

Framework de Baixo Custo para Ensaio de TV Digital

Wyllian Bezerra da Silva e Alexandre de Almeida Prado Pohl

Resumo—Este artigo descreve um *framework* de baixo custo para ensaios de TV digital, que inclui os processos de aquisição, codificação (H.264/AVC e AAC) e multiplexação dos fluxos de áudio e vídeo. Este *framework* também explora as etapas de modulação (ISDB-T), transmissão e recepção do sinal de TV.

Palavras-Chave—TV Digital, SBTVD, ISDB-T, H.264, AAC.

Abstract—This paper proposes a low-cost framework for testing digital TV, according to the rules of SBTVD including acquisition, encoding (H.264/AVC and AAC) and multiplexing processes of video and audio streams. This framework also explores the task modulation (ISDB-T), transmission and reception of digital TV.

Keywords—Digital TV, SBTVD, ISDB-T, H.264, AAC.

I. INTRODUÇÃO

O advento da TV digital no Brasil tem permitido diversas inovações, tanto na qualidade dos sinais audiovisuais, quanto na oferta de outros serviços, dentre os quais a possibilidade de interatividade entre o telespectador e a emissora, em serviços como *t-banking*, *t-government* e *t-commerce* [1]. Além disso, a portabilidade permite aos telespectadores assistir à programação de TV em dispositivos móveis, como telefones celulares e TVs portáteis. A transmissão e recepção de sinais de TV digital pelas concessionárias requerem o emprego de equipamentos sofisticados e de alto custo. Várias etapas são necessárias, envolvendo a compressão dos sinais de áudio e vídeo, a multiplexação das fontes, a modulação e a transmissão propriamente dita. Frequentemente, em um laboratório de pesquisa, equipamentos não estão disponíveis para a realização de todas as etapas. Assim, a existência de um ambiente de baixo custo, no qual todas as etapas de processamento do sinal podem ser controladas, constitui uma alternativa interessante para a realização de diversos ensaios. Como exemplo, citam-se os ensaios para avaliação de qualidade de áudio e vídeo, cujas fontes sofrem degradação durante o processo de compressão e transmissão do sinal até o decodificador. Este trabalho descreve um *framework* para ensaios de TV Digital (TVD) com o emprego de um modulador instalado em um PC (*Personal Computer*) e a utilização de *softwares* livres para as tarefas de compressão de áudio e vídeo, bem como a multiplexação em MPEG2-TS (*Motion Picture Experts Group-2 Transport Stream*). Na recepção, a decodificação dos fluxos de áudio e vídeo foi realizada com o emprego de um decodificador comercial (*Set-Top Box* – STB).

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: na Seção II descreve-se o *framework* para ensaios de TV digital.

Na Seção III apresenta-se a metodologia e o ambiente para ensaios. A Seção IV contempla experimentos envolvendo a codificação, multiplexação, modulação, transmissão e recepção de um sinal de TVD em alta definição. As conclusões e suas extensões são descritas na Seção V.

II. DESCRIÇÃO DO FRAMEWORK

A Figura 1 ilustra o *framework* proposto, através da representação em um diagrama de blocos, das etapas executadas no ambiente desenvolvido para a transmissão e recepção do sinal.

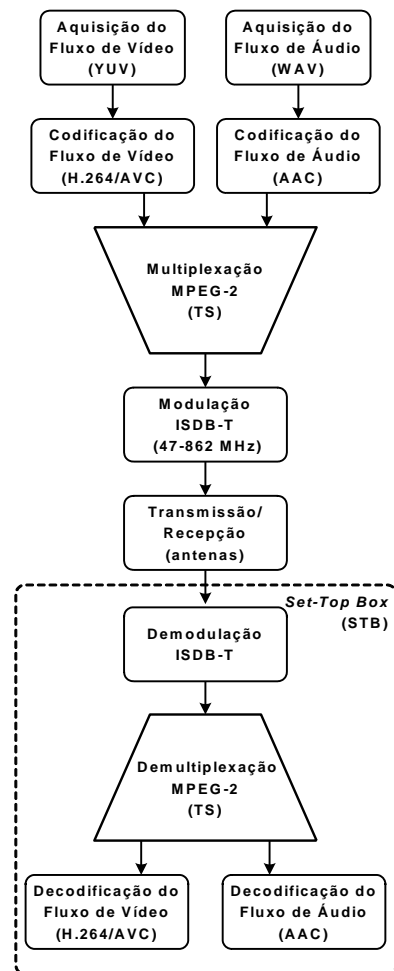


Fig. 1. Diagrama em blocos do *framework* proposto para ensaios de TVD.

