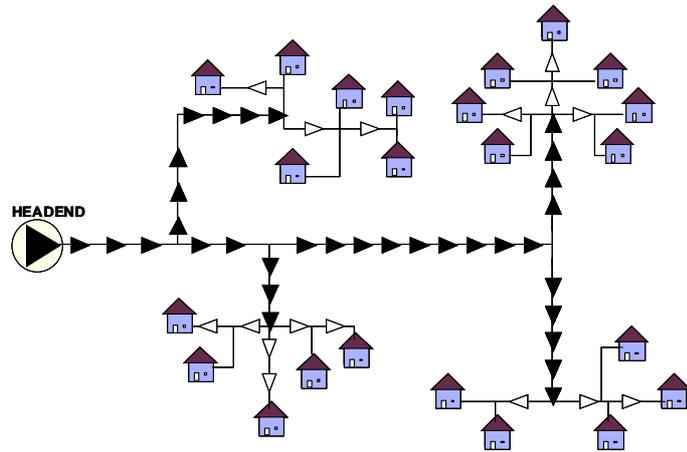


Figura 8 - Exemplo da arquitetura Tree and Branch

Para solucionar este problema passaram a utilizar fibra óptica, visto que possuem uma atenuação de 0,3 dB por Km. Essa nova arquitetura era chamada de *fiber backbone*, que consistia em utilizar fibra sobre arquitetura *Tree and Branch*, ligando apenas alguns nós. Isso faz com que a vulnerabilidade da rede coaxial fosse reduzida, além de melhorar a qualidade do sinal.

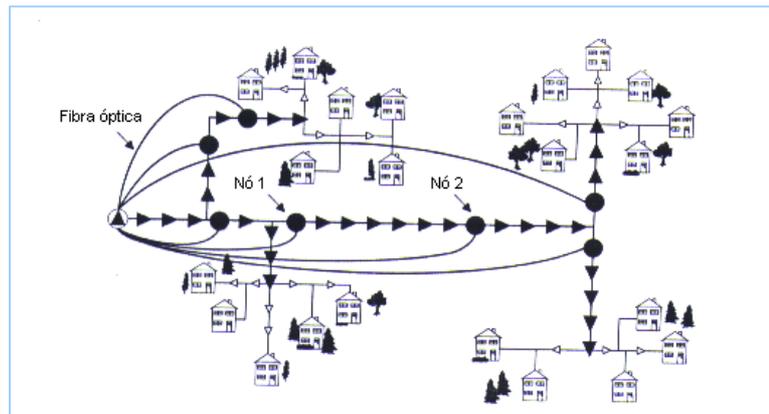


Figura 9 - Exemplo de arquitetura fiber backbone

Só que ainda necessitavam de amplificadores, e ocorriam algumas redundâncias. A arquitetura HFC (*Híbrida Fibra/Coaxial*) veio solucionando esse problema, e é a utilizada atualmente. As casas dos assinantes foram divididas em regiões, chamadas de nós

ópticos. O conteúdo vai por fibra até essas regiões, e lá são ligadas num receptor óptico⁴ responsável por distribuir o sinal entre os assinantes. Do receptor até a casa dos assinantes o sinal vai por cabo coaxial.

Nessa arquitetura os amplificadores do tronco foram eliminados. A performance é alta, devido às transmissões em fibra serem muito mais rápidas, além de possibilitar outros serviços e de manter a relação C/N alta.

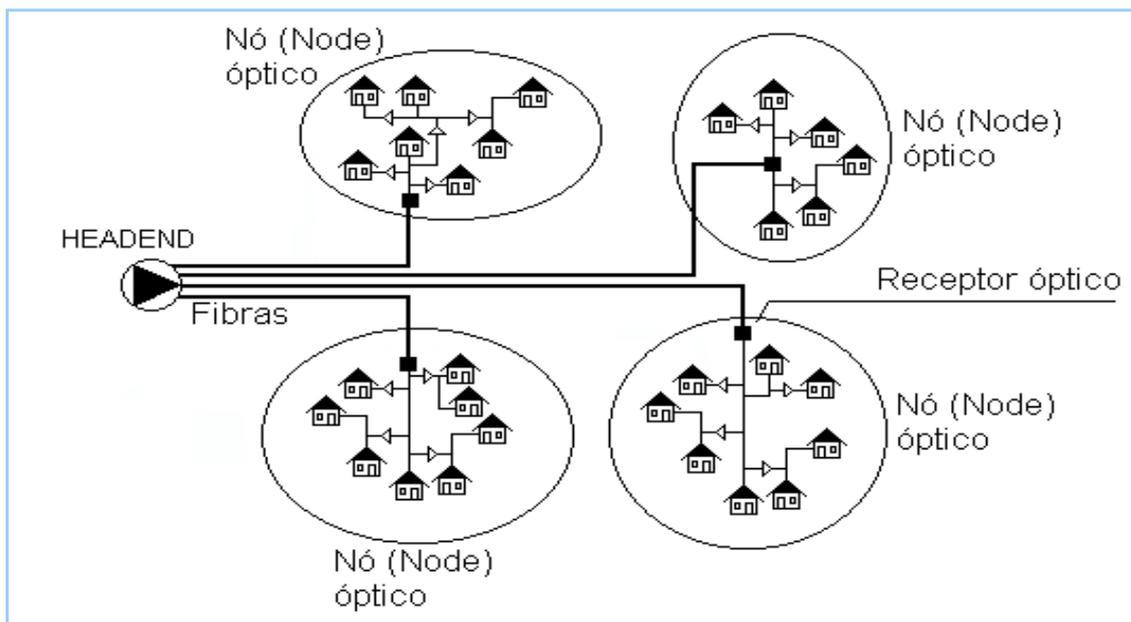


Figura 10 - Arquitetura HFC (Hybrid Fiber/Coaxial)

Como não é possível saírem 2000 ramificações de um receptor óptico, é utilizado um equipamento para ramificar somente quando for necessário, o TAP, que pode ser visto na figura 7 abaixo.



Figura 11 - TAP

⁴ Receptor Óptico – Transforma o sinal de luz em sinal elétrico

O assinante agora recebe em sua residência um cabo coaxial com todos os sinais transmitidos pelo *head-end*, indiferentemente se este é assinante de todos os canais que a empresa oferece.

Para o assinante basta apenas sintonizar o canal desejado utilizando o *set-top-box*. Este recebe o sinal do cabo, decodifica os canais que o assinante têm direito para então demodular o canal, retornando-o à banda básica e transmitindo-o para o aparelho de televisão.

5.2.3. Transmissão de dados

A Net Brasília oferece o serviço de acesso à Internet pelo sistema de televisão a cabo, conhecido como *cable modem*. Cada assinante pode optar em ter este acesso em velocidades de até 512 Kbps simétrico, ou seja, mesma velocidade para download e upload.

Para poder oferecer este serviço, a Net Brasília disponibiliza um dos canais de 6 MHz, na faixa de 186-192 MHz que estava disponível para a transmissão de um canal simples de televisão para a transmissão de dados. Um canal de 6 MHz pode transmitir até 30 Mbps (27 Mbps na prática, com correção de erros). Porém isso não significa que cada assinante dispõe em sua residência esta banda para acessar à Internet. Este canal de 27 Mbps é compartilhado entre todos os assinantes de um mesmo nó para executar o download dos dados da Internet para sua residência.

No outro sentido, para que o assinante envie informações para a Internet, é utilizada a banda de 5MHz a 42MHz, como mostrada na Figura 12.

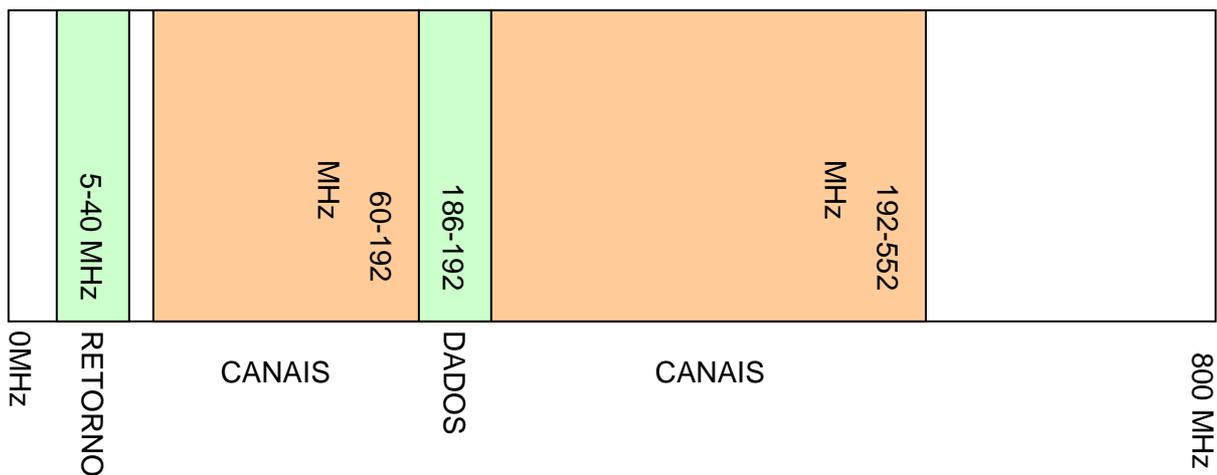


Figura 12- Faixa de frequências

Para a utilização deste serviço, o assinante deve utilizar um equipamento de cable-modem. A Net Brasília utiliza os padrões de transmissão proprietários da empresa Terayon (www.terayon.com), o S-CDMA (*Synchronous Code Division Multiple Access*), o qual permite a utilização da faixa de frequência de 5-42MHz para *upstream*. O equipamento é cedido em comodato ao assinante no momento da confirmação de seu interesse pelo serviço de acesso à Internet.



Figura 13 - Terayon TetraPro

Pelo fato do sistema da Terayon ser proprietário, isso gera um custo muito alto pra Net Brasília, que arca com os custos altos do equipamento. Procurando evitar isso, pretende-se utilizar o sistema DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) em uma nova faixa de frequência e utilizar ambos os sistemas simultaneamente. O

sistema DOCSIS, em sua versão 2.0, poderia chegar a 30 Mbps de transmissão simétrica, o que não alteraria significativamente o desempenho do sistema, porém reduziria o custo de implementação e seria benéfico ao assinante que teria agora novas e mais baratas opções de compra de *Cable Modems*.

5.2.4. Limitações do sistema

Visto como é o funcionamento do sistema de transmissão de televisão e dados da Net Brasília, pode-se verificar quais são as suas limitações para a implementação de televisão digital na mesma estrutura.

Inicialmente, quando o sinal do satélite é recebido no *head-end* em formato DVB, este é transformado em PAL-M pelo equipamento IRD. Esta conversão elimina a qualidade do sinal digital pois o padrão analógico suporta uma resolução de imagem muito inferior à digital. Portanto, seria necessário pular este passo e trabalhar com o sinal em DVB como o original, ou então utilizar um outro equipamento para fazer a conversão de MPEG-2 para outro formato escolhido de trabalho.

A banda utilizada para dados é muito limitada e insuficiente para transmitir em uma taxa de bits necessária para televisão digital, pois, como temos 2000 assinantes em um nó compartilhando a mesma banda de 27 Mbps, teríamos assim uma taxa de 74 Kbps, um pouco maior que um modem doméstico comum de Internet.

Para resolver este caso, teríamos que utilizar uma banda muito maior para transmissão de dados. Como utilizamos o espaço no espectro de frequência de 1 canal para transmitir 27Mbps, caso precisássemos de mais banda, teríamos que sacrificar mais um canal de programação para liberar mais 27Mbps, o que também seria compartilhado com os 2000 usuários.

5.2.5. Migração para um sistema de televisão digital a cabo

Com o apoio da NET, que está fazendo testes com a transmissão digital, foram esclarecidos alguns pontos sobre essa transformação. Como já foi visto a transmissão digital oferece várias vantagens, mas é preciso colocar numa balança se vale a pena

migrar de um sistema já em funcionamento, porém com algumas limitações, para um sistema novo, envolvendo troca de equipamentos e principalmente custo.

No head-end *in-the sky* seria utilizado um transcoder que transformaria o sinal modulado de satélite em sinal modulado para cabo, podendo ou não reencriptar o sinal digital.

