




VÍDEO



Este Guia é um novo paradigma das medições para as indústrias de televisão e telecomunicações. Informações teóricas, dados experimentais, documentos apresentados em conferências e seminários, artigos publicados em jornais e revistas, serão divulgados em próximas edições.

Para expressar o seu interesse por novas tecnologias e obter informações e novidades técnicas e teóricas, produtos disponíveis na área, resumos técnicos ou outros recursos para auxiliar engenheiros que trabalham com tecnologia avançada, visite nossos sites ou entre em contato direto. A Tektronix possui uma coleção bastante abrangente sobre o assunto.



TEKTRONIX

[www.tektronix.com.br](http://www.tektronix.com.br)



**Tektronix®**

# VÍDEO



*Editora SENAI*  
Rio de Janeiro  
**2009**

© 2009. **TEKTRONIX**

Direitos da obra original em inglês.  
Tradução e impressão autorizadas para o SENAI Departamento Nacional.

**Tradutor**

Dalton Vilella Camilher

**Revisora Técnica**

Nelia Caetano

**Catálogo-na-Publicação (CIP) - Brasil**

T 235 v

Tektronix.

Vídeo / Tektronix ; tradução Dalton Vilella Camilher. - Rio de Janeiro : Ed. SENAI, 2009.

44 p. : il. ; 23 cm. - (Coleção TV Digital)

Tradução de: A guide to vídeo mesaure-ments for compressed television system

ISBN 978-85-99002-12-4

1. Engenharia eletrônica e comunicação. 2. Vídeo. I. SENAI Departamento Nacional. II. Título.

CDD: 621.38044

*Editora SENAI*

Rua São Francisco Xavier, 417 - Maracanã  
20550-010 - Rio de Janeiro - RJ  
Tel.: (0XX21) 3978-5314  
editorasenai@rj.senai.br

# Introdução



Convergência é um termo popular nos dias atuais. Ele tem muitas definições e muitos fatores dependendo da perspectiva de cada um e da base tecnológica. Do ponto de vista de um generalista (aquele que tem visão geral), a convergência pode ser definida como “o advento conjunto das tecnologias da comunicação, do computador e da televisão para prover informação de todo tipo a qualquer local”. Um dos pontos principais da convergência é a necessidade de uma tecnologia completamente nova para avaliação dos modernos sistemas de televisão.

Neste guia, os aspectos de teste de vídeo são apresentados baseados no entendimento de um sistema completo de televisão incluindo produção, compressão, descompressão e a exibição ou reutilização do programa original. A necessidade da contínua aplicação dos métodos de testes de vídeo



tradicionais é explanada juntamente com suas limitações para identificar os distúrbios introduzidos pela compressão de vídeo. Com a variedade de métodos de compressão de vídeo em uso e sendo desenvolvidos, há uma exigência por métodos de avaliação da qualidade da imagem que são independentes da compressão algorítmica e seus distúrbios relacionados.

Uma visão geral de testes subjetivos, que usa um painel de observadores, é apresentada como sendo o sustentáculo para o desenvolvimento do sistema de compressão de vídeo. Devido à complexidade e variabilidade de testes subjetivos há uma forte cobrança por um instrumento objetivo de medida como os que usamos hoje para sistemas de televisão tradicionais.

As vantagens e limitações da proposta objetiva dos algoritmos de teste são apresentadas levando à conclusão de que um método baseado em uma representação do sistema visual humano é necessário para os melhores resultados. Para completar o guia, a implementação de um algoritmo para avaliação da qualidade objetiva da imagem em um instrumento prático de medida é mostrada para levar à análise da combinação da tecnologia tradicional de vídeo com a moderna tecnologia da computação.

## **Sistema de Televisão Comprimido**

### **Compressão não é novidade!**

Há duas razões para comprimir sinais de vídeo de televisão, limitações práticas do processamento de velocidade (largura de banda) e o custo da transmissão ou armazenamento resultante da largura de banda exigida. Hoje, a disponibilidade de semicondutores de alta velocidade e circuitos integrados faz com que a última razão seja a mais importante em quase todas as aplicações.

Virtualmente, todos os métodos de compressão de vídeo utilizam as limitações do sistema visual humano para remover a informação da imagem menos visível que deveria, por outro lado, estar presente. Os primeiros sistemas práticos de transmissão de televisão usavam uma forma de compressão chamada entrelaçada. Imagens de movimento são simplesmente séries de imagens estáticas apresentadas ao observador humano. Com o fim de evitar visível tremulação no processo de apresentação, as imagens estáticas têm que ser apresentadas ao observador humano a uma taxa rápida de 48 a 60 imagens por segundo ou maior. As imagens de movimento dos filmes de entretenimento são gravadas (filmadas) a 24 quadros por segundo, o que produz um movimento suave e então apresentado na tela pelo menos duas vezes para cada quadro para permitir uma imagem livre de tremulação.

Para prover informação visual suficiente cada imagem necessita perto de 500 elementos de amostra (hoje chamados de pixels) em cada direção<sup>1</sup>. Para gerar e transmitir tal seqüência de imagens de forma analógica seria necessário uma velocidade de processamento e largura de banda de transmissão próxima de 10 MHz, o que era difícil para a tecnologia disponível e excessivo devido ao espectro de frequência de rádio disponível.