A etapa de processamento se inicia com a aquisição dos fluxos de áudio e vídeo sem compressão nos formatos YUV e WAV, respectivamente. Neste trabalho empregou-se a conversão de uma fonte audiovisual para estes formatos, exigidos nas entradas dos codificadores. Em seguida, tanto o áudio quanto o vídeo sofrem o processo de compressão/codificação para os formatos AAC (*Advanced Audio Coding*) e AVC (*Advanced Video Coding*), segundo as normas adotadas pelo Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). Após esta etapa, o vídeo e áudio codificados são multiplexados em um fluxo MPEG2-TS, que é lançado na entrada de uma placa moduladora. Tal placa permite a configuração de alguns tipos de padrão de modulação, inclusive aquele adotado pelo padrão ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial*) [2]. O sinal de TVD é então transmitido e recebido usando-se um par de antenas (geralmente, monopolo) na saída da placa moduladora e na entrada do decodificador comercial de TVD, respectivamente. Através do *software* de controle da placa é possível ajustar a frequência da portadora, em uma faixa que varia de 47 a 862 MHz. A seguir são descritas as ferramentas e a metodologia utilizada neste *framework*.

III. METODOLOGIA PARA ENSAIOS DE TV DIGITAL

Algumas ferramentas de uso gratuito ou em nível de demonstração estão disponíveis na Internet para a realização das etapas de conversão, codificação e multiplexação. Os *softwares* e a placa de modulação podem ser instalados em um único computador pessoal, tornando-se este conjunto o equipamento necessário para processamento e transmissão do sinal. Fontes de sinal também disponíveis na Internet e podem ser convertidas para o formato de entrada desejado. Assim, a aquisição do áudio e vídeo pode ser realizada através da conversão de formato com o *software* FFMPEG [3]. Este *software* livre converte o vídeo e/ou áudio comprimidos em formatos sem compressão, conforme os requisitos de entrada dos codificadores.

Para a tarefa de codificação do vídeo emprega-se o *encoder* x264 [4] que permite amplas possibilidades de compressão de vídeo no formato AVC/H.264, baseadas na Norma ITU-T Rec. H.264 [5]. Para a codificação de áudio no formato AAC utiliza-se a ferramenta faac [6] baseada no Padrão ISO/IEC 14496-3 [7]. A multiplexação dos fluxos de áudio e vídeo codificados é realizada através do *software* tsMuxeR [8]. Uma vez multiplexados os fluxos de áudio e vídeo em um TS, este é encaminhado à placa Dektec DTA-115 [9] que irá realizar o processo de modulação consoante os Padrões ISDB-T e ARIB STD-B31 [11]. A Figura 2 ilustra a placa moduladora Dektec DTA-115 que permite a seleção das camadas hierárquicas e o número de segmentos que serão utilizados. A remultiplexação do TS acrescenta 16 *bytes* nulos no TS para que este contenha pacotes de 204 *bytes*, este processo é conhecido como BTS (*Broadcast Transport Stream*), cuja montagem obedece à estrutura de um quadro de multiplexação. Dessa forma, o codificador Reed-Solomon (RS) opera sobre blocos de 188 *bytes* e adiciona 16 *bytes* de redundância. A camada hierárquica é constituída por treze segmentos (0 a 12) OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Cada

segmento OFDM representa uma unidade básica da transmissão BST-OFDM no domínio da frequência.

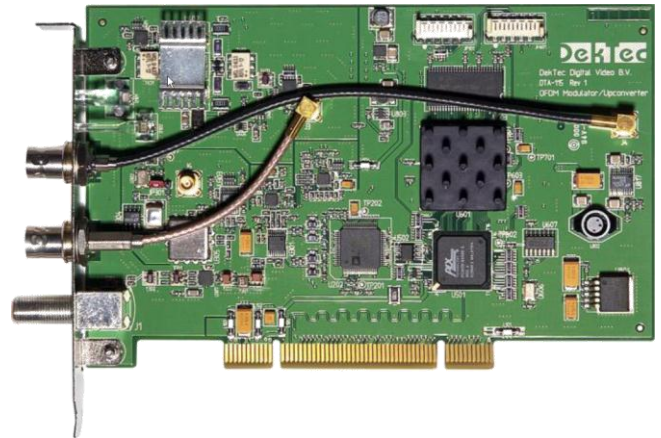


Fig. 2. Placa moduladora Dektec DTA-115.