Os sinais de áudio e vídeo sairão modulados para o usuário utilizando QAM-64, para redes ruidosas, pois o QAM-64 pode utilizar menos potência para transmitir o sinal, ou seja, com uma certa potência ele tem uma probabilidade de erro menor que o QAM-256, por exemplo. Para redes com pouco ruído e sem muita perda de potencia será utilizado QAM-256, pois pode transmitir muito mais bps do que o QAM-64. A parte de dados, será utilizado DOCSIS, pois já é um padrão, facilitando acesso a equipamentos de diversos fabricantes, podendo achar aqueles que oferecem melhor relação custo benéfico. Temos na Figura 14 como esse esquema irá funcionar.

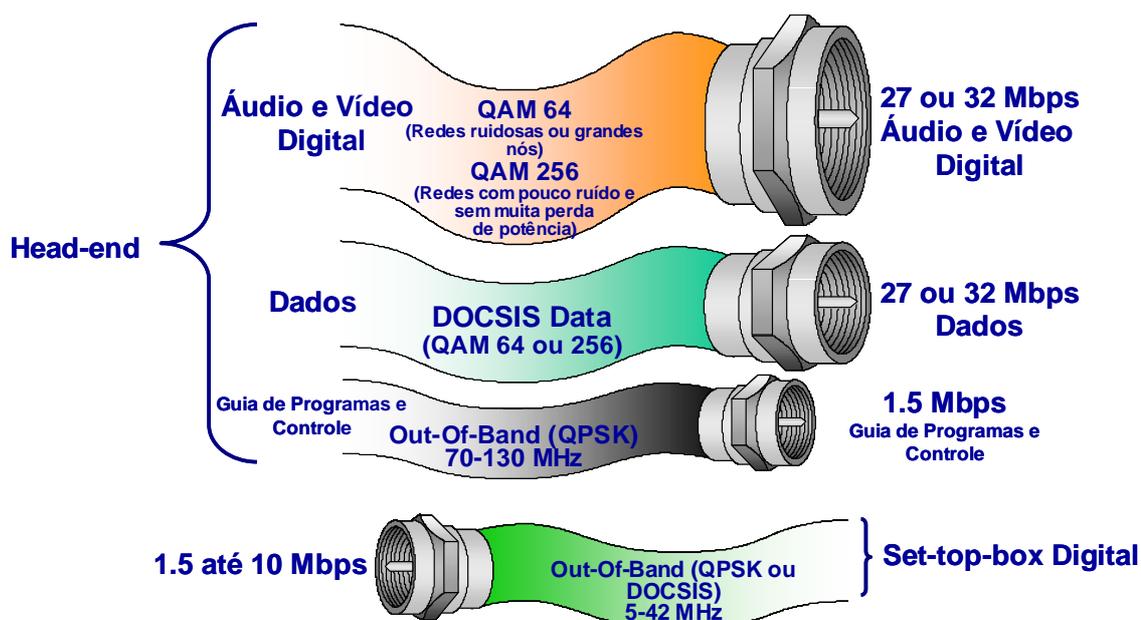


Figura 14 - Modulações no sistema de transmissão digital por cabo

Cada canal, depois de convertido para MPEG-2, utiliza entre 2,5 Mbps e 4 Mbps em média. Em média porque esses valores variam de canal para canal, como, por exemplo, um canal de notícias pode utilizar uma compressão maior do que um canal de esportes,

onde é necessária uma taxa maior, devido a maior mudança de telas (ocorre mais ação). A princípio pode-se pensar que sobraria muita banda disponível, visto que na teoria podemos por num cabo até 4 Gbps dependendo da modulação. O que acontece é que essa mudança não será da noite pro dia, os sistemas irão coexistir por um tempo. Até a parte analógica sair do sistema outros serviços e canais poderão estar existindo de forma a ocupar a banda.

5.3. Transmissão por MMDS

Assim como na análise da transmissão por cabo, foi verificada a estrutura de MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) analógica e a transmissão de dados, vendo também como ela se comporta sendo digital.

A estrutura de transmissão por MMDS é bastante similar a transmissão por cabo. Vários equipamentos são iguais, principalmente em se tratando do *head-end*. O que diferencia esses dois tipos de transmissão é o meio pelo qual o sinal chega ao assinante. No caso do MMDS o sinal vai pelo ar livre, ao invés de passar por cabos, ou seja, é um sistema sem fio – *wireless*.



Figura 15 - Sistema MMDS, Head-end (H) e Assinante (A)

A implementação de um sistema desse é muito mais rápida e pode atingir áreas de difícil acesso com maior facilidade. O fato de não precisar de grandes extensões de cabos coaxiais e fibras ópticas e do custo de manutenção desses cabos torna o MMDS uma tecnologia mais barata de ser implementada. Mas mesmo sendo mais barata, sua penetração no mercado é baixa, 7% contra 60% do sistema por cabo, segundo a ABTA.

Talvez a dificuldade que fazer uma melhoria no sistema de cabo, que pode durar meses, aliada com a velocidade e rapidez do MMDS possa inverter esse quadro.

O *head-end* do MMDS funciona da seguinte maneira. Ele recebe os sinais das várias emissoras, por satélite ou antenas transmissoras terrestre e os demodula. É montado então o *stream*, podendo ser adicionados transmissão da própria operadora. Esse sinal é então codificado, para que apenas os assinantes tenham acesso. Com os sinais codificados, estes são então modulados em FM para o áudio e AM-VSB para o vídeo. Depois de modulados, são mandados para o *upconverter*, que põe os sinais em frequências em torno de 2.5 a 2.7 GHz⁵ (localizada na região SHF – *Super High Frequency*). Em alguns casos para se transmitir com maior potência, são usadas duas antenas, cada uma servida por um combinador de canais não adjacentes.

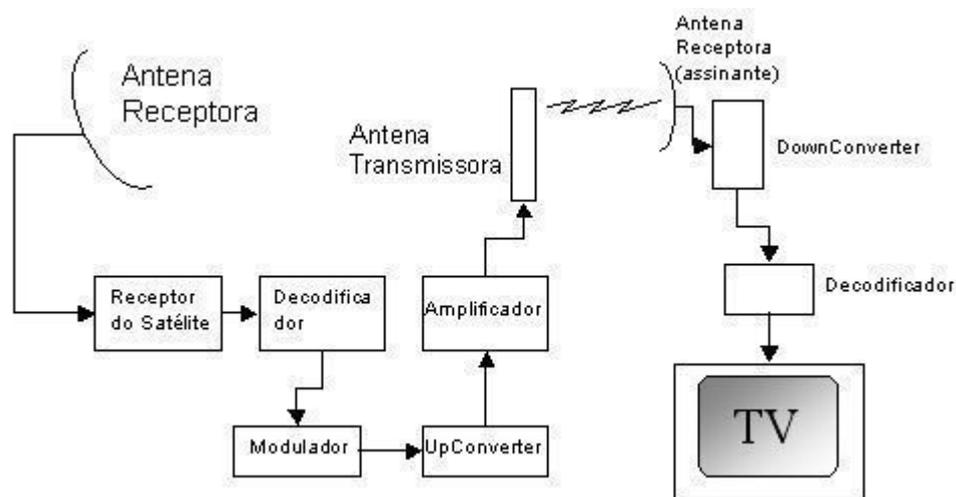


Figura 16 - Esquema do sistema MMDS

O MMDS tem a vantagem de não ser prejudicado pela chuva ou outro tipo de precipitação, pois nessa frequência o comprimento de onda ainda é maior do que o diâmetro de um pinga de chuva.

Uma das desvantagens do MMDS é que os sinais precisam ser mandados na direção da antena, ou seja, precisam estar em visada direta. Por isso o ideal é a antena irradiadora estar em lugar alto, de forma que possa alcançar grandes áreas. Dependendo do terreno o sinal pode ser enviado por uma área de até 50 Km de raio. O

⁵ No Brasil são definidos os valores de 2170-2182 GHz e 2500-2686 GHz

assinante irá capturar este sinal, decodificar, e então ser processado por um *downconverter*, que modificará a frequência do sinal para o padrão de TV (VHF ou UHF).

Como já visto, a frequência é limitada a 200 MHz. Isso é grande limitador, pois com o canal de TV ocupando 6 MHz, a quantidade de canais é de 33 apenas. Com a digitalização do sinal seria possível transmitir acima de 100 canais dependendo da modulação utilizada. Mas o grande entrave é que o investimento é muito alto por canal, além do *set-top-box* digital, que também é muito caro.

No caso da transmissão de dados, assim como em grande parte das operadoras de TV a cabo, é utilizado o padrão DOCSIS para fazer essa transmissão de dados, sendo que atualmente ela é *two-way*, ou seja, tanto a *downstream* quanto o *upstream* são feitas usando MMDS, enquanto que antes a *upstream* era feita pela linha telefônica. Atualmente o *downstream* é feito em 27 Mbps, ocupando a faixa de um canal (6 MHz). Pelo fato de vários usuários dividirem essa banda apenas em rajadas, é possível que individualmente eles atinjam 1 Mbps. Pela natureza assimétrica do uso da Internet, o fluxo de dados é muito maior no *downstream* do que na direção inversa, no *upstream*, onde uma banda muito menor é requerida. Tipicamente 800 KHz modulada em QPSK é o suficiente, sendo que dividindo entre vários assinantes a taxa pode chegar a 64 Kbps.

Para otimizar o custo do *upstream* e *downstream*, o projetista do sistema pode configurá-lo para servir 1000 ou 2000 assinantes iniciais dentro de um raio de 3400 metros da torre, utilizando o canal de 6 MHz. Este cenário inicial é chamado de super-célula. Ele inicia um serviço de acesso à Internet de alta velocidade para assinantes residenciais e empresariais a um custo modesto. A medida que a quantidade de assinantes cresce, podem ser usados mais canais MMDS, mas estes muitas vezes podem não estar disponíveis, então é usada uma estratégia de reuso de frequências, possíveis através de antenas de setorização no *HUB*. Mini-células são estrategicamente posicionadas para servir centros de alta densidade de assinantes. Como as mini-células estão normalmente dentro da cobertura das super-células, elas precisam utilizar frequências diferentes do que as da super-células para evitar interferências, e este compartilhamento de banda não restringe a taxa de acesso dos assinantes individuais.

6. Formato de vídeo digital

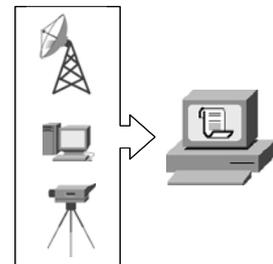
6.1. Introdução

Já foi explicado anteriormente como é feita a conversão analógica para digital do vídeo. Nesse capítulo serão abordadas as tecnologias que atualmente disputam o posto de padrão a ser adotado nos diversos tipos de mídia num futuro breve, assim como aconteceu com o padrão MPEG-2, largamente usado nos dias de hoje.

Existe atualmente uma grande diversidade de codificadores de formato de vídeo digital atualmente, cada um com características próprias, alguns levando vantagens em certos pontos enquanto têm desvantagens em outros. Portanto fica a cargo da pessoa ou da operadora definir qual padrão se adapta melhor de acordo com as suas necessidades. Para as operadoras, devem ser levados em conta fatores como recursos, tanto do lado da operadora como do cliente (set-top-box por exemplo), banda disponível para transmissão, qualidade do vídeo, custo, etc.

O processo de produção do vídeo no geral é similar para todos os formatos. Constitui basicamente as seguintes etapas:

- **Captura:** o vídeo é capturado de algum tipo de fonte, tais como de um receptor, câmera, VHS, DVD ou até mesmo do próprio PC, como, por exemplo, uma animação em Flash ou uma apresentação em PowerPoint. O vídeo é então salvo (em alguns casos já vêm no formato) como AVI ou DV, sendo que estes formatos são os formatos brutos, sem compressão.



- **Codificação:** o vídeo capturado recebe um tratamento para ser comprimido produzindo então o vídeo num tamanho aceitável para ser



transmitido, entrando aqui a figura do codec que será visto mais a frente neste capítulo. Dependendo do que se quer com o vídeo, os Codecs dispõem de várias opções diferentes para otimizar a compressão.

- **Streaming:** Depois do vídeo estar num tamanho suficiente para ser transmitido, ele é disponibilizado num servidor que será acessado por algum aplicativo no computador do usuário, ou então através de um *set-top-box*. Ao iniciar o acesso do conteúdo, será enviada uma requisição de download em tempo real do vídeo especificado, técnica conhecida como *streaming*.