Imagens de televisão são geradas e apresentadas pela varredura da cena da esquerda para a direita e de cima para baixo com 500 linhas de varredura ou mais para formar a imagem. Isto é conhecido como varredura

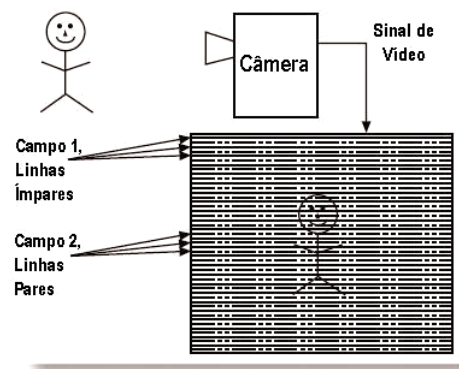
---

<sup>1</sup> As Américas, o Japão e a Coréia usam o sistema de 525 linhas e 60 campos/s, enquanto a maioria do resto do mundo usa o sistema de 625 linhas e 50 campos/s.



progressiva. A varredura entrelaçada reduz a largura de banda exigida pelo fator de dois com razoável degradação da imagem para a aplicação pretendida de entretenimento. Em vez de enviar 50 ou 60 quadros por segundo, cada quadro é dividido em dois campos contendo a metade do número total de linhas. As linhas do primeiro campo do quadro são alternadas, digamos 1, 3, 5... e as linhas do segundo campo completam as linhas que faltam, como mostrado na figura 1. A degradação da imagem devido ao entrelaçamento é uma cintilação conhecida como tremor entre linhas, entretanto a qualidade é bastante satisfatória para entretenimento de vídeo se assistido à distância de várias imagens a partir do aparelho. (O entrelaçamento não é satisfatório para monitores de computador, assistido freqüentemente à distância de uma imagem ou menos para informação detalhada no monitor). Assim, nos anos 30 ou 40 nós estávamos usando compressão de vídeo que fornecia uma redução da largura de banda de dois para um.

Nos anos 50 foi desenvolvida a televisão colorida. Uma única figura colorida requer três imagens, especificamente vermelha, verde e azul (RGB) para dispositivos emissores de luz como tubos de raios catódicos (CRT). Começando pela completa varredura progressiva da imagem isto requeria uma largura de banda de 30 MHz para fornecer a taxa desejada da imagem. Obviamente, o entrelaçado é usado reduzindo a largura de banda para 15 MHz para um sistema RGB analógico. Dentro do estúdio os sinais são levados por três cabos separados a uma largura de banda de 5 MHz ou mais cada um, como mostrado na figura 2.



► Figura 1. Varredura de Interlace.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

Um esquema fundamental de compressão usado em televisão colorida é converter os três sinais de cores para o domínio da diferença de cores onde a imagem é representada por uma imagem de luminância (equivalente à monocroma anterior) e duas imagens de diferença de cores, R-Y e B-Y. Outro nome para este sistema é YUV, Y para luminância e U, V para os dois sinais de diferença de cores. Novamente usando as limitações do sistema visual humano, neste caso a acuidade visual para cor é menor do que para a luminância, a largura de banda dos sinais de diferença de cores é reduzida em 50% para a largura de banda total YUV necessária de 10 MHz. Hoje, os sinais YUV são usados em ambas as formas analógicas e digitais e têm muito pouca degradação visual comparada com o vídeo RGB entrelaçado. As duas formas são conhecidas como vídeo componente com YUV sendo usado para a maioria das aplicações.

A televisão colorida dos anos 50 e até recentemente, requeriam compressão adicional para se encaixar a largura de banda de 6 MHz dos canais de transmissão e para ser compatível com a base monocromática dos aparelhos de TV. Para realizar esta tarefa os dois sinais de diferença de cor são posteriormente reduzidos em largura de banda para perto de 1,5 MHz cada e modulado em quadratura sobre uma subportadora que é subseqüentemente adicionada ao sinal de luminância produzindo o sinal de vídeo composto. Os compostos NTSC e PAL<sup>2</sup> produzem uma qualidade de vídeo colorido para entretenimento muito bom em uma largura de banda de 5 MHz, uma taxa de compressão de seis para um da varredura progressiva ideal de vídeo RGB. A compressão final de dois para um da componente para o composto realmente produz uma notável degradação da imagem, incluindo a informação de croma visto como luminância incorreta e vice-versa<sup>3</sup>.

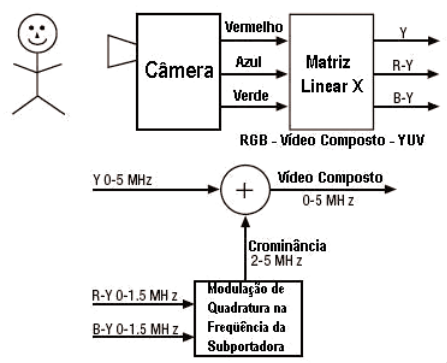
Hoje, usando métodos de compressão digital modernos, quatro ou mais sinais de televisão de componente digital de excelente qualidade podem ser liberados para os lares empregando técnica digital de modulação de RF proporcionando uma capacidade útil protegida contra erros de 20 Mb/s

<sup>2</sup> O NTSC (National Television System Committee) é usado na maioria dos países que usam 525 linhas e o PAL (Phase Alternating Line) é usado em muitos, mas não em todos, os países que usam 625 linhas.