Estes segmentos podem ser agrupados em três grupos hierárquicos designados por A, B e C. A camada que contém o segmento 0 é a camada A que comporta o serviço de recepção móvel. A camada B comporta os segmentos 1 a 7. Os segmentos de 8 a 12 pertencem à camada C. O esquema de modulação permite a operação em três modos distintos de transmissão, cujas quantidades diferentes de portadoras ocupam a mesma banda. Paralelamente, em cada camada hierárquica, ocorrem processamentos como a dispersão de energia e entrelaçador de *byte*. Estas etapas têm o intuito minimizar a correlação do sinal no domínio do tempo e da frequência. Em seguida emprega-se a codificação do canal, conforme os parâmetros selecionados para atender as características de transmissão exigidas, tais como o formato de recepção [10].

Estes parâmetros incluem a taxa de codificação do código convolucional (código interno) e o sistema de modulação digital, como QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*). Por apresentar diferentes taxas de *bits* nas camadas hierárquicas, durante o processamento paralelo, o sistema executa um armazenamento temporário dos dados em memória e realiza uma leitura dos dados contidos nas unidades de símbolos, segundo amostras temporais submetidas à IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*). Em seguida, a fim de melhorar a recepção móvel e a robustez contra a interferência por multicaminhos, o sistema realiza, em unidades de símbolo, o entrelaçamento no tempo e na frequência, conforme o arranjo dos segmentos OFDM. Além disso, sinais piloto para demodulação e controle de símbolos constituídos por informações TMCC (*Transmission Multiplexing Configuration Control*) são combinados com símbolos de informação para compor um quadro OFDM. Os símbolos de informação são modulados conforme a modulação DBPSK (*Differential Binary Phase-Shift Keying*) com a adição de intervalos de guarda na saída IFFT [2].

As etapas a seguir foram empregadas para a realização dos ensaios deste *framework*.

A. Conversão de vídeo e áudio

Os formatos de vídeo YUV e áudio WAV foram obtidos a partir da conversão da fonte audiovisual, disponível em [12], através do *software* livre e aberto FFMPEG [3] que funciona por meio de linhas de comando nas tarefas de conversão de formatos de áudio e vídeo, bem como suporta aquisição e codificação de áudio e vídeo. Este *software* inclui as bibliotecas do *codec* libavcodec, desenvolvido para aplicações multimídia, tais como *players*, *encoders* e editores de vídeo.

B. Codificação H.264/AVC/MPEG-4 Parte 10

Na codificação de vídeo no formato H.264/AVC empregou-se o *encoder* x264 [4] sobre a fonte de vídeo convertida em YUV. O *software* livre e aberto x264 possui amplas possibilidades de codificação no formato H.264, permitindo a variação de perfis e níveis, conforme os requisitos de codificação da aplicação desejada. A sintaxe da linha de comando deste *software* inclui os parâmetros de taxa de codificação, quantidade de *frames* por segundo (FPS), nível e perfil de codificação H.264, estrutura do grupo de figuras (GOP), modo de varredura (entrelaçado ou progressivo), número de *frames* de referência, bem como o tipo de codificação por entropia CAVLC (*Context-Adaptive Variable-Length Coding*) ou CABAC (*Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding*).

C. Codificação AAC

Para codificar o áudio no formato AAC empregou-se o *encoder* faac [6] sobre a fonte de áudio convertida em WAV. Este *software* livre e aberto realiza a codificação através de linhas de comando, cujo resultado é um arquivo AAC-LC (*AAC Low-Complexity*). A sintaxe da linha de comando do faac inclui as opções ABR (*Average Bit Rate*) ou VBR (*Variable Bit Rate*), a taxa de amostragem em Hz, a quantidade de canais e a ativação do filtro TNS (*Temporal Noise Shaping*). O *software* faac possui algumas limitações, dentre as quais, a inexistência da codificação em AAC-HE (*AAC-High Efficiency*).