Nesse capítulo serão analisados três dos principais codecs utilizados atualmente: Windows Media 9 Series, DIVX e MPEG-4. Primeiramente será feita uma abordagem teórica a respeito destes, para termos idéia do que esperar quando fizermos os testes práticos de compactação. Na prática, a análise será feita tendo em vista fatores como, por exemplo, tamanho do arquivo, qualidade e tempo de codificação.

6.2. CODEC

A palavra codec é uma sigla resultante das palavras *COmpress* e *DECompress*, e para resumir o que é um codec pode-se dizer que são algoritmos responsáveis por comprimir o conteúdo de áudio e vídeo ao máximo, sempre tendo como objetivo evitar a perda de qualidade. E porque comprimir? A quantidade de dados gerados por uma fonte de vídeo ou de áudio é muito alta, o que torna inviável armazenar ou trafegar estes numa rede onde grande parte dos usuários possui uma conexão lenta para esses tamanhos altíssimos de arquivos. Mesmo com uma conexão rápida, os tamanhos dos arquivos sem compressão são inviáveis para transmissão. A compressão é feita então para diminuir o tamanho do arquivo, para que se use o mínimo de largura de banda para trafegar os dados, e a descompressão é feita quando o usuário deseja ver o conteúdo desses dados. E ao contrário dos compactadores de arquivos, como por exemplo, o Winzip e o RAR, a descompressão é feita em tempo real, ou seja, não é preciso descompactar o arquivo antes de poder utilizá-lo.

Um codec pode realizar suas funções tanto através de software como através de hardware. Existem vários tipos diferentes de codecs, cada um com suas próprias técnicas, vantagens e desvantagens. Podemos ter um codec que faz um arquivo pequeno, mas com qualidade ruim, enquanto outro faz um pequeno com qualidade boa, mas consome muito processamento para decodificar. Portanto é preciso analisar a situação, o ambiente no qual o vídeo será inserido e ver qual tecnologia se encaixa melhor.

6.2.1. Windows Media

O formato Windows Media da Microsoft é relativamente novo nessa briga por definir um novo padrão de vídeo digital, vindo para substituir a arquitetura AVI dela que não era voltada para fazer *streaming*.



No princípio o foco do Windows Media era fazer *streaming* pela *Web*, mas foi visto um potencial para arquivos de alta qualidade. Então a Microsoft utilizou seus recursos na popularização desse formato, fornecendo soluções completas para os mais diferentes casos para fornecer vídeo e áudio. Várias empresas já estão fechando acordos com a Microsoft para usar o Windows media, utilizando o padrão proprietário dela de servidor de *streaming*, o Windows Media Server com o protocolo MMS (*Microsoft Media Server*) ou então MSDB (*Microsoft Database*), acessando o vídeo num banco de dados *SQL Server*. Esse servidor vem no Windows 2000 Server, podendo ser configurado de acordo com a necessidade, como por exemplo, se vai ser usado para fazer *Video-on-Demand* ou *Webcast*.

Segundo a Microsoft é possível obter uma qualidade próxima de DVD, em tela cheia com uma taxa de 700 Kbps, e qualidade de VHS também em tela cheia, com uma taxa de 400 Kbps. O Windows Media tem a capacidade de fazer *streaming* de diferentes versões de um vídeo para o usuário dependendo da banda disponível. Esta tecnologia ficou conhecida como *intelligent streaming*. Nela é possível colocar até cinco vídeos codificados com taxas diferentes e armazenados em um único arquivo de vídeo com a extensão .asf. Para determinar qual é a melhor versão é realizada uma comunicação entre o Windows Media Player, a velocidade da conexão do usuário, um *metafile* (arquivo com extensão .asx que descreve e especifica arquivos que serão tocados ou

passados no aplicativo) no servidor *Web* e o Windows Media Server. Mas esse acerto de qual taxa mandar o vídeo é feito apenas na sincronização inicial. Se por um acaso ocorrer um congestionamento na rede, o Windows Media não modifica dinamicamente a taxa. Em condições de lentidão, começarão a ser descartados alguns *frames* para que o vídeo não congele, mas em casos extremos o vídeo fica congelado dando prioridade para o áudio.

Como já dito, o Windows Media pode conter até 5 vídeos, mas com relação ao áudio pode conter apenas uma faixa, ou seja, independente da banda disponível será a mesma faixa de áudio. Um usuário com um *link* de 1 Mbps ouvirá o áudio com a mesma qualidade que um usuário com um modem de 56 Kbps

Como forma de acessar o conteúdo, este pode ser feito através de uma rede privada ou através da Internet. A vantagem da rede privada é que fica mais fácil fornecer a garantia de QoS⁶. Para o usuário final acessar o conteúdo existem duas opções: através do seu computador, precisando apenas instalar um software, no caso o Windows Media Player, ou então na sua televisão, usando um *set-top-box* pronto para receber IP e decodificar o vídeo. A Microsoft em parceria com outras empresas já está fabricando *set-top-boxes* com Windows Ce e XP integrados.

Com relação à licença, a Microsoft oferece preços bem mais baixos, contratos com maior duração e menos restrições que os concorrentes, como por exemplo o MPEG-4. A licença pode ser adquirida de várias formas de acordo com o meio desejado para acesso ao conteúdo (celular, pocketPC, DVD, etc). A Microsoft oferece também o DRM (*Digital Rights Management*), para evitar a pirataria on-line garantindo integridade para filmes e músicas.

A Tandberg Television recentemente lançou sua solução de TV sobre IP utilizando Windows Media. Em agosto de 2003 eles lançaram o EN5920, que é um *appliance* que deve ser montado num *rack*. Então se pega o sinal vindo de uma emissora, liga-se neste dispositivo e tem na saída o vídeo codificado em Windows Media. Do lado do usuário, em suas casas, é possível receber o vídeo na TV, pois fabricantes já estão desenvolvendo *set-top-boxes*, como, por exemplo, a Pace Micro, que é uma empresa

⁶ QoS (Quality of Service) - é fazer a análise do uso da banda para melhor implementá-la em determinadas situações (como em transmissões de vídeo, por exemplo) visando dar maior prioridade de acesso de acordo com a necessidade e uso da rede local garantindo a entrega do conteúdo.

líder na fabricação de chips para set-top-boxes, está lançando sua série de chips baseados em Windows Media.

6.2.2. Divx

O Codec Divx na sua versão 3 era baseado no Codec da Microsoft MPEG-4 V3. Na verdade o código da Microsoft foi hackeado. A razão pela qual ele foi hackeado e distribuído de graça era porque o Codec da Microsoft não permitia codificação em avi para poder rodar em outros sistemas além do Windows (o Codec só podia encapsular o vídeo para .asf/.wmv e rodar no Windows Media Player em plataforma Windows).



Na versão 4 do Divx os desenvolvedores do Codec saíram da ilegalidade criando uma arquitetura própria e reescrevendo todo o código. Porém apresentou-se inferior a versão 3, pois o novo esquema de codificação ainda estava em desenvolvimento. Mas finalmente amadureceu em sua versão 5, apresentando um grande avanço em relação à versão anterior. Esse avanço fez com que eles passassem a oferecer também uma versão paga, mas ainda oferecem um versão *free* baseada em *adware/spyware*⁷.

Nessa versão mais atual fornece suporte para implantação em hardware, fazendo com que possa ser portado para diversas tecnologias diferentes. Essa portabilidade atende por *Divx Certified Profiles*. Tendo um esquema de certificação uma empresa pode criar produtos "*Divx Certified*", que serão totalmente compatíveis com a toda linha de vídeos Divx. Existem quatro categorias diferentes de certificação de produtos Divx:

- **Handheld:** este *profile* codifica o vídeo a baixas taxas e baixas resoluções de forma que possa ser visto em aparelhos tais como celulares e relógios.



⁷ Adware/spyware - São programas suportados por banners, assim como sites. São gratuitos enquanto o banner estiver rodando no programa. Costumam ser intrusivos, principalmente com relação a pop-ups que aparecem o tempo todo na tela.

- **Portable:** este *profile* codifica o vídeo com qualidade suficiente para ser visto em dispositivos portáteis tais como *palmtops* e pequenos *players* habilitados para tocarem vídeo.



- **Home Theater:** este *profile* codifica o vídeo de forma que o usuário possa assistir a vídeos com alta qualidade na sua TV, vindo de aparelhos como DVDs, *set-top-boxes* e até mesmo videogames.



- **High Definition:** este *profile* codifica o vídeo com alta qualidade priorizando a visualização em HDTV, porém serve também para qualquer dispositivo que exija alta definição de imagem e som.



É possível então codificar o vídeo facilmente escolhendo um desses quatro níveis de codificação, para assegurar que o vídeo passará com a qualidade desejada no produto especificado.

O Divx já vem ganhando espaço há algum tempo, e vários *sites* tem usado como padrão para fazer *streaming*, como por exemplo Ziavideo e Vanguard-Cinema, além do Greencine que oferece serviço de VOD pela *Web* com vídeos codificados com Divx.. E não é só na *Web* que o Divx vem ganhando espaço, em produtos com tecnologia de ponta também, como, por exemplo, o Archos Jukebox Multimedia 20 da empresa francesa Archos, que usa Divx como tecnologia para tocar vídeos. A Chatstack, empresa australiana, usa o Divx para codificar transmissões de videoconferência.

Em outubro de 2002 foi lançado o primeiro DVD *player* compatível com Divx, o DP-450 de uma fabricante de nome de DVD *players*, a KiSS Technology, podendo tocar vídeos Divx codificados nas versões 4 e 5.

Uma grande fabricante de chips para DVDs, a ESS, firmou parceria em janeiro de 2003 para desenvolver produtos baseados em Divx. Em agosto de 2003 a Philips lançou o DVD 737, que oferece suporte a Divx nas versões 3, 4 e 5. Como último exemplo de empresa que também optou em por o Divx dentro do DVD *player* temos a Technosonic

com seu MP-101. Podemos ver que o Divx se tornou um padrão sério, e tem sido cada vez mais considerado por grandes empresas, como a Texas Instruments, GE, Intervideo, etc.

Um diferencial do Divx sobre os concorrentes esta na forma como é licenciado. Trabalha com quatro tipos de licença:

- **Personal:** para o usuário que apenas quer codificar seus vídeos em casa, sem nenhum intuito de ganhar dinheiro, o Divx pode ser usado de graça, sem nenhum custo.
- **Commercial:** qualquer outro uso para o Divx além do uso pessoal poderá se encaixar nessa categoria. Portanto se há pretensão de codificar vídeos para serem vendidos, ou de alguma forma é preciso pagar para ter acesso aos vídeos. Essa taxa pode variar de acordo com o uso do Codec, e de alguns outros fatores como por exemplo o tamanho da empresa.
- **Indies:** uma das duas exceções para o uso comercial é para o uso do Divx para divulgação em produções independentes. Muitas vezes essas produções dispõem de baixo orçamento, e foi então criada uma forma de licenciamento para essas produções que pode ser de até zero dependendo do caso.
- **Magazines:** a outra exceção é para revistas. Ultimamente com o barateamento da mídia do CD varias revistas tem vindo com CDs junto, contendo música ou vídeo. Caso queiram usar o Divx para codificar os vídeos, devem seguir algumas regras de licença especifica para esse caso.

O Divx também possui uma solução de DRM para evitar pirataria.

6.2.3. MPEG-4

O MPEG-4 é o mais novo padrão de compressão desenvolvido pelo grupo MPEG⁸. Esse novo padrão teve vários atrasos para começar a ser implementado devido a problemas com a definição de como seriam as licenças, fazendo com que a arquitetura do padrão se tornasse um pouco desatualizado frente a outras tecnologias, pois quando o padrão já havia sido aceito por órgãos reguladores, no caso a ISO - *International Organization for Standardization*. A primeira versão do MPEG-4 foi lançada em 1999, porem seu esquema de licenças só foi ficar pronto quase no final de 2002. Claro que isso não impediu de que o MPEG-4 evoluísse, mas deu margem para o aparecimento de codecs com uma arquitetura muito boa fazendo frente, e as vezes apresentando melhores resultados que o MPEG-4. Mas mesmo depois dos valores das licenças definidos, muitas empresas acharam os valores altos, comparados com a concorrência.

A princípio o foco do MPEG-4 era a *Web* e videoconferência, e não transmissões broadcast, portanto apresentaria melhor eficiência, mais qualidade quando codificado a baixas taxas (até 200 kbps). Mas houve grande desenvolvimento e atualmente existem especificações onde é possível portar para DVDs, TV digital, HDTV, Cinema Digital, equipamentos portáteis, etc. O MPEG-4 parece ter um grande potencial, mas quase nada desse potencial ainda foi explorado.