<sup>3</sup> Para uma descrição mais completa sobre televisão digital básica, veja: "A Guide to Digital Television Systems and Measurements", literatura da Tektronix número 25W-7203.



nos mesmos 6 MHz por canal de transmissão. Se provindo de uma fonte componente digital de alta qualidade, os múltiplos sinais de televisão resultantes têm um notável aprimoramento da qualidade sobre o sinal único de vídeo composto de largura de banda de 6 MHz.



► **Figura 2.** Compressão analógica de televisão.

## Métodos de Compressão Digital

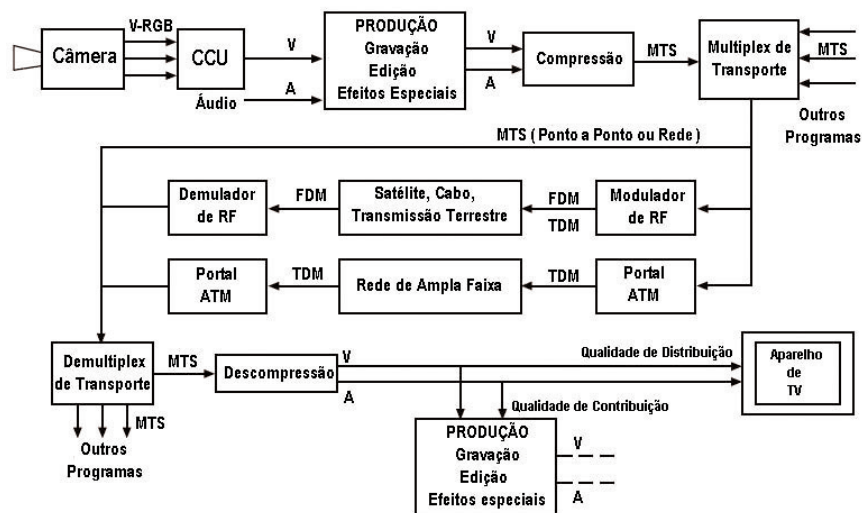
O vídeo digital tornou realidade em 1973 com a invenção do corretor de base de tempo digital baseado no sinal composto para gravadores de vídeo tape. No começo dos anos 80 um padrão de vídeo componente digital foi desenvolvido mundialmente requerendo 216 Mb/s ou 270 Mb/s dependendo do uso dos valores de amostras de 8 bits ou 10 bits. Este padrão é comumente conhecido como Rec 601<sup>4</sup>. É a estrutura de amostragem dominante para televisão digital e seu emprego mostra rápido crescimento para todos os tipos de aplicações. Desde a aprovação do padrão Rec 601 muitas pesquisas e desenvolvimentos têm sido direcionados para a redução da taxa de dados digitais de vídeo resultando em uma variedade de métodos de compressão de vídeo. Cada um destes métodos de compressão tem suas próprias vantagens, desvantagens e degradação característica da imagem.

<sup>4</sup> Rec. ITU-R BT.601, "Codificando Parâmetros de Televisão Digital para Estúdios". Originalmente foi a Recomendação nº 601 do CCIR, mas foi mudada para a Recomendação ITU-R BT.601. A "Rec 601" é usada por todo este guia.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

Será importante para qualquer instrumento de medida de qualidade de imagem de propósito geral produzir um resultado que seja independente do método de compressão usado. Alguns dos mais importantes métodos para compressão de imagem individual são brevemente descritos abaixo.

- A Modulação por Código de Pulso Diferencial (DPCM) é uma técnica onde somente as mudanças no nível do sinal são codificadas usando geralmente uma escala não linear. Um valor de pixel completo é enviado em bases regulares para reinicializar o sistema em caso de erro. Alguns sistemas empregam um “vazamento” (diminuição) do valor atual para posteriormente reduzir erros potenciais.



► **Figura 3.** Sistema moderno de televisão.

- A Codificação da Sub-banda usa um banco de filtros para separar a imagem em diferentes bandas de freqüência em duas dimensões. Cada banda de freqüência pode ter uma quantização separada e uma estratégia de codificação. A filtragem seletiva de certas freqüências e aplicação recursiva de pares simples de filtros passa-baixa/passa - alta são técnicas comuns.



- As wavelets são uma generalização da teoria de Fourier. As entradas são decompostas para uma base cuja totalidade é de transposições e escalamentos de uma função única. A propriedade de escalamento é freqüentemente usada para criar uma pirâmide de resoluções de espaço diferentes de cada imagem. O processo de decomposição é implementado por bancos de filtros (tal como na codificação de sub-banda). Diferente quantização e estratégias de codificação são aplicadas a diferentes resoluções.
- Fractais são descrições (imagens) geradas matematicamente que parecem padrões complexos encontrados na natureza (por exemplo, o litoral e as elevações topográficas de um território vistas de uma fotografia aérea). A imagem codificada é construída a partir de um número de diferentes equações fractais. A propriedade chave de um fractal é a auto-similaridade em diferentes regiões de domínio.
- A Quantização por Vetor é uma técnica onde um vetor (geralmente um quadrado das amostras de um componente de cor de uma imagem) é representado por um número único. Este número é um índice em um livro código pelo qual o vetor é reconstruído. As maiores dificuldades são os cálculos para um livro código robusto e a escolha do melhor valor do livro código para um dado vetor.
- A codificação da Transformada do Coseno Discreto (DCT) é similar às wavelets e à codificação da sub-banda, exceto que a DCT opera com blocos de pixels (geralmente 8x8) em vez da imagem completa. A transformada converte sem perdas os dados de espaço em dados de freqüência de espaço para o bloco. A compressão é efetuada com o uso de menos bits (quantização bruta) para a maior freqüência de coeficientes DCT. Muitos sistemas de compressão padronizados para televisão e vídeo conferência empregam a técnica DCT.