D. Multiplexação MPEG2-TS

A multiplexação encapsula o conteúdo audiovisual (AAC e H.264/AVC) em um MPEG2-TS. Para esta tarefa empregou-se o *software* livre tsMuxeR [8] que apresenta algumas limitações, dentre as quais, a multiplexação de apenas um programa por TS. Neste *framework* optou-se pela multiplexação de apenas um programa, contendo um vídeo H.264/AVC com resolução HD e áudio AAC-LC. Este *software* possui uma sintaxe por linha de comando e uma interface gráfica que auxilia na escolha dos parâmetros de multiplexação, tais como: sincronização do áudio em relação ao vídeo (atraso/adiantamento em milissegundos), alteração da taxa de *frames* por segundo (FPS) e do perfil de codificação do vídeo, multiplexação em VBR ou CBR (*Constant Bit Rate*) e a inclusão de cabeçalhos com unidades NAL (*Network Abstraction Layer*), contendo os conjuntos de parâmetros SPS (*Sequence Parameter Set*) e PPS (*Picture Parameters Set*). Além disso, este *software* também permite inserção de legendas, bem como a demultiplexação de um MPEG2-TS.

IV. EXPERIMENTOS DE TVD

Esta seção explora um ambiente para ensaios de TVD que envolve as etapas descritas na Figura 1. Os modos de transmissão permitidos pela Placa Moduladora DTA-115 são ilustrados na Figura 3. A transmissão (saída da placa DTA-115) pode ser realizada de duas formas: (i) transmissão com a utilização de antenas, através da saída RF (Rádio Frequência), cujos parâmetros de transmissão do ISDB-T são configurados através do *software* StreamXpress [9]; (ii) transmissão através da interface ASI (*Asynchronous Serial Interface*) em conjunto com o adaptador DTU-225 para decodificação com o *software* StreamXpert [9].

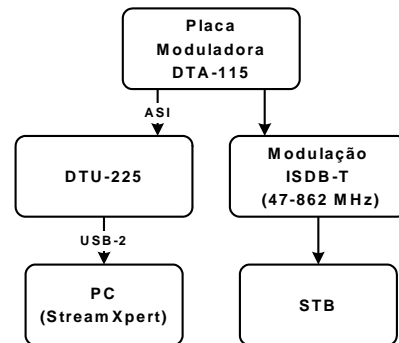


Fig. 3. Placa moduladora Dektec DTA-115.

A Figura 4 ilustra o *framework* proposto com a placa de modulação DTA-115 acoplada a um PC (com o Sistema Operacional Windows 7 de 32 bits, Processador Core 2 Quad 2,4 GHz e 4 GB de RAM), um decodificador (STB) e um monitor de TV para exibir a recepção do sinal de TVD. A transmissão deste sinal é realizada com o auxílio de um par de antenas monopolos, sendo uma conectada à saída RF da placa moduladora e a outra acoplada ao STB Proview XPS-1000.



Fig. 4. *Framework* para ensaios de TVD.

A fonte audiovisual utilizada neste ensaio está disponível em [12] na resolução HD (*High Definition* – 1920x1080 *pixels*) com duração de 9min56s. O vídeo contido neste arquivo está codificado em H.264/AVC e o áudio em AAC. Contudo, a codificação está com características distintas àquelas pertencentes ao SBTVD. Logo, neste trabalho optou-se pela codificação segundo os parâmetros recomendados pelas Normas Brasileiras de Codificação de Vídeo (ABNT NBR-15602-1) [13] e de Áudio (ABNT NBR-15602-2) [14].

A. Modulação e Transmissão Sem Fio do Sinal de TVD

Os parâmetros de modulação do sinal de TVD podem ser configurados através do *software* StreamXpress. A Figura 5

ilustra a janela principal do *software*, cuja frequência de operação pode variar entre 47 e 862 MHz. A potência de saída da placa moduladora varia entre -31.5 dBm e 0 dBm. Nestes experimentos foram empregadas curtas distâncias, devido à limitação de cobertura do sinal da placa moduladora.