Um dos diferenciais do MPEG-4 é que ele não é apenas um Codec, ele é um *container*⁹, podendo ser inseridos então diversas ferramentas resultando em grande interatividade. Um outro diferencial é que ele tem o padrão aberto, ou seja, não está amarrado a um formato proprietário, ao contrario do Windows Media, por exemplo. Dessa forma a compatibilidade entre os produtos de diferentes fabricantes não terão muitos problemas de compatibilidade.

O MPEG e o ITU-T se juntaram e formaram a JVT - *Joint Video Team*, e juntos vêm desenvolvendo o AVC – *Advanced Video Coding*, também conhecido por MPEG-4 part 10 ou H.264. É uma evolução no MPEG-4, provendo uma maior eficiência na codificação

⁸ Grupo MPEG - fundado em 1988, o grupo MPEG foi responsável pelo MPEG-1 usado em Video CDs e no famoso MP3, além do MPEG-2 para DVD e transmissão de TV Digital.

⁹ Container – significa um envoltório para o vídeo codificado, podendo ser incluídas outras funcionalidades. Não define uma codificação exclusiva.

através um complexo sistema de predição, ajudando a aumentar a qualidade da imagem. Isto vai ter um preço, especialmente no que se refere à informação de que esse MPEG-4 part 10 não será compatível com o atual MPEG-4 (part 2). Caso isso seja verdade, os vídeos codificados nesse novo padrão não tocarão em aparelhos feitos no padrão antigo. Outro problema são os recursos de máquina. O MPEG-4 part 10 vai exigir muito mais processamento devido a sua grande complexidade. Ainda não existe uma versão final, mas talvez até lá o código seja otimizado.

A popularidade do MPEG-4 não é das melhores, apesar de especialistas preverem uma migração natural de quem já usa o MPEG-2 para o MPEG-4. Rob Koenen, presidente do MPEG4 Industry Forum disse que o grupo DVB de TV Digital quer migrar direto para o MPEG-4.

A empresa que mais está apostando no MPEG-4 atualmente é a Apple, com o Quicktime 6. Eles soltaram a versão antes mesmo de serem definidas as regras de licença em um acordo junto ao MPEG LA (grupo responsável pelo licenciamento do MPEG-4). Outra empresa que também está apostando nesse padrão é a Packetvideo, que utiliza MPEG-4 para codificar vídeos de música para serem transmitidos e assistidos em celulares e handhelds. A Envivio fornece serviços de TV por IP para banda larga e algumas ferramentas para ambientes interativos usando o MPEG-4 como padrão.

6.3. Testes práticos

Foram utilizados dois tipos de vídeos diferentes, sendo o primeiro uma filmagem de arquivo pessoal sobre a abertura de uma reunião em Nova York. O segundo foram utilizados os três primeiros minutos do filme “O dia dos mortos” (1985, de George A. Romero).

O interesse pelo primeiro vídeo, que iremos referenciar como “ESTATICO” (estático.avi) é que este possui poucos movimentos, aonde existe somente uma pessoa discursando, assim como um jornal ou um programa de televisão do estilo *talk-show*. O vídeo “FILME” (filme.avi) possui cenas estáticas e outras de movimento, onde podemos ver como o Codec irá se comportar com mudanças bruscas de quadros, com grandes variações de imagens.

O vídeo ESTATICO foi extraído de uma câmera Sony DV, e assim foi gravado no computador sem nenhuma compressão, mantendo o formato DV (NTSC – 720x480 x 29.97 fps) e tem a duração de um minuto. O vídeo FILME foi extraído de um DVD também em formato NTSC, porém em codificação de vídeo MPEG-2 e de áudio AC3 e tem a duração de 3 minutos.

6.3.1. Metodologia

Os CODECS apropriados estão listados na tabela abaixo para fazer as codificações. Em todos os casos, criamos vídeos em três diferentes bitrates – 780 Kbps, 1000 Kbps e 1400 Kbps.

Em todos os casos, foi mantida a qualidade do áudio em 64 Kbps e 48 MHz (CBR).

Para realizar as codificações, foram utilizados softwares específicos para cada um dos codecs, listados abaixo:

- **MPEG-4:** Adobe Premiere 6.5 (www.adobe.com/premiere)
- **Windows Media:** Microsoft Windows Media Series 9 Encoder (www.microsoft.com/windowsmedia)
- **Divx:** Dr. DivX (www.divx.com)

Dentre as opções de codificação, podemos utilizar dois tipos básicos: CBR (*Constant bitrate*) ou VBR (*Variable bitrate*). As características de cada opção estão descritas abaixo:

- **Constant bitrate:** O CBR foi desenvolvido para trabalhar mais eficientemente em uma situação de *streaming*. Com a codificação CBR, a taxa de bits permanece praticamente constante e próxima à taxa escolhida durante todo o *stream*, dentro de uma pequena janela de tempo definido pelo tamanho do buffer. A desvantagem da codificação CBR é que a qualidade do conteúdo codificado não é constante. Porque alguns pedaços do conteúdo são mais difíceis de comprimir do que outros, algumas partes do *stream* CBR são de menor qualidade do que outras. Além disso, a codificação CBR resulta em uma qualidade inconsistente de um vídeo para outro. De forma geral, as variações de qualidades são mais visíveis em baixas taxas de bits.
- **Variable bitrate:** É usada a codificação VBR quando se pretende distribuir o conteúdo para *download* e ser reproduzido localmente ou num dispositivo que contém uma velocidade de leitura restrita, como reprodutores de CD ou DVD. A codificação VBR é mais vantajosa quando o conteúdo a ser codificado é uma mistura de dados simples e complexos, como por exemplo, um vídeo que alterne entre cenas lentas e rápidas. Com a codificação VBR, menos bits são automaticamente alocados para as porções menos complexas do conteúdo, deixando bits suficientes disponíveis para produzir uma boa qualidade para as porções mais complexas. Quando usado com conteúdo misto, a codificação VBR produz uma qualidade muito melhor, dando o mesmo tamanho de arquivo, comparado com a codificação CBR.

É possível em alguns codecs, fazer a codificação em uma ou duas passadas, tanto em CBR como em VBR. Com uma passada, o conteúdo passa através do codificador uma única vez, e a compressão é aplicada à medida que o conteúdo é processado. Com a codificação em duas-passadas, o conteúdo é analisado durante a primeira passada, e então codificado na segunda passada baseada nos dados coletados na primeira passada. A codificação em duas passadas pode resultar em melhor qualidade porque o

codificador pode calcular a combinação ótima de taxa de bits, taxa de *frames*, tamanho do buffer e qualidade de imagem baseado na composição das cenas. Entretanto, a codificação em duas passadas leva mais tempo pois o codificador processa todo o conteúdo duas vezes.

A codificação em duas passadas não é disponível quando quer-se fazer a codificação de um vídeo transmitido em tempo real.

6.3.2. Equipamento utilizado

Para todas as codificações, foi utilizado o mesmo equipamento para poder manter corretamente a comparação de tempo de codificação e processamento. O equipamento é um Intel Pentium IV 1.7MHz com 512MB de memória, utilizando o sistema operacional Windows XP.

A filmadora DV é o modelo TRV-140 da Sony, utilizando sua saída IEEE 1394 para transmissão do vídeo digital em formato DV para o computador, e este recebendo o sinal por uma placa de captura de vídeo LeaderShip Firewire. Esta placa de captura não possui nenhum componente de processamento de vídeo por hardware, enviando o vídeo para os softwares da mesma forma como é recebido da filmadora.

6.3.3. Tempo de codificação

Cada uma das codificações levou um determinado tempo diferente para concluir seu processamento. A tabela abaixo mostra o tempo de cada codificação em determinados *bitrates*.

ESTATICO	MPEG-4 (CBR-1) (WMA)	Windows Media (VBR-2)	Divx (VBR-2)
780kbps	1:30	8:32	3:20
1000kbps	1:55	8:32	3:50
1400kbps	2:00	8:55	4:15

Tabela 3 - Tempo de codificação - ESTATICO

Tempo de Codificação (ESTATICO)

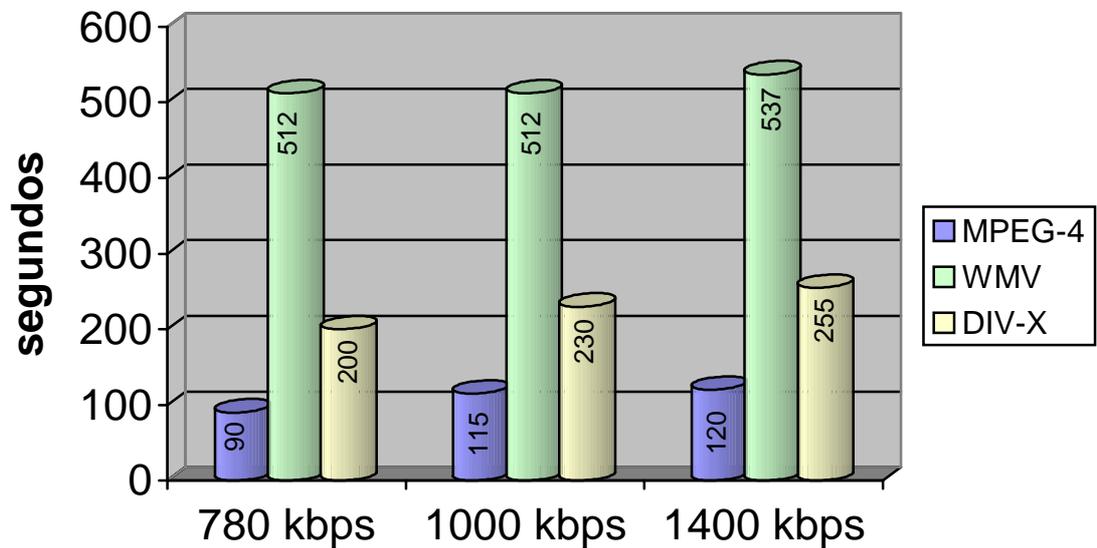


Figura 17 - Tempo de codificação - ESTATICO

FILME	MPEG-4 (CBR-1) (WMA)	Windows Media (VBR-2)	Divx (VBR-2)
780kbps	5:40	17:27	7:49
1000kbps	5:43	17:34	7:56
1400kbps	5:55	18:30	8:22

Tabela 4 - Tempo de codificação - FILME

Tempo de Codificação (FILME)

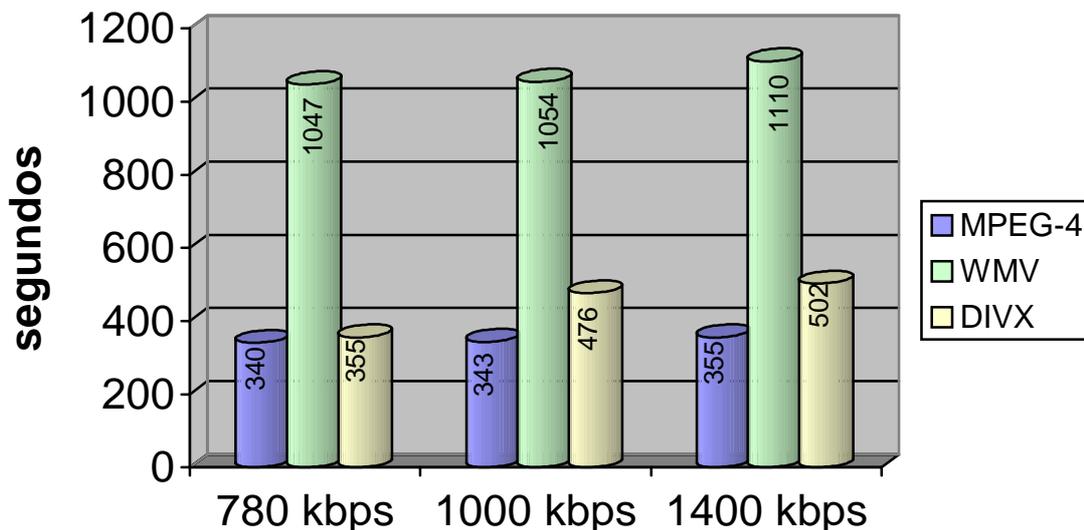


Figura 18 - Tempo de codificação – FILME

Como a tabela mostra, o tempo de codificação do Windows Media foi mais longo que todos os outros, mesmo tendo o DIVX também realizando sua codificação em 2 passadas.