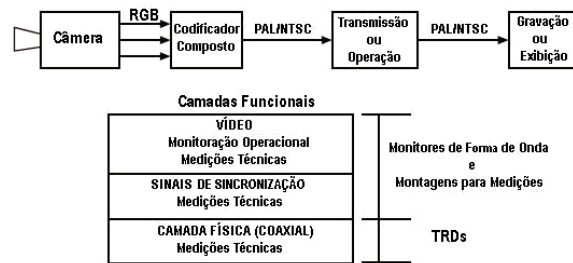
O método de compressão que está se tornando dominante hoje é chamado MPEG-2, definido como Grupo de Especialistas em Imagens de Movimento (Motion Picture Experts Grup) e padronizado pela ISO (Organização de Padrões Internacionais) e IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional). O MPEG-2 é baseado no método DCT em combinação com técnicas de compressão temporal poderosa<sup>5</sup>. Embora algumas aplicações possam ser mais

---

<sup>5</sup> Ver "MPEG-2 Fundamentals for Broadcast and Post-production Engineers" para uma breve descrição do método de compressão MPEG. Literatura da Tektronix número 2AW-1061.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

bem servidas por outros métodos de compressão, em particular as exigências de bits muito baixos da Internet ou a transmissão de rádio/vídeo para celular, é esperado que o MPEG-2 se torne o método mais amplamente usado em um futuro próximo, por várias razões. Um, é um padrão de consenso que é ótimo ou bom o bastante para uma grande variedade de aplicações. Dois, um grande esforço está voltado para o desenvolvimento de chips de codificadores e decodificadores de baixo custo. Três, o aparecimento de uma grande base instalada será um atrativo para muitos desenvolvedores de equipamentos e aplicações.



► Figura 4. Sistema de Vídeo Analógico

## 0 Sistema Moderno de Televisão

Um diagrama em blocos simplificado de um moderno sistema de processamento, compressão e transmissão de televisão é mostrado na figura 3. Televisão consiste nominalmente de áudio e vídeo; entretanto, o sistema pode incluir sinais de dados e controle (não mostrado na figura), assim sendo, pode ser tido como um sistema multimídia. É mostrada a transmissão em uma direção. Para operação interativa seria necessária a disponibilidade de alguns ou todos os elementos da direção reversa. Múltiplos métodos são descritos, particularmente em transmissão, tornando este diagrama uma visão geral de muitos tipos de aplicações. Não é apresentado um método específico de compressão, entretanto o fluxo de transporte MPEG-2 é mostrado na área de transmissão, desde que pode ser considerado um esquema de multiplexação de uso geral capaz de transmitir qualquer tipo de sinal comprimido de áudio e vídeo.



O sinal de vídeo analógico RGB é produzido na câmera e processado em um ou mais dos vários formatos possíveis; composto analógico, composto digital, componente analógico ou componente digital. A largura de banda completa de vídeo digital é parte extremamente importante do sistema de televisão atual. Os processos de produção dos programas têm que ter uma largura de banda completamente digital (ou analógica) a fim de manipular a imagem para produzir os resultados artísticos desejados.

Continuando a produção de programa, o sinal de televisão pode ser comprimido para armazenamento, transmissão eficiente ou facilidade de interconexão interna na forma digital. Tipicamente, esta será a compressão MPEG-2, resultando em um fluxo de transporte MPEG (MTS – MPEG transport stream) que pode ser multiplexado com outros fluxos de transporte MPEG para transmissão e interconexão.

Embora a divisão de frequência multiplexada seja comumente usada para transmissão de sinais de televisão de RF, sistemas novos usam esquemas de modulação digital e divisão de tempo multiplexada (TDM – time division multiplexing) que geralmente é mais robusto para a mesma potência transmitida e provê o canal digital para sinais de televisão comprimidos. É importante notar, que mesmo a transmissão de vídeo digital comprimido para residências frequentemente começa com vídeo digital de largura de banda completa para chegar a uma taxa de bits eficiente, estatisticamente o sistema de compressão multiplexado.

O sistema de telecomunicação de banda larga oferece uma variedade de métodos de transmissão. Tradicionalmente, estes têm sido canais de voz orientados com mapeamento especial de dados para sinais digitais de televisão. Embora a hierarquia do mapeamento direto do MTS para o PDH/SDH esteja em processo de padronização, é esperado que o modo de transferência assíncrono (ATM – asynchronous transfer mode) se tornará o método preferido de transferência de vídeo internamente facilitado. No ponto final de recepção de um sistema de transmissão o programa desejado é demultiplexado de MTS e os dados do programa são “descomprimidos”. Uma das vantagens da compressão é a capacidade de fornecer diferentes níveis de qualidade de imagens de vídeo baseado em diferentes taxas de bits. A distribuição da qualidade para as residências pode ser adequada

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

com taxas de bits de 2 Mb/s até 8 Mb/s para televisão de definição padrão (SDTV) e 20 Mb/s para televisão de alta definição (HDTV). É necessária maior contribuição à qualidade se um processamento posterior da produção for planejado para vídeo “descomprimido”. Neste caso, taxas de bits de 18 Mb/s até 50 Mb/s são exigidas para SDTV e de 200 Mb/s até 400Mb/s para HDTV.