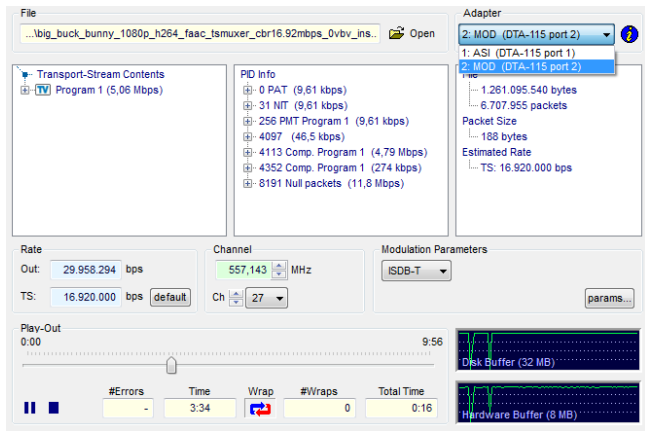


Fig. 5. Janela principal do *software* de modulação StreamXpress.

A Figura 6 ilustra as possibilidades de configuração de modulação acessadas pela opção “params” do *software* StreamXpress, dentre as quais: (i) Camada hierárquica: A, B, C [padrão: A]; (ii) Quantidade de segmentos: 13 (0 a 12) [padrão: 13 segmentos na camada A]; (iii) Esquema de modulação: DQPSK (*Differential Quadrature Phase-Shift Keying*), QPSK, 16QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) e 64QAM [padrão: 64QAM]; (iv) Taxa de código: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 [padrão: 3/4]; (v) Entrelaçador no tempo: 0, 2, 4, 8, 16 [padrão: 2]; (vi) Intervalo de guarda: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 [padrão: 1/8]; (vii) Modo de operação: 1, 2, 3 [padrão: 3].

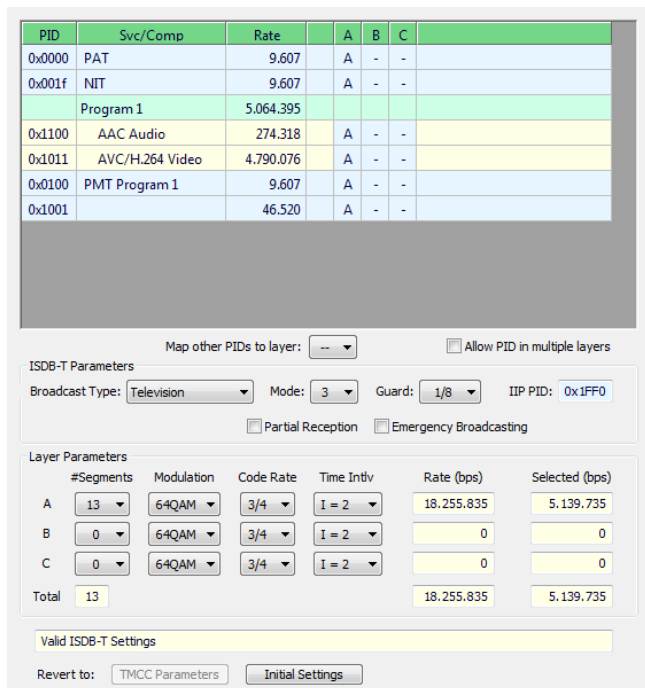


Fig. 6. Opções de configuração de modulação do *software* StreamXpress.

A Figura 7 ilustra a sintonia e recepção do sinal de TVD proposto neste *framework*.

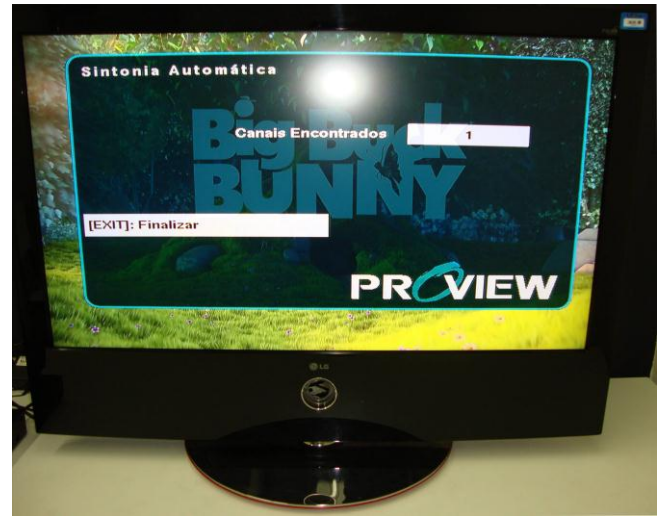


Fig. 7. Sintonização do sinal de TVD.