No caso de realizar a codificação para armazenar o arquivo digital do vídeo para ser transmitido no futuro, como por exemplo, em um serviço de *Video-on-Demand*, o fator

tempo não é determinante, já que tal pressa não existe. Porém para se transmitir um vídeo ao vivo, é preciso seriamente de uma compressão rápida. Neste caso configura-se o codec para utilizar-se da codificação em uma passada somente, o que aumenta a velocidade consideravelmente. O peso disso é que não poderá ser usado o VBR, pois este depende de duas passadas, tendo então o CBR, ou seja, teremos perda de qualidade, comparado com as duas passadas.

Foi realizado um teste também no estúdio da Mais TV em Brasília, para verificar o comportamento de vídeo em tempo real. Para realizar a codificação em tempo real, só pode ser usada uma passada. Nos testes verificou-se um atraso de 17 segundos desde o momento da codificação em uma passada de um vídeo ao vivo e transmiti-la numa rede *fast-ethernet*. Este tempo de 17 segundos é efeito da capacidade de processamento da máquina utilizada e bufferização. Com melhores equipamentos, mais poderosos, e alguns ajustes na configuração dos *players*, este tempo irá reduzir para algo que seja desconsiderado na maioria dos casos práticos.

6.3.4. Tamanho de arquivo

Calculou-se o tamanho de cada um dos arquivos codificados para efeito de comparação. O tamanho dos arquivos é de grande importância neste estudo já que os vídeos, quanto menor for o tamanho de arquivo, mais rápida e menos custosa será sua transferência por uma rede e também menor será o custo de armazenamento do mesmo no head-end.

Segue abaixo as tabelas de comparação dos tamanhos dos arquivos codificados:

ESTÁTICO (KB) Original: 218.736	MPEG-4 (CBR-1) (WMA)	Windows Media (VBR-2)	Divx (VBR-2)
780kbps	5.785	6.332	6.278
1000kbps	7.418	8.051	7.891
1400kbps	10.371	11.122	10.821

Tabela 5 - Tamanho de arquivo - ESTÁTICO

Tamanho do Arquivo (ESTÁTICO)

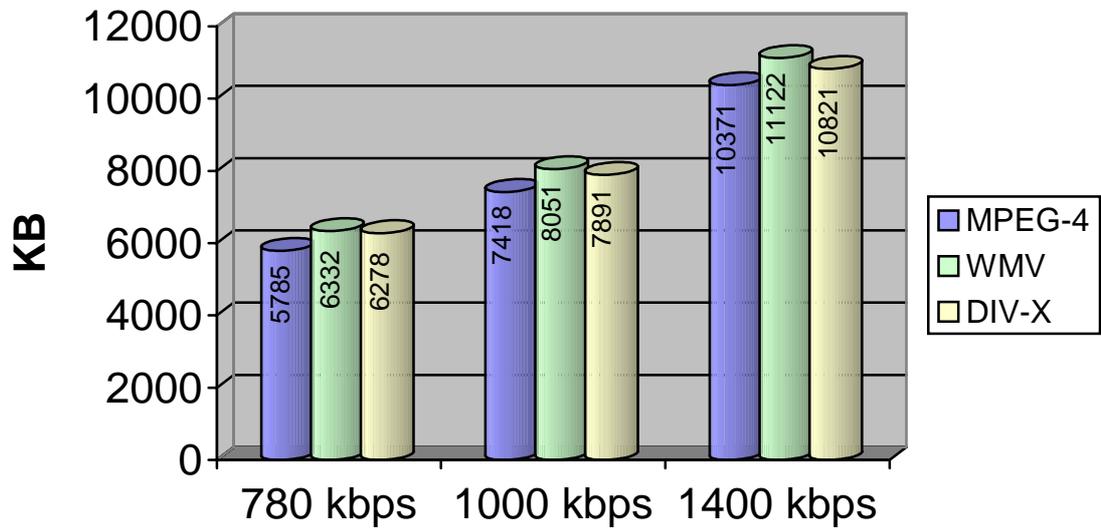


Figura 19 - Tamanho de arquivo - ESTÁTICO

FILME (KB) Original: 109.760	MPEG-4 (CBR-1) (WMA)	Windows Media (VBR-2)	Divx (VBR-2)
780kbps	18.879	19.441	18.473
1000kbps	23.551	24.622	23.210
1400kbps	32.075	33.551	31.806

Tabela 6 - Tamanho de arquivo - FILME

Tamanho do Arquivo (FILME)

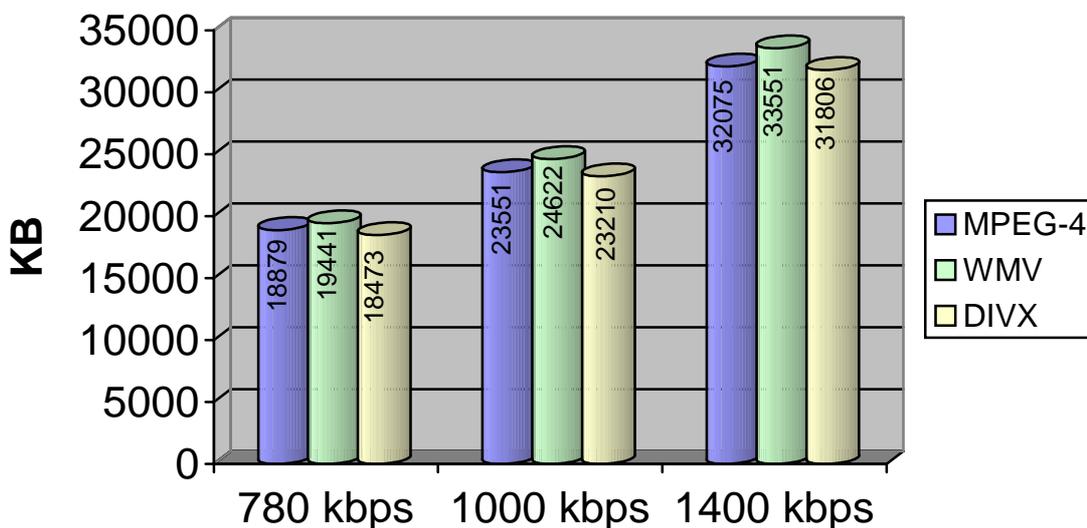


Figura 20 - Tamanho de arquivo - FILME

Pelas informações obtidas com os testes, o Divx obteve o menor tamanho de arquivo no padrão de vídeo estilo FILME, seguido pelo MPEG-4 e finalmente o Windows Media. No tipo de vídeo ESTATICO, houve uma alteração de lugares entre o MPEG-4, que obteve o menor tamanho, seguido pelo DIVX e então o Windows Media.

Notou-se assim que o padrão MPEG-4 tem vantagens em relação ao seu tamanho de arquivo quando utilizarmos vídeos mais estáticos, e assim sendo, o padrão DIVX é melhor para ser utilizado com o tipo FILME, que é bastante comum nas programações da televisão atual.

Embora tenha existido esta diferença de tamanhos de arquivos, notamos também ela é bastante pequena entre os padrões, fazendo talvez não ter um peso muito grande na definição do padrão para transmissão digital.

6.3.5. Processamento para reprodução

Considerou-se também o custo de processamento para realizar cada uma das decodificações dos vídeos.

Abaixo temos a visão do aplicativo TASK MANAGER do Windows XP, executados todos da mesma forma com o mesmo equipamento utilizado para realizar as codificações, que foi descrito acima anteriormente.

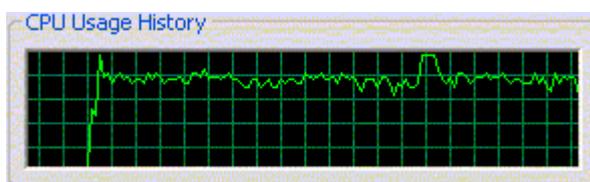


Figura 21 - Processamento - DivX

Média de 78% de utilização do processador

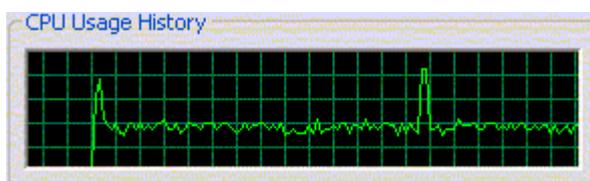


Figura 22 - Processamento - MPEG-4

Média de 38% de utilização do processador

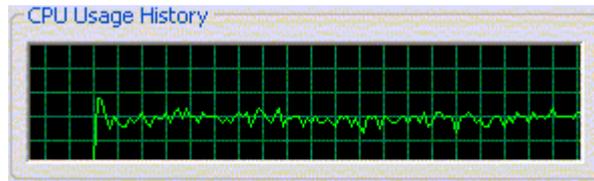


Figura 23 - Processamento - Windows Media 9

Média de 40% de utilização do processador

Processamento (%)

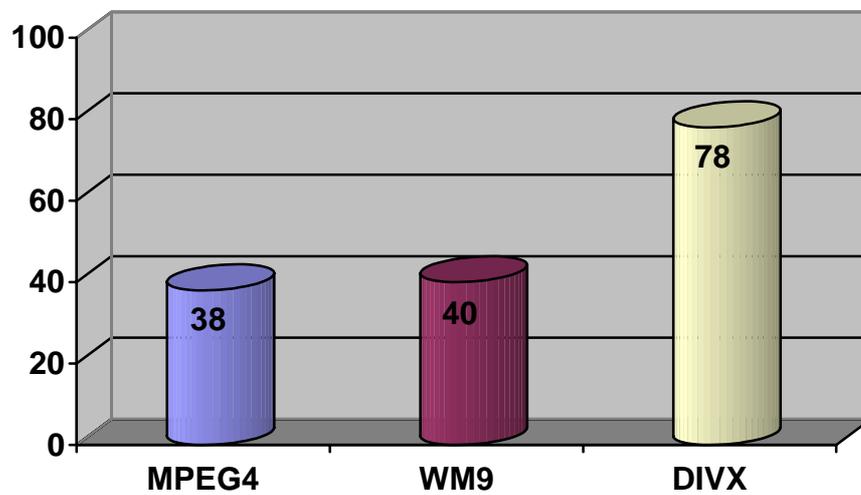


Figura 24 - Comparativo de custos de processamento do codificadores

Pode-se notar que o MPEG-4 obteve o menor custo de processamento para decodificar o vídeo, porém a diferença para o Windows Media 9 é baixa (2%), o que faz com que esta vantagem do MPEG-4 não seja suficiente para que ele se torna uma boa opção de vídeo. O Divx porém ressalta um problema em potencial com sua alta utilização de processamento (em torno de 78% do processador).

6.3.6. Qualidade Visual

Para poder comparar a qualidade de cada codificação, utilizamos um aparelho de televisão da SONY, modelo TRINITRON 15 polegadas. Os vídeos foram reproduzidos no computador e transmitidos para a televisão pela saída RCA da placa de vídeo do computador. Para fazer os testes com algo perto de uma HDTV foi adotado o próprio monitor do PC, pois ele pode atingir até resoluções de 1280x1024, enquanto que a de uma HDTV é de 1920x1080.

Os testes de comparação foram feitos sensorialmente pelos desenvolvedores deste projeto e por membros da equipe técnica da Mais TV, em seu laboratório.

A opinião de todos envolvidos foi de que a melhor apresentação foi da codificação em Windows Media, seguida pela DIVX e finalmente a MPEG-4.

O teste foi feito, como dito anteriormente, em um equipamento de televisão de 15 polegadas. Era desejado fazer o mesmo teste em equipamentos maiores para que pudesse ser observado detalhe das codificações mais precisamente, porém não foi possível realizar tais experimentos por falta de equipamento para tal.

6.3.7. Escolha do codec

Considerando todas os fatores estudados, o padrão Windows Media apresentou a melhor solução para a transmissão digital, embora tenha o maior tempo de codificação (o que já foi comentado e explicado anteriormente) e o maior tamanho de arquivo.

Isto é baseado no fato que priorizamos a qualidade do vídeo a ser assistido pelo usuário final em sua residência, mantendo os outros fatores, como tamanho de arquivo e tempo de codificação com um peso de comparação menor.

Embora todos os padrões sejam muito parecidos, o Windows Media dispõe de um outro fator positivo que é ser propriedade da Microsoft. Isso favorece o desenvolvimento de produtor voltados à esta tecnologia além de sua enorme base financeira no apoio ao desenvolvimento da mesma e de sua utilização de grandes escalas.