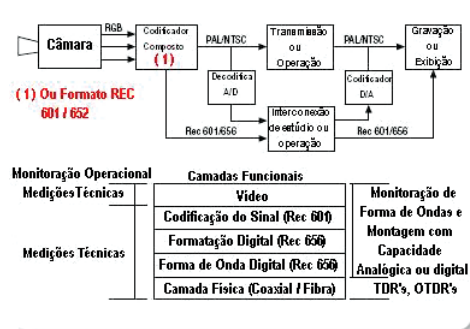
Testes de vídeo para este moderno sistema de televisão não é um mero caso de desenvolvimento de novas técnicas para avaliação dos efeitos de compressão. A porção significativa do sistema que emprega sinais analógicos e sinais digitais de largura de banda completa requer a aplicação de métodos analógicos tradicionais e métodos recentemente desenvolvidos de teste digital.

Para determinar a degradação da qualidade da imagem causada pela compressão, um sistema de medida de vídeo precisa considerar as várias mudanças dos formatos dos sinais que afetam o vídeo em todo o sistema.

## Conceitos de Teste de Vídeo

### 0 crescimento das camadas funcionais

Durante o meio século de largo uso da televisão houve um modelo relativamente simples para análise de vídeo analógico. A figura 4 mostra um diagrama em bloco básico do sistema analógico de vídeo, suas camadas funcionais e métodos de teste.



► Figura 5. Sistema Híbrido de Vídeo Digital/Análogo.



O teste é realizado em uma interconexão que geralmente leva um sinal composto PAL ou NTSC. Um único instrumento de medida pode analisar tanto os aspectos operacionais, como o nível do sinal ou o equilíbrio de cores, quanto a formatação de dados que é a parte do sinal de sincronismo da mesma forma de onda do sinal de vídeo.

Esta análise da qualidade do sinal por todo o trajeto da transmissão usando um conjunto de sinais de testes proporciona um trabalho adequado da caracterização da qualidade da imagem resultante. A idéia de um conjunto de sinais de testes é importante. Nenhum sinal de teste irá caracterizar o sistema e a interpretação de algum especialista tão bem quanto à inspeção visual das imagens resultantes. Para transmissão de sinais por cabos coaxiais dentro de instalações, um equipamento de teste separado, o reflectômetro no domínio do tempo, é usado para assegurar a continuidade da camada física. A transmissão de longo alcance é por modulação em amplitude ou frequência sobre uma portadora, entretanto as características do canal resultante para o vídeo são ainda determinadas por medidas analógicas como aquelas especificadas no ANSI T1.502<sup>6</sup>.

Com o advento da televisão digital nos últimos 15 anos, o diagrama bloco de um sistema mais complexo e um arranjo de camadas funcionais tem sido necessário, como mostrado na figura 5. O sinal analógico é convertido para digital em acordo com um padrão de amostragem como o Rec. 601.

A formatação e a interconexão em estúdio do sinal digitalizado seguem um padrão correlato, Rec. 656<sup>7</sup>, levando a uma extensão das camadas funcionais e a uma variedade de testes a serem realizados. Para propósitos funcionais, a chave ainda é o monitoramento das propriedades dos sinais de vídeo; entretanto, este sinal tem que ser processado dos dados digitais. Enquanto os testes do sinal analógico requeriam apenas que vários parâmetros fossem medidos em uma única forma de onda, os testes digitais requerem análises da forma de onda digital, da formatação dos dados digitais e da codificação do sinal digital além do sinal analógico resultante.

---

<sup>6</sup> Padrão ANSI T1.502 "Especificações da Interface da Rede de Sinais de Televisão do Sistema M-NTSC e Parâmetros de Performance".

<sup>7</sup> Rec. ITU-R BT.656, "Interfaces para Sinais de Vídeo Componente Digital em Sistemas de Operação de Televisão de 525 linhas e 625 Linhas ao nível 4:2:2 da Recomendação 601".

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

Novamente um conjunto de sinais de teste é exigido, ampliando o conjunto de necessidades para além dos testes somente analógicos. Embora todas estas medições possam ser realizadas com um único instrumento, como um Tektronix WFM601M ou VM700T, há significativo processamento entre cada par de camadas com diferentes métodos de análises para cada camada. Antes do advento das técnicas de compressão digital, a transmissão destes sinais de maior qualidade era efetuada pela compressão no domínio do composto analógico. A conversão analógico-digital e digital-analógico realmente introduz alguma degradação na qualidade do sinal além daquela do sinal básico NTSC ou PAL.