Neste trabalho, optou-se pelos padrões de modulação disponíveis no *software* StreamXpress aplicados sobre o canal 27 (557,143 MHz). Além disso, esta ferramenta permite a transmissão cíclica (*looping*) do sinal, através da opção *wrap*.

B. Utilização da Interface ASI/USB

Além da modulação e transmissão sem fio do sinal de TVD também é possível transmitir o sinal via cabo, através da saída ASI da Placa Moduladora DTA-115 com a opção DVB-ASI (*Digital Video Broadcasting-ASI*) que envia o sinal para o equipamento DTU-225 que realiza a conversão do sinal ASI-USB-2 para que seja decodificado em um PC. A Figura 8 ilustra a transmissão de um TS com a opção DVB-ASI.

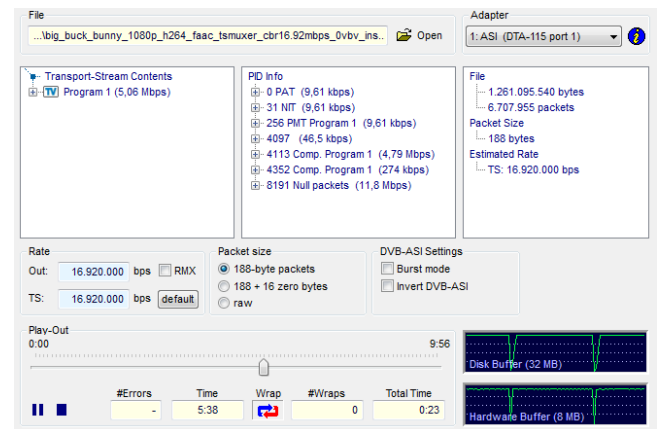


Fig. 8. Transmissão DVB-ASI através de cabos.

A recepção do sinal DVB-ASI é realizada através do equipamento DTU-225, cuja decodificação é feita pelo *software* StreamXpert instalado no PC da Figura 4. A Figura 9 ilustra a recepção do sinal DVB-ASI. Nesta opção é possível analisar os dados contidos no TS, tais como tabelas PAT (*Program Association Table*), SIT (*Selection Information*

Table), PMT (*Program Map Table*) que contém os programas de áudio e vídeo e o PCR (*Program Clock Reference*).

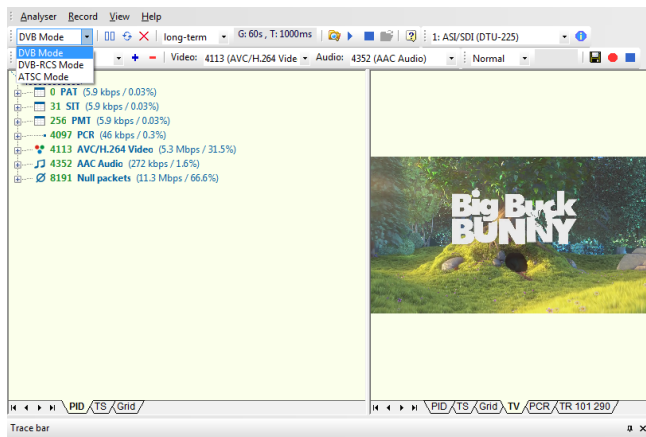


Fig. 9. Recepção do sinal DVB-ASI.