O padrão MPEG-4 ainda está se regularizando com relação às suas licenças e até mesmo com relação ao seu desenvolvimento para obter melhores qualidades. O Divx

tem um grande problema que por enquanto é a falta de suporte de empresas que fazem equipamentos para *broadcast* não estarem atenção à este codec.

7. Visualização

Na ponta final do broadcast existe o usuário acessando de alguma forma o vídeo. As formas possíveis de se fazer isso atualmente é ligando o cabo de sinal direto na TV, no caso das transmissões terrestres abertas, ou então utilizando um *set-top-box* para realizar a decodificação do sinal no caso de TV paga.

Sendo a transmissão feita por IP, pode-se adicionar mais uma forma de visualização, que é direto no próprio computador.

Quando se fala de modificar a codificação do sinal, será preciso também uma mudança aonde o sinal é decodificado, ou seja, pode ser tanto no *set-top-box* do usuário como num software no PC. Não se pode deixar de fora também as operadoras, que precisarão adequar os equipamentos no *head-end* (encoders/decoders) para usar os novos codecs. Esses equipamentos já existem e estão a venda.

7.1. *Set-top-box*

O *set-top-box* é um equipamento necessário para receber o sinal da operadora e decodificá-lo em sinais de vídeo e áudio para serem vistos na TV. No caso de IP é necessário realizar uma implementação nos chips destes equipamentos para que seja possível assistir a vídeo codificado em Windows Media 9, MPEG-4 ou Divx. Como essa mudança para um novo padrão de codificação digital já é certa, várias empresas fabricantes de *set-top-boxes* e chips para estes vem trabalhando de forma que sejam compatíveis com esses novos padrões.

Essa nova geração de *set-top-boxes* possuirá muito mais recursos, associados a uma nova demanda por entretenimento que vai além de simplesmente sintonizar canais na TV. Além do esquema básico de poder receber os canais de TV, será possível comprar e assistir filmes na hora que quiser, gravar programas no próprio equipamento (grande partes deles estão vindo com HDs, além de já se falar na possibilidade de utilizar CD-RW/DVD-RW para armazenamento), serviços de e-mail e mensagem instantânea, entretenimento sobre demanda (vídeo, musica e até mesmo jogos), comércio eletrônico, entre outros, podendo existir até mesmo serviços de vigilância da casa (como provido pelas empresas Tcom&dtvro e Samsung).

Em setembro de 2002, na IBC2002¹⁰, a Microsoft anunciou que empresas líderes na fabricação de *set-top-boxes* e chips estariam dando suporte ao Windows Media 9 Series. Tim Fern, diretor de tecnologia da Pace Micro disse o seguinte a respeito dessa implantação: “O *Windows Media 9* é um grande passo em direção a evolução de *TV Digital*, especialmente para empresas que fornecem acesso em banda larga”. A Texas Instruments foi a primeira empresa a demonstrar codificação de Windows Media direto num chip, ou seja, a codificação não foi feita por software, e sim por hardware. Fazer a codificação/decodificação em chips fez com que novas possibilidades fossem abertas em se tratando de oferecer serviços através de redes de banda larga IP. Algumas das empresas que estão criando chips com suporte a Windows Media são a Equator Technologies (que fornece chips para a Pace Micro), National Semiconductor (que faz chips para a Pioneer), Sigma Designs (que faz chips para os *set-top-boxes* da Fujitsu e Samsung, entre outros), STMicroeletronics (chips para a família de *set-top-boxes* da OMEGA) e Texas Instruments entre outras.



Figura 25 - Exemplos de set-top-boxes. Acima o IP440 da Pace Micro, e abaixo o ACTIVITY 300 da Fujitsu

Em novembro de 2002 a Sigma Designs anunciou também estar fabricando chips capazes de decodificar MPEG-4, o modelo do chip é o EM8550, e suporta tanto MPEG-4 quanto Divx. Algumas diferenças podem ser fundamentais em se escolhendo MPEG-4 ou Divx ao invés do Windows Media. Optando por algum dos dois, estará sendo eliminando qualquer vínculo com a Microsoft e a necessidade do uso de algum tipo de

¹⁰ IBC – evento existente desde 1967 onde são mostradas várias tecnologias relacionadas a *broadcast*.

sistema Windows no *set-top-box*, podendo baratear o custo final. A Zao Networks tem um *set-top-box* no mercado, o ZN highway 101a, que é baseado em Linux. Uma empresa japonesa, a Advanced Communications baseou seu *set-top-box*, o modelo eccle5000, no Linux da MontaVista, que é uma distribuidora de Linux voltada para o mercado de broadcast. Esse *set-top-box* por enquanto é o único que suporta Divx.



Figura 26 - Acima temos o chip EM8550 da Sigma Designs, junto com o AveL LinkPlayer, da I-O Data, que usa o em8550. Abaixo temos o eccle5000, com Linux embutido

Deixemos claro também que pelo fato dos novos *set-top-boxes* estarem aptos a trabalhar com os novos codecs, não elimina a possibilidade deles trabalharem com o MPEG-2.

7.2. Softwares

A visualização de vídeo no PC é um pouco mais simples, não sendo necessário a adição de novas placas, nem qualquer troca de hardware (desde que o PC seja o mínimo necessário para conseguir exibir vídeo e trabalhar com acesso a banda larga). No PC, basta apenas ter um software, o *player*, compatível com o codec desejado e pronto, ele já está apto a receber e exibir o vídeo transmitido sobre IP.

O player mais popular atualmente é o Windows Media Player. Sua popularidade se deve tanto ao fato de já vir pronto para ser usado com a série de sistemas operacionais Microsoft Windows quanto pelo fato dele oferecer suporte para diferentes codecs.



Figura 28 - Interface do Divx player

O melhor player para exibir vídeos no formato MPEG-4 atualmente é o Quicktime 6, da Apple. Oferece suporte nativo a arquivos codificados nesse padrão, além de ser o único que interpreta o formato MP4, uma codificação própria do Quicktime usando MPEG-4.



Figura 29 - Interface do Quicktime

7.3. Soluções para operadoras

Grandes fabricantes de equipamentos já estão com seus produtos disponíveis também para as operadoras poderem receber os sinais das emissoras nos novos padrões bem como também codificá-los para enviar para os usuários. A Tandberg, com ajuda dos engenheiros da Microsoft, desenvolveu EN5920, que é capaz de codificar Windows Media em tempo real. Ele pode transmitir também o MPEG-2, sendo ideal para testar a transição para esse novo sistema.

Ele funciona recebendo o vídeo em MPEG-2 e então o codifica no formato Windows Media 9. Canais codificados ao vivo são enviados via IP em multicast para os usuários.



Figura 30 - EN5920 da Tandberg

A Thomson, que fornece soluções para broadcast e profissionais na área de TV, desenvolveu uma nova plataforma para enviar vídeo através de redes de banda larga, chamada de Cobra. Baseado na arquitetura Intel, suporta a codificação nos formatos MPEG-2, MPEG-4 e Windows Media 9. A Thomson vem trabalhando a muitos anos junto com a Alcatel para fornecer serviços em banda larga, e a Alcatel já percebeu o potencial das soluções multimídias. Portanto, trabalhando junto da Microsoft e da Alcatel, a plataforma Cobra tem um grande suporte por trás para fazer a transmissão sobre IP viável.

A Envivio possui algumas soluções baseadas na arquitetura Intel para codificação de vídeo em MPEG-4. Na verdade a Envivio possui uma suíte de produtos voltados para

isso, que são o Envivio 4Caster MPEG-4 Real-time Encoder (para codificação em tempo real), 4Sight MPEG-4 Streaming Server (para VOD), 4View (set-top-box) e 4Manager MPEG-4 (que gerencia e controla o sistema no head-end).



Figura 31 - 4Caster da Envivio



Figura 32 - 4Sight da Envivio



Figura 33 - 4View da Envivio

A Optibase lançou no mercado o seu MGW 2400, feito para codificar e enviar (em *multicast* ou *unicast*) até seis canais em Windows Media. A Optibase recomenda trabalhar em conjunto com o MGW 5100, que é responsável por colocar o vídeo em pacotes IP para transmitir através de redes de banda larga, e suporta até 36 transmissões simultâneas.



Figura 34 - Os modelos da Optibase, o MGW 2400 e o MGW 5100

8. Transmissão digital de dados/vídeo

O padrão DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) foi desenvolvido pela CableLabs¹¹ e aprovado pela ITU (*International Telecommunication Unit*) em março de 1998. Ele define o padrão para transmissão de dados pela tecnologia de televisão por assinatura utilizando equipamentos de *cable modems*.

Com a certificação da CableLabs, os desenvolvedores de equipamentos poderão produzir *cable modems* para venda direta ao consumidor. Assim os usuários não dependerão somente de um equipamento proprietário para utilizar o serviço de dados pelo sistema de televisão. Modems DOCSIS são geralmente mais fáceis de serem desenvolvidos pois extensa documentação está disponível para pesquisa e muitas companhias de cabo aderem ao padrão. Um modem proprietário é menos desejável, porque funcionará somente com o sistema para o qual foi desenhado.

8.1. O sistema

No sistema DOCSIS, os dados trafegam sobre o cabo de televisão, na situação futura da Net Brasília, ou pelo sistema MMDS, no caso da Mais TV, de forma compartilhada. Isso significa que a banda destinada à transmissão de dados, seja ela qual for, é utilizada simultaneamente pelos assinantes do serviço, fazendo com que estes pertençam a uma mesma rede de dados. Com este tipo de estrutura, os usuários podem notar taxas de transferências variáveis dependendo de quantos assinantes estão utilizando o serviço naquele momento.

Dentro do padrão DOCSIS, existem várias versões da tecnologia. Abaixo listamos as principais características delas:

¹¹ Cable Television Laboratory - CableLabs (www.cablelabs.com) – Fundada em 1988 é uma organização sem fins lucrativos de pesquisa e desenvolvimento dedicado à aspirar novas tecnologias de telecomunicações por cabo e ajudar membros de operadoras de cabo a integrar estas vantagens técnicas a seus objetivos de negócios.

- **DOCSIS 1.0 e DOCSIS 1.1**
 - UPSTREAM:
 - Modulação QPSK ou 16-QAM
 - Eficiência espectral de 1.6 (QPSK) e máximo de 4 (16-QAM) bps/Hz
 - Banda máxima por canal de 5.12 Mbps
 - DOWNSTREAM
 - Modulação 64-QAM ou 256-QAM
 - Eficiência espectral de 4.8 (64-QAM) e máximo de 8 (256-QAM) bps/Hz
 - Banda máxima por canal de 27 ou 30 Mbps
 - DOCSIS 1.1 tem melhor suporte de QoS e segurança comparado com o DOCSIS 1.0

- **DOCSIS 2.0**
 - UPSTREAM
 - Modulação 64-QAM ou 128-QAM
 - Eficiência espectral de 4.8 (64-QAM) ou máximo de 7 (128-QAM) bps/Hz
 - Banda máxima por canal de 27 ou 30 Mbps
 - Taxa de 5.12 milhões de símbolos por segundo
 - Suporte a DOCSIS 1.0 e 1.1
 - Melhoramentos na correção de erros
 - DOWNSTREAM
 - Modulação 64-QAM ou 256-QAM
 - Eficiência espectral de 4.8 (64-QAM) e máximo de 8 (256-QAM) bps/Hz
 - Banda máxima por canal de 27 ou 30 Mbps

Taxa de Upstream

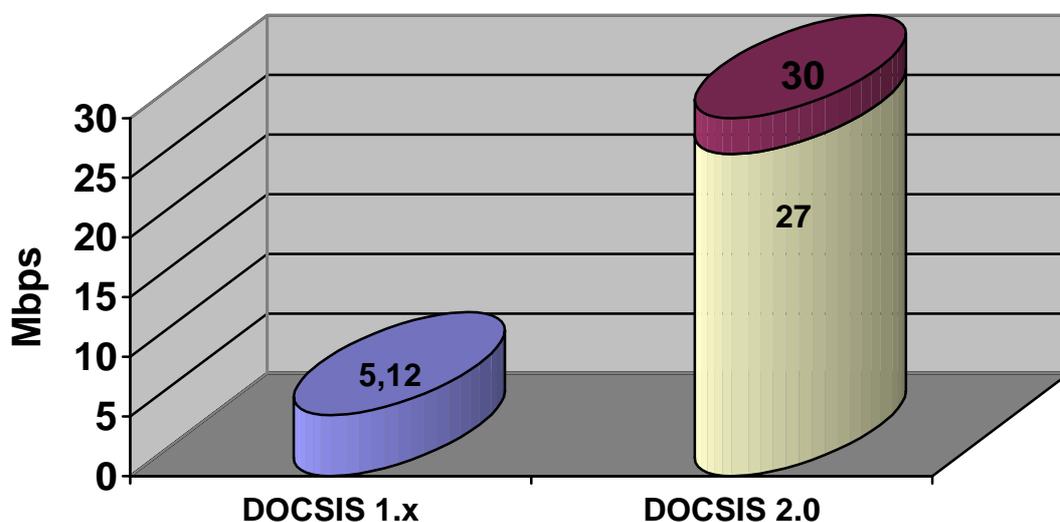


Figura 35 - Taxa de *upstream* dos sistemas DOCSIS

Como podemos ver, o padrão DOCSIS 2.0 é o mais avançado tecnologicamente atualmente, oferecendo uma maior taxa de transmissão de dados no sentido de *Upstream* (assinantes para operadora), proporcionando assim maior variedades de serviços.