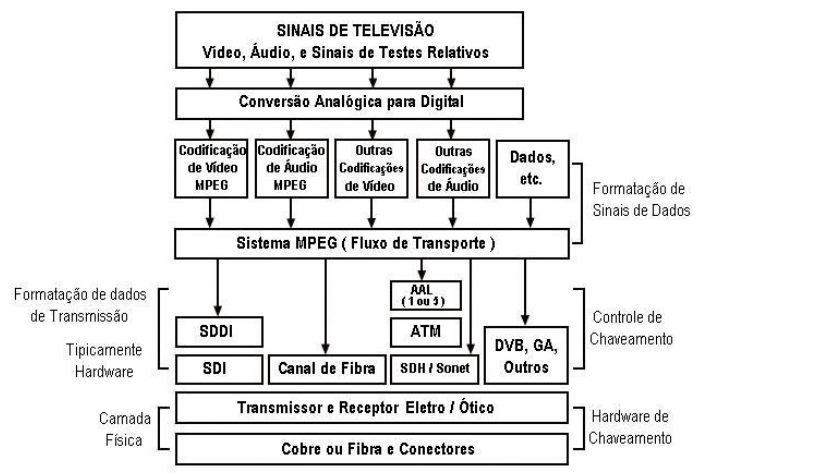
Com a convergência da televisão com a telecomunicação, não apenas há muito mais camadas funcionais a serem consideradas pelos engenheiros de teste, mas há vários caminhos possíveis com diferentes camadas. A figura 6 mostra um pouco dos caminhos e camadas funcionais possíveis. A ênfase é na transmissão para instalações internas e de banda ampla, entretanto os sistemas de Transmissão de Vídeo Digital (DVB) e Grand Alliance (GA) realmente incluem os métodos de transmissão de RF e a cabo para levar os dados do transporte stream MPEG. Não há um acordo mundial sobre a camada física para interconexão básica transporte stream, embora muitos tenham sido elaborados. Um tipo tão simples quanto à lógica acoplada por emissor (ELC – emitter-coupled logic) de dados em série com clock em pares de fios trançados ou cabo coaxial funcionaria, entretanto outros métodos mais flexíveis (com mais camadas funcionais) estão geralmente sendo usados. Na figura são mostradas três interconexões possíveis com funcionalidades que vão desde internamente a uma edificação até intercontinental.

A Interconexão Digital em Série (SDI - Serial Digital Interconnect) é o padrão mundialmente usado Rec. 656 para vídeo digital em série. O SMPTE Grupo de Trabalho em Interconexões de Televisão por Pacotes está desenvolvendo um método para transportar dados de vídeo com o mesmo hardware de cabos e chaves, que é chamado SDDI (serial digital data interconnect). O tipo de interconexão de rede interna de televisão, considerada pela ANSI e SMPTE, é canal a fibra, que proporciona alta velocidade, grandes tamanhos de pacotes e custo razoável de hardware. Os méto-



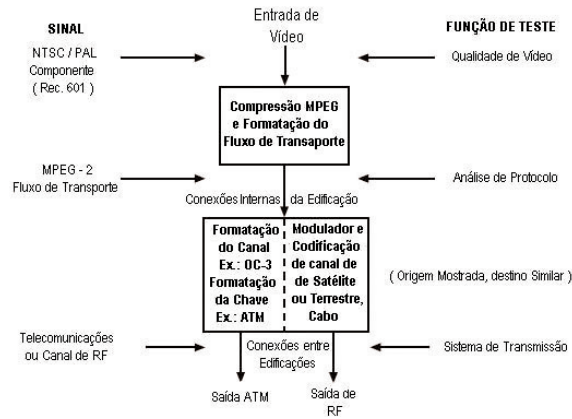
dos da hierarquia de sincronismo digital (SDH) em telecomunicação são mundialmente bem estabelecidos e podem levar diretamente o transporte stream MPEG-2 com formatação simples de dados, embora presentemente não haja um padrão. Visualizando o futuro, o ATM é o método esperado para transmissão de pacotes de dados, certamente para longas distâncias e talvez dentro do estúdio. Para usar o ATM, a adaptação de uma camada especial é definida para mapear pacotes transporte stream em pacotes de 53 bytes ATM. O grupo DVB da Europa definiu as interconexões ponto-a-ponto para estúdio, tanto paralelas quanto em série, para ser usada em transmissão digital de televisão em acordo com os padrões de telecomunicações europeu para cabo e satélite.

Três camadas chaves de teste podem ser definidas para o moderno sistema de televisão, como mostrado na figura 7. Cada um tem o seu próprio subconjunto de camadas de testes mais detalhadas. A qualidade do vídeo para sistemas de compressão para televisão é um assunto muito mais complexo que o simples uso de métodos de medidas indiretas de vídeo não comprimido. Isto será analisado em detalhes nas seções subseqüentes deste guia.

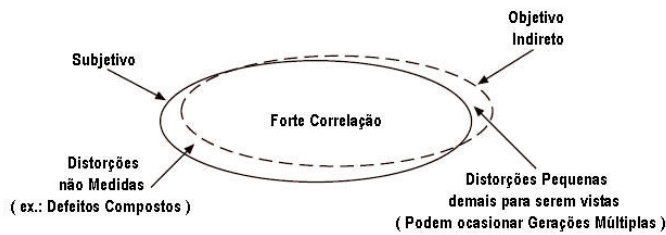


► Figura 6. Camadas Funcionais da Televisão Moderna.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos



► Figura 7. Camadas de Testes Funcionais.



► Figura 8. Medidas Tradicionais de Vídeo.