O StreamXpert também permite decodificar o conteúdo audiovisual do TS através da aba “TV”. Dessa forma, caso ocorra alguma degradação que se reflete em artefatos, o usuário poderá identificá-los e checar os parâmetros de codificação e/ou multiplexação e realizar ajustes. No modo de transmissão via cabo, o *software* StreamXpress possui restrições quanto ao padrão de modulação, sendo possível apenas a operação em DVB-ASI.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho propõe um *framework* para ensaios de TVD de baixo custo, com a utilização de *softwares* livres para as tarefas de conversão entre formatos, codificação/compressão e multiplexação. Estas ferramentas livres embora apresentem algumas restrições, caso estejam devidamente configuradas, atendem à principal proposta deste *framework*: realizar ensaios de TVD livres de distorções e artefatos. Com relação aos custos, embora este trabalho utilize ferramentas livres, alguns equipamentos são necessários para a realização de ensaios de TVD. A placa moduladora DTA-115-SP e o conversor DTU-225-SX custam 1.995 euros 1.945 euros, respectivamente, enquanto que o STB Proview XPS-1000 tem custo de 200 reais, aproximadamente. Há várias opções de monitores LED ou LCD disponíveis no mercado, cujos preços variam em função da tecnologia/marca e de sua dimensão. Neste trabalho utilizou-se um monitor de TV LCD, marca LG de 42 polegadas com custo em torno de 1.700 reais. A taxa de multiplexação tem forte influência sobre a qualidade da recepção do sinal. Neste trabalho, foram realizados testes com a variação da taxa de multiplexação. Dentre os quais, a aplicação de uma taxa variável de *bits* (VBR) sobre o MPEG2-TS. Observa-se que ao empregar taxas variáveis ocorrem distorções no áudio e no vídeo, bem como o surgimento de diversos artefatos, tais como travamentos e blocagem. Alternativamente, ao aplicar uma taxa constante de *bits* (CBR) com valor ligeiramente superior à soma das taxas de codificação de áudio e de vídeo obtêm-se uma transmissão e recepção isenta de distorções e artefatos.

Como trabalhos futuros, sugere-se outros experimentos com a variação da distância entre as antenas transmissora e

receptora, bem como a atenuação ou inclusão de ruído no sinal, através da opção *tools* do *software* StreamXpress. Esse sinal submetido a condições de ruído e atenuação poderá ser medido com o auxílio de um analisador de espectro. Além disso, sugere-se a elaboração de uma ferramenta com interface gráfica que agrupe os processos de conversão de formato (aquisição), codificação de áudio e vídeo e a de multiplexação em MPEG2-TS.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pelo suporte ao projeto intitulado “Formação de Pessoal Qualificado em Sistemas de Transmissão de TV Digital no Paraná – Processo 23038.23556/2008-16 AUX-PE-RH-TVD 249/2008”.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Silva, “Receptores de TV Digital”, *In. Revista da Sociedade Brasileira de Engenharia de Televisão*, ISSN 1980-2331, n. 105, pp. 27-29, 2008.
- [2] M. Sasaki, “Terrestrial Digital Television Broadcasting”, *NHK Broadcast Technology*, n. 20, pp. 14-19, 2004.
- [3] FFMPEG, disponível em: <<http://www.ffmpeg.org>>.
- [4] X264, disponível em: <<http://x264.nl/>>.
- [5] ITU-T Rec. H.264 and ISO/IEC 14496-10 (MPEG4-AVC), “Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services”, v5.0, Março, 2010.
- [6] Faac, disponível em: <<http://www.audiocoding.com>>.
- [7] ISO/IEC 14496-3, “Information Technology – Coding of Audio-Visual Objects – Part 3”, Third Edition, 2005.
- [8] tsMuxeR, disponível em: <<http://www.smlabs.net/>>.
- [9] Dektec, disponível em: <<http://www.dektec.com/>>.
- [10] M. C. Paiva, “Uma implementação em software do subsistema de transmissão do padrão ISDB-Tb”. Dissertação de mestrado, INATEL, 2009.
- [11] ARIB STD-B31:2005, “Transmission system for digital terrestrial television broadcasting”, 2005.
- [12] Blender Foundation, “Big Buck Bunny”, disponível em: <<http://www.bigbuckbunny.org/>>.
- [13] ABNT NBR-15602-1, “Televisão digital terrestre – Codificação de vídeo, áudio e multiplexação, Parte 1: Codificação de vídeo”, disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15602-1_2007Vc_2008.pdf>.
- [14] ABNT NBR-15602-1, “Televisão digital terrestre – Codificação de vídeo, áudio e multiplexação, Parte 1: Codificação de áudio”, disponível em: <http://www.dtv.org.br/download/pt-br/ABNTNBR15602-2_2007Vc_2008.pdf>.