Atualmente, a Mais TV utiliza o sistema DOCSIS 1.0 para realizar a transmissão dos dados para os assinantes da LinkExpress. Desta forma, os dois canais de 6 MHz (2674 MHz a 2686 MHz) que são disponibilizados para seus assinantes gera uma possibilidade de 27 Mbps ao todo.

Fazendo a atualização do sistema para o padrão DOCSIS 2.0 gerará muitas vantagens, principalmente em se tratando da eficiência espectral. Utilizando este sistema dentro da faixa de frequência dois canais de retorno disponibilizados para a transmissão de dados, poderemos chegar a um máximo de 54 Mbps para serem compartilhados como *upstream* entre os assinantes.

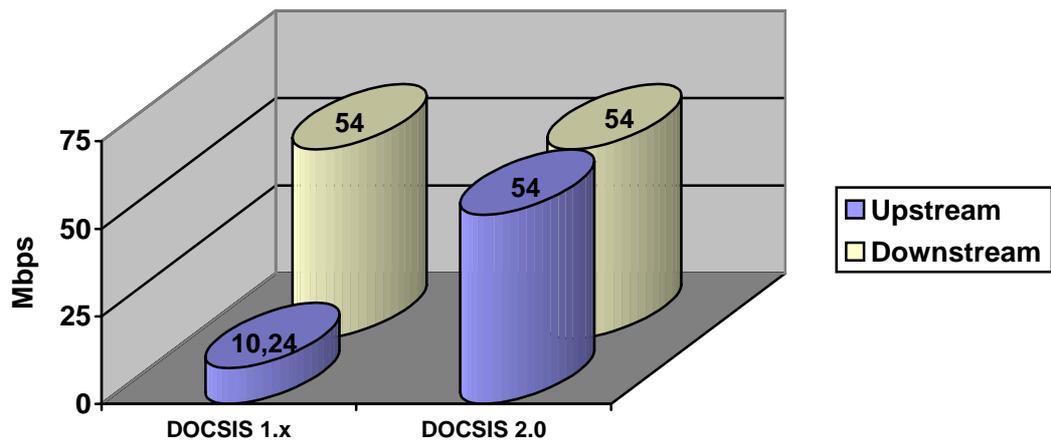


Figura 36 - Comparativo de velocidades de *upstream* e *downstream* dos sistemas DOCSIS

Os assinantes do serviço de dados terão então seu *link* com a Internet limitado pela operadora para que todos possam usufruir sem abuso (e pelas limitações da quantidade de canais disponibilizados para os dados), como por exemplo, *links* de 512 Kbps, 256 Kbps, etc.

Imaginando agora que o assinante do serviço de dados queira assistir a um filme pelo serviço de Video-on-demand. Como vimos anteriormente, uma boa qualidade de imagem para vídeo, utilizando a codificação Windows Media (que pelos nossos testes apresentou a melhor qualidade com a mesma taxa de bits), pode ser alcançada com apenas 1 Mbps. Então, no momento que o assinante solicitar o filme pelo sistema VOD, automaticamente seu link de dados será aumentado para 1 Mbps ao mínimo durante o tempo da transmissão do conteúdo, e retornado à sua banda normal assim que terminar a transmissão.

Seguindo este esquema, teremos a seguinte situação: serão utilizados 2 canais de 6 MHz para dados, utilizando o sistema DOCSIS. Portanto existirão 54 Mbps de banda de dados para os assinantes do serviço. Destes 54 Mbps, 27 Mbps são utilizados para Internet, compartilhado com todos os assinantes. Portanto existe uma sobra de 27 Mbps de banda para o serviço de VOD (entre outros). Imaginando que seja somente utilizada esta banda para o VOD, então 27 usuários poderão solicitar um filme pelo sistema simultaneamente.

Caso seja necessário aumentar este valor, para atender mais usuários, pode-se utilizar um outro canal de 6 MHz para dados. Para cada canal extra de 6 MHz utilizado, teremos uma banda extra de 27 Mbps, possibilitando assim que mais 27 usuários possam acessar o serviço de VOD simultaneamente.

À medida que os 31 canais de vídeo forem sendo digitalizados em formato MPEG-2, por exemplo, estes utilizarão menos banda para sua transmissão, deixando livres mais canais de 6 MHz para serem utilizados para dados.

8.2. Equipamento do assinante

O assinante do serviço de dados deverá necessariamente utilizar um modem padrão DOCSIS 2.0. No mercado existem diversas marcas e modelos deste tipo modem. Abaixo listamos alguns modelos encontrados pela Internet, que podem ser utilizados para o serviço descrito.



Figura 37 - Motorola SB5100 SURFboard DOCSIS 2.0 Cable Modem



Figura 38 – Toshiba DOCSIS 2.0 certified PCX2600 Cable Modem



Figura 39 - Terayon TJ 715 Cable Modem

9. Vantagens do sistema digital de vídeo e dados

Utilizar o sistema digital de transmissão, codificação de vídeo e dados pode trazer diversas vantagens à operadora de televisão, seja transmissão por cabo, MMDS, ou qualquer outro sistema.

Como já dito, com as novas tecnologias de compressão é possível reduzir o tamanho dos arquivos, sendo possível economizar banda e também espaço de armazenamento. Isso além das novas capacidades que permitem maior interatividade, multimídia, podendo oferecer uma nova classe de programas, jogos, educação eletrônica e *vídeo-on-demand*.

9.1. Quantidade de canais

Dentre muitas vantagens existentes, uma de grande peso é a quantidade de canais de vídeo que poderão ser transmitidos utilizando o sistema digital.

Pegando como exemplo o caso da Mais TV, que dispõe atualmente, em sua frequência de MMDS, apenas 186 MHz, suficientes para transmitir 31 canais de vídeo analógicos. No momento que utilizar a transmissão digital em 64-QAM e a codificação MPEG-2 para seus vídeos, ela terá um aumento em sua quantidade de canais de forma considerável. Como a modulação 64-QAM disponibilizará 27 Mbps para cada canal de 6 MHz, teremos, nos 186 MHz totais, um total de 837 Mbps para serem transmitidos aos usuários. A codificação MPEG-2 produz boa qualidade de vídeo com uma compressão de 2,5 Mbps. Assim sendo, em sua banda de frequência, existirão agora 334 canais disponíveis aos assinantes.

Quando for utilizada uma codificação como Windows Media 9, ou outra de mesma qualidade, poderemos alcançar a mesma qualidade de vídeo com apenas 1 Mbps, fazendo chegar a um total de 837 canais possíveis de serem disponibilizados aos assinantes.

Quantidade de canais

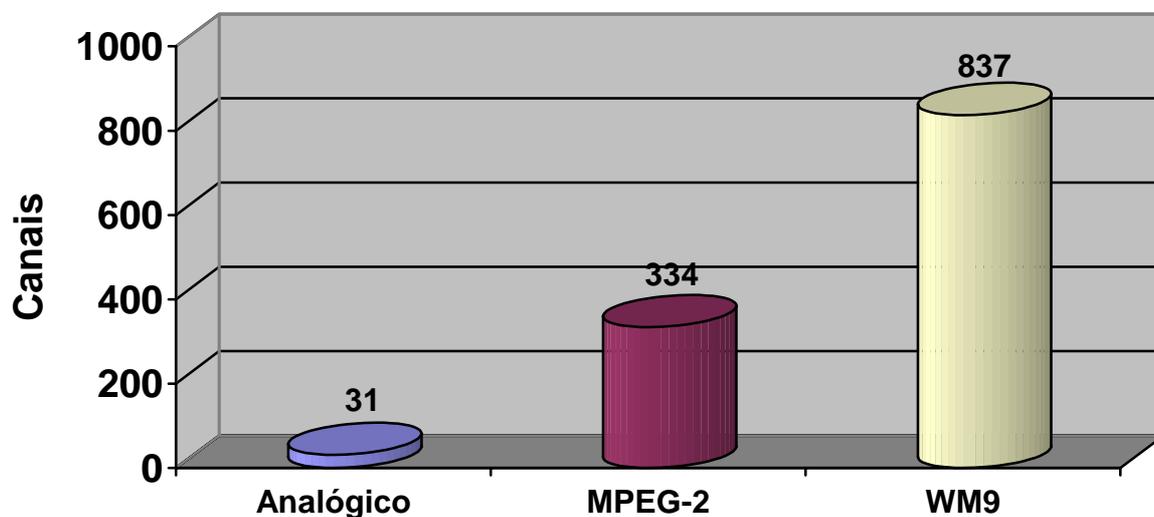


Figura 40 - Comparativo de quantidades de canais com sistema analógico, MPEG-2 e Windows Media 9

Com esta grande quantidade de canais disponíveis para a transmissão, ocorrerá que irá faltar conteúdo para ser transmitido, deixando a grande parte dos canais sem utilização. Uma forma de aproveitar este espaço agora é fazer a transmissão dos mesmos canais em diferentes qualidades para alcançar diferentes tipos de consumidores. Um canal pode ser transmitido no formato SDTV em 1 Mbps e o mesmo canal pode ser transmitido em HDTV com 6 Mbps, dando a opção ao consumidor poder escolher a qualidade desejada, que seja compatível com seu aparelho de televisão.

9.2. Novos serviços

Com a digitalização do sistema, novos serviços podem ser incorporados, agregando mais valor ao sistema de televisão por assinatura.

9.2.1. Video-on-Demand

O serviço de *Video-on-Demand* será um grande atrativo aos consumidores. Como já foi comentado anteriormente, um assinante poderá, em qualquer hora do dia ou da noite, seja dia útil ou feriado, escolher um filme qualquer da “videoteca” da operadora e assistir em seu computador ou em sua televisão no momento desejado, mesmo que o filme esteja sendo assistido por outro cliente.

Este sistema funciona como uma locadora de vídeo, porém com mais qualidade, conforto, comodidade e total disponibilidade dos filmes. Assim, as operadoras de televisão por assinatura serão a grande concorrente das locadoras de filmes tradicionais, fazendo estas tenderem à sua diminuição.

9.2.2. E-mail e mensagens instantâneas

Outro serviço possível, devido à sua integração com a Internet, é a possibilidade de um usuário doméstico ter acesso ao serviço de e-mail e mensagens instantâneas, diretamente se seu aparelho de televisão (pelo auxílio do *set-top-box*). Assim, clientes que não possuem ou não tem o costume ou conhecimento para trabalhar com um computador complexo, ou simplesmente não desejam adquirir um computador, podem usufruir as vantagens do compartilhamento de informações que a Internet proporciona a seus usuários.

9.2.3. Interatividade

Como já dito, assistir TV não está mais restrito apenas a receber vídeo e áudio. Nunca se falou tanto em interatividade na TV como nesses últimos anos, com o amadurecimento da TV digital, novas gerações de codecs e por existir um sistema de retorno das informações do *set-top-box* do usuário para a operadora. Essa interatividade, gerada a partir da união de tecnologias da TV com o computador, também conhecida como *datacasting*, provê grandes quantidades de texto, áudio, vídeo e programas para serem transmitidos por *broadcast*. As possibilidades são muitas, e dependerá da criatividade de quem estará transmitindo.