Uma vez que a imagem tenha sido comprimida, os dados resultantes são formatados para conexões internas de instalações. Exemplos do emprego de tais conexões são: intercâmbio de programa entre servidores de disco de vídeo ou vários codificadores de áudio/vídeo enviando programa único de transporte stream para um multiplexador para produzir um programa múltiplo de transporte stream para transmissão. Esta é uma camada apropriada para teste de protocolo porque a formatação dos dados pode ser bastante complexa e é relativamente independente da natureza dos sinais não comprimidos ou da conversão eventual para formatos de transmissão



entre edificações. Para a maioria dos sistemas de transmissão de televisão o transporte stream MPEG-2 é o denominador comum no nível de dados comprimidos. A sintaxe e a semântica tanto para os dados comprimidos quanto para o transporte stream são bem definidos. Um típico equipamento de teste de protocolo como o Tektronix MTS 200 e MTM 300, poderá ser usado como uma fonte de sinal válido conhecido, ou especificamente inválido, e um analisador que localiza erros com respeito a um padrão definido e determina o valor de vários parâmetros operacionais para o stream de dados. Há um bom número de métodos possíveis de transmissão entre edificações, como descrito previamente. Muitos são bem estabelecidos, como o SDH/Sonet e a televisão a cabo, com uma variedade de equipamentos de testes efetivos disponíveis. O ATM é uma tecnologia emergente com novos equipamentos de testes no mercado ou ainda em desenvolvimento. A adaptação dos tradicionais equipamentos de teste de comunicação para analisar ou interconectar com o transporte stream MPEG-2 estão a caminho.

### Qualidade de Vídeo

Existem várias dimensões de métodos de medidas de qualidade de vídeo que precisam ser definidos. Estes são sumarizados na tabela à direita. Medidas subjetivas são o resultado dos observadores humanos fornecendo suas opiniões sobre a qualidade do vídeo. Medidas objetivas são executadas com o auxílio da instrumentação, manualmente com a leitura humana de uma escala calibrada ou automaticamente usando um algoritmo matemático.

As medidas diretas são realizadas no material interessado, neste caso as imagens, e são também chamadas de medidas de qualidade da imagem. As medidas indiretas são processos de sinais de testes especialmente desenhados da mesma maneira que as imagens e são também chamados de medidas de qualidade da imagem. Medidas subjetivas são feitas somente de maneira direta, desde que a opinião humana da qualidade da imagem do sinal de teste não é particularmente significativa. (Obviamente, a visão de um especialista do campo completo das imagens do sinal de teste é útil como meio de determinar distorções do sinal, não pelo seu valor estético).

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

As medidas em serviço são feitas enquanto o programa está sendo exibido, diretamente pela avaliação do material do programa ou indiretamente pela inclusão de sinais de teste no material do programa. Fora de serviço, cenas de teste apropriadas são usadas para medidas diretas e sinais de teste de campo completo são usados para medidas indiretas.

Embora haja um modesto grau de compressão aplicado aos sistemas NTSC e PAL compostos eles são considerados não comprimidos, na moderna terminologia. As medidas de qualidade dos sinais são razoavelmente uma boa maneira de determinar a qualidade da imagem para tais sistemas não comprimidos. Isto é, existe uma forte correlação matemática entre as medidas subjetivas feitas em imagens do sistema e medidas objetivas feitas em um conjunto de sinais de teste usando o mesmo sistema.

	Em Serviço	Fora de Serviço
Subjetivo Direto (Qualidade da imagem)	Material de Programa	Cenas de Teste
Objetivo Direto (Qualidade da imagem)	Material de Programa	Cenas de Teste
Objetivo Indireto (Qualidade da imagem)	Sinais de teste de Intervalo Vertical	Sinais de Teste de Campo Inteiro



► Figura 8. Medidas Tradicionais de Vídeo.



Isto é mostrado no diagrama da figura 8. A correlação não é perfeita para todos os testes. Há distorções em sistemas compostos, como sinais de cores falsos causados pela alta frequência da luminância, que não são facilmente medidos pelos meios objetivos. Também existem medidas objetivas que são tão sensíveis que não têm relação direta com os resultados subjetivos. Entretanto, tais resultados objetivos são freqüentemente muito úteis porque seus efeitos serão vistos pela pessoa que as observa se as imagens forem processadas do mesmo modo um bom número de vezes. Um exemplo seria as múltiplas gerações de vídeo usando um gravador de vídeo tape.

A razão porque as medidas de qualidade do sinal funcionam com sistemas analógicos e sistemas digitais de largura de banda completa é que os sistemas não comprimidos são lineares<sup>8</sup>. Isto é, o comportamento do sistema é invariável com o tempo, independe do sinal e a sobreposição é aplicável. As medidas de qualidade do sinal são feitas com um conjunto de sinais de teste cujas distorções resultantes determinarão a transmissão do canal ou as características do processamento do vídeo. Estes sinais de teste podem ser bastante curtos, como por exemplo, uma linha no intervalo vertical. A qualidade do vídeo não comprimido permanece crítica em sistemas que usam compressão, por várias razões listadas abaixo. Isto leva a uma forte exigência para testar a porção analógica e a digital de largura de banda completa tanto quanto a compressão sofisticada e os sistemas de transmissão.