Assim sendo, é possível desenvolver serviços de acesso a bancos, por exemplo, ou então compras on-line diretamente do aparelho de televisão para citar as mais simples. O usuário navegará com seu controle remoto pelas páginas digitais de um catálogo de produtos, terá as informações de cada produto desejado, com a possibilidade de alta qualidade de vídeo para demonstrações do mesmo, e, caso deseje, solicitar a compra sem ter a necessidade de intermediar com algum vendedor ou qualquer outra pessoa, ou, em caso contrário, conversar com o vendedor para tirar suas dúvidas. Atualmente pode-se ver a letra de uma música durante a transmissão de um show, ou mudar a câmera durante uma partida de futebol. Num futuro próximo poderá estar assistindo a um filme, e querer saber informações sobre determinada atriz, ou onde comprar uma roupa igual à do ator principal.

Toda essa interatividade vai mudar a forma como a TV é vista. Fazendo uma comparação com o hipertexto da *Web*, onde clicamos em vários *links* e vão abrindo novas informações, poderão ser vistas diversas informações sobre o programa assistido. Um seriado de meia hora normalmente, poderá se estender por uma hora ou mais, buscando referências para histórias anteriores, informações sobre os artistas, produtos da série, locações, etc.

9.2.4. Objetos

Por enquanto o único codec que trabalha com objetos é o MPEG-4, mas parece ser uma tendência e os demais codecs possivelmente oferecerão suporte a objetos também.

Diferente da codificação linear de áudio e vídeo do MPEG-1/2, a codificação MPEG-4 é baseada em objetos, isto é, as cenas áudio-visuais são codificadas em termos de objetos. Um objeto pode ser uma imagem ou um vídeo: um carro em movimento, uma fotografia de um cão. Também pode ser um objeto de áudio: um instrumento de uma orquestra, um latido de um cão. A associação de objetos de áudio com objetos de vídeo é chamado de objeto áudio-visual. A imagem de um cão junto com o som do seu latido é um exemplo de um objeto áudio-visual. Um programa poderá ser visto de milhares de formas diferentes. Poderá, por exemplo, ao assistir um vídeoclip ouvir somente o som da guitarra, para poder aprender como tocar essa música.

9.2.5. Internet always-on

Com o sistema digital, os assinantes poderão utilizar em seu computador pessoal o acesso direto e permanente com a Internet em alta-velocidade.

9.2.6. Segurança

No quesito de segurança, é preciso ver tanto o lado do usuário em casa como a segurança dos direitos de artistas, gravadoras, produtoras, etc, sobre os vídeos e músicas transmitidos.

Dentre as muitas vantagens do sistema digital, a segurança se enquadra como muito importante e vantajoso. A utilização de sistemas de criptografia digital substituirá os sistemas de segurança analógico de maneira muito mais eficiente. Pode-se utilizar, por exemplo, sistema de criptografia simétrico e assimétrico para garantir a transação segura de uma compra on-line, ou que somente certo usuário tenha acesso a tal informação, como em acesso a bancos, ou então que somente um grupo de usuários, assinantes de um determinado pacote de programas da operadora, tenham acesso à estes canais extras que compraram.

Com o DRM, a distribuição e compra de vídeos e músicas garantirá para as distribuidoras que somente o usuário que comprou tenha acesso aquele material, seja acessível exclusivamente por ele, mesmo que interceptado em algum ponto da rede por programas “espiões”.

9.2.7. Ensino/Conferência a distância

Com a possibilidade de se transmitir vídeo através de grandes distâncias pela Internet, podem ser oferecidos diversos tipos de acesso onde as pessoas interagem como se estivessem no mesmo local.

Um professor de medicina na Austrália pode dar uma aula para alunos brasileiros, e usar como exemplo uma cirurgia sendo realizada na mesma hora no Japão. Os funcionários de uma multinacional global podem realizar reuniões relâmpagos com diretores do mundo todo debatendo como se estivessem lado a lado. Ou até mesmo a

possibilidade de um filho conversar com seus pais em outro continente com vídeo e voz em tempo real.

10. Conclusão

Com a realização deste estudo, foi observado que é possível a implantação do sistema de televisão digital em substituição dos atuais sistemas analógicos, trazendo diversas vantagens, de um lado, para os clientes, que poderão usufruir diversos novos e convenientes serviços, e por outro lado, das operadoras, que terão uma grande economia de banda e aumento de qualidade de suas transmissões, fazendo-as mais competitivas e atrativas no mercado.

A utilização do sistema de televisão digital baseado somente em uma rede IP é possível, trazendo ainda novos benefícios, porém, nos dias atuais, o custo deste sistema torna inviável a implantação em sua totalidade, onde substituiria o atual sistema de transmissão, tornando-se um novo padrão em transmissão e codificação de televisão.

11. Passos futuros

Esse projeto teve como foco dar uma visão macroscópica dos elementos necessários para implantação de TV sobre IP, mostrando que esta pode ser uma realidade bem próxima. Como próximos passos para futuro desenvolvimento, é interessante um aprofundamento em algumas partes distintas do projeto. Foi considerado que a plataforma IP seria a mais adequada para o tráfego de vídeo, não levando em conta outras plataformas de comutação de pacotes. Pode-se fazer um estudo sobre como seria em uma rede ATM, ou alguma outra que venha a surgir. Talvez já pelo avançado desenvolvimento de equipamentos que colocam o *stream* em IP poderia ser analisada uma situação de rede IP sobre ATM.

Poderia ser feito também um estudo mais dedicado e aprofundado com relação aos codecs. Os codecs escolhidos para o projeto são os mais populares, considerando a quantidade de vídeo encontrados na Internet que utilizam algum dos três na época de realização desse projeto. Poderiam ser analisados outros codecs como RealVideo, Xvid, VP6, etc, ou um estudo mais a fundo no funcionamento (estudo dos algoritmos), ou serem elaborados mais testes, talvez até com a exibição de vídeos codificados de forma diferente para uma pequena platéia eleger as melhores qualidades.

Uma outra continuidade para o projeto seria uma visão de marketing, fazendo um estudo sobre o impacto comercial. Seria então analisada a receptividade do mercado a essa nova tecnologia, quem seria e como vender para o público alvo, qual o tipo de cliente estaria interessado na tecnologia, além de ver quais equipamentos e codecs oferecem melhor relação custo/benefício.

12. Bibliografia

- [1]. MARCHIONI, José Roberto, *Programa de Capacitação Técnica, NET Brasília*
- [2]. SANTOS, Thiago Teixeira, *Técnicas para Segmentação Temporal de Vídeo Digital*
- [3]. MARGI, Cíntia B., BRESSAN, Graça, RUGGIERO, Wilson Vicente, *Especificação e Implementação de um Mecanismo para Distribuição Segura de Vídeo MPEG*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- [4]. GOMES, Marcelo R. F., BITTENCOURT, André Luís C., *TV a Cabo*, CEFET-RJ
- [5]. RIOS, Evaristo C. S. D., GUTIERREZ, Regina M. V., MELO, Paulo R. S., *TV Digital: Desafio ou Oportunidade?*
- [6]. MACEDONIA, M. R., BRUTZMAN, D. P. Mbone Provides Audio and Video Across the Internet.
- [7]. IEEE Computer, Vol.27 #4, April 1994, pp. 30-36 em www.itg.lbl.gov/mbone/Macedonia.html
- [8]. SUKYS, Francisco, SENATORI, Nelson, *Introdução a TV e ao sistema PAL-M*
- [9]. BARBOSA, Luciano, VIEIRA, Wellington P., *Projeto para Compôr um Sistema de Transmissão de Sinais Digitais de Vídeo Via Satélite*, Universidade Estácio de Sá, 2001 em www.iec.org/online/tutorials/wire_broad/topic10.html, *Wireless Broadband Modems*, por International Engineering Consortium
- [10]. ROESLER, Valter, *Transmissão Multimídia em Redes de Computadores*, Universidade UNISINOS, 2001
- [11]. WILKINSON, Guillermo, *Explorer Platform*, Scientific Atlanta
- [12]. MURIEL, Chris, *What is DVB*, em: <http://www.drakesvision.com/digi3.htm>
- [13]. MAVROGANES, Rich, *Introduction to MPEG Vídeo for the Network Professional*, em: http://www.vbrick.com/WhitePapers/Introduction_to_MPEG.pdf
- [14]. *Encoder for Windows Media™ 9 Series*, em: www.mitc.co.jp/it/mpeg/tandberg/EN5920_v1r2.pdf
- [15]. *Envivio MPEG-4 IP Television Solutions for Broadband Network Operators*, em: www.envivio.com/images/products/iptv_01.pdf
- [16]. *MPEG-4 Video and Image Coding Tools Da MPIF*, em: www.alt.ldv.ei.tum.de/conferences/digital_behaviour/DigitalBehaviour_Visual.pdf, Junho 2003

- [17]. FUNNEL, John, *Divx and Open Standards, Visual Media Standards for Today and Tomorrow*, Londres, em: www.iee.org/oncomms/pn/visualinformation/DivX_IEE.pdf
- [18]. ZETTERSTRÖM, Erik; BOHMAN, Ove; ISAKSSON, Petter, *IP-TV*, em: www.cdt.luth.se/~peppar/kurs/smd074/seminars/1/1/6/iptv_report.pdf
- [19]. *Mpeg-4 / DivX Tech Notes*, em: <http://www.xpressdigital.com/MediaLogDivXGuide.pdf>
- [20]. *Selecting Your IP Television Delivery System-Minerva Networks*, em: www.digitalstudio.net.au/Documents/IPTVSystem.pdf, Agosto 2003
- [21]. JACKLIN, Martin, MPEG-4 – THE MEDIA STANDARD. The landscape of advanced multimedia coding, em <http://www.m4if.org/public/documents/vault/m4-out-20027.pdf>, Novembro de 2002
- [22]. HUNT, Kenneth, *DivX 5.3 is out :: for Win32*, em: kennethhunt.com/archives/000576.html
- [23]. DivX, From Wikipedia, the free encyclopedia, em: en.wikipedia.org/wiki/Divx
- [24]. BENNETT, Graeme, DivX ;-), DivX Deux, 3ivX and XviD, Janeiro 2003, em: thetechnozone.com/themoviezone/DivX.html
- [25]. AQUINO, Renata, TV interativa: a TV nunca mais será a mesma, em www.magnet.com.br/bits/especiais/2002/01/0001/
- [26]. BIRNEY, Bill, Reducing Broadcast Delay, em: www.microsoft.com/windows/windowsmedia/howto/articles/BroadcastDelay.asp, Abril 2003
- [27]. DAWSON, Fred , *Cable's new IP strategies bode well for web content*, em: www.lennoxgroup.org/rbs0603.html, Julho 2003
- [28]. WELLS, Robert, Cable MSOs confront gateways and IP-delivered television, em: www.lennoxresearch.com/rbs0203.html
- [29]. BLAU, John, IPTV will feature multimedia programming guides, digital video recording, and video on demand, em: www.pcworld.com/resource/printable/article/0,aid,112882,00.asp, em Outubro 2003
- [30]. OZER, Jan, *MPEG-4: Looks Great!*, em: www.extremetech.com/print_article/0,3428,a=3780,00.asp, Abril 2002
- [31]. *Windows Media Format*.em: www.microsoft.com/windows/windowsmedia/format/default.aspx. Janeiro 2003
- [32]. GOREN, Aviv, *What is DOCSIS 2.0*, em www.ietf.org/proceedings/01dec/slides/ipcdn-3/, Julho 2002

- [33]. *The SCTE Guide to DOCSIS and EuroDOCSIS*, em:
www.scte.org.uk/member/technical/docsis.html
- [34]. CABLELABS, *CableModem/DOCSIS*, em: www.cablemodem.com
- [35]. CABLELABS, *DOCSIS 2.0 specifications*, em
www.cablemodem.com/downloads/specs/SP-RFIV2.0-I04-030730.pdf
- [36]. CABLELABS, *DOCSIS 1.0 specifications*, em:
www.scte.org/standards/index.cfm?plD=59

LINKS utilizados para pesquisa

www.dvb.org
www.iec.org
www.abta.com.br
www.google.com
www.interhelp.com.br/tv-por-assinatura.htm
www.labone.net/template1.asp?canal=51
www.cefetsp.br/edu/ped/hdtv/larguradebanda.htm
www.cefetsp.br/edu/ped/hdtv/transmissao02.htm
www.tech-notes.tv/History&Trivia/Cable%20beginnings/Cable%20beginnings.htm
www.cefetrio.hpg.ig.com.br/ciencia_e_educacao/8/trabalhos/0200/redes/tvacabo/CATV.htm
www.microsoft.com/windows/windowsmedia/default.aspx