- A entrada para um codec de compressão de vídeo tem que ser precisa, em acordo com padrões apropriados e de tão alta qualidade quanto possível para produzir uma codificação eficiente.
- Processamento de vídeo como adição de títulos e efeitos especiais não pode ser realizado no domínio da compressão.
- Facilidades de produção não serão completamente comprimidas devido ao custo e à qualidade dos codecs de compressão.
- A única Maneira dos diferentes formatos de compressão ser intercambiáveis é com o uso do nível do bit rate completo.

---

<sup>8</sup> Sistemas analógicos não são perfeitamente lineares, entretanto eles são bastante bons e testes objetivos sensíveis podem ser usados para determinar valores pequenos de não linearidade.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

Com o advento dos sistemas de compressão de vídeo digital a situação tem se tornado mais complexa. Os testes de qualidade de sinal não funcionarão na parte de codificação/decodificação do sistema. Os sinais tradicionais de teste são relativamente simples se comparados com uma cena natural e são facilmente comprimidos com pouca distorção ou perda. Devido à facilidade de compressão, estes sinais não avaliam o processo de codificação/decodificação. Como exemplo, a razão entre sinal/ruído não é uma medida confiável da qualidade da imagem, não é uma constante para um dado sistema e pode levar a resultados completamente errôneos. Assim sendo, as medidas de qualidade da imagem exigem um método direto, cenas naturais ou equivalentes, que são muito mais complexas que os sinais tradicionais de teste. Estas cenas complexas pressionam as possibilidades do codificador resultando em distorções não lineares que são em função do conteúdo da imagem.

O emprego da compressão digital tem expandido os tipos de distorções que podem ocorrer no moderno sistema de televisão. A quantização do ruído, que também está presente em sistemas digitais de largura de banda completa, é frequentemente aumentado pelo processo de redução da taxa de bits dos sistemas de compressão. O efeito de blocos (blockiness) na imagem é um padrão que pode ocorrer em sistemas de compressão do tipo DCT. A perda de resolução é comum pelo fato dos sistemas de compressão explorarem a falta de acuidade do sistema visual humano. Embora a acuidade humana seja menor para as cores, a imagem não comprimida já explorou um pouco deste alcance, e os sistemas de compressão frequentemente forçam as cores ainda mais que a luminância. A tremulação dos contornos da imagem é outro efeito da quantização devido à remoção de mais informação das partes de alta resolução da imagem produzindo ruído nas bordas. Quando este ruído é exibido pelo processo de compressão dentro de áreas planas próximas aos contornos, este é algumas vezes conhecido como efeito "mosquito". Distúrbios relacionados a movimento, como tremores ou blocos de pixels deslocados, estão presentes em sistemas que usam compressão temporal tanto baseada em sofisticada compensação de movimento quanto simplesmente "pulando" quadros (dropping frames) porque não há bits suficientes disponíveis em sistemas de baixa largura de banda<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Uma lista de termos de deficiências e outras definições pode ser encontrada em ANSI T1.801.02 "Transporte Digital de Vídeo Conferência, Sinais de Vídeo em Telefonia – Termos de Performance, Definições e Exemplos"



Com uma maior gama de distorções a medir e o desejo de otimizar a distribuição do programa tanto tecnicamente quanto economicamente, o campo da medida subjetiva tem expandido. Algumas das medições subjetivas incluem até mesmo um elemento da qualidade do programa bem como da qualidade da imagem, como será discutido posteriormente em detalhes neste guia. Desde que as medições da qualidade da imagem não darão resultado, as medições objetivas da qualidade da imagem são necessárias, levando ao diagrama de medidas mostrado na figura 9. Os tipos expandidos de medidas da qualidade do sinal não são apropriados para cobrir os novos métodos subjetivos. De fato, com o crescimento das idéias para avaliação subjetiva, pode ser verdade que, as medições tradicionais da qualidade do sinal não tenham mais uma correlação tão forte com as exigências subjetivas. Não parece haver nenhum plano para expandir ou revisar os métodos de medições da qualidade do sinal desde que não há muito trabalho a fazer no desenvolvimento dos métodos objetivos de qualidade da imagem. Tais métodos de medidas da qualidade da imagem também precisam ter forte correlação com as medições subjetivas e cobrir uma faixa de largura razoável de considerações subjetivas. Espera-se que as distorções na qualidade da imagem, pequenas demais para a visão humana, sejam medidas e forneçam uma indicação da performance dos sistemas correlacionados.

## **Teste da Qualidade da Imagem**

### **Teste Subjetivo**

Os programas de televisão são produzidos para entretenimento ou educação dos observadores humanos, assim sua opinião sobre a qualidade do vídeo é importante. As medidas subjetivas formais ou informais sempre têm sido e continuarão a ser usadas para avaliar a performance do sistema desde o laboratório de projetos até o ambiente operacional. Mesmo com todos os excelentes métodos de testes objetivos hoje disponíveis para vídeo analógico e digital de largura de banda completa, é importante ter a observação humana das imagens. Existem deficiências que não são facilmente medidos, ainda mais por um observador humano. Esta situação cer-

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

tamente não mudou com a aparição da moderna compressão digital. Assim sendo, testes informais ou ocasionais subjetivos feitos por um observador razoavelmente experiente continuam sendo uma importante parte do sistema de avaliação ou monitoramento.

O teste subjetivo formal esta sendo empregado por muitos anos com um conjunto relativamente estável de métodos padrões até o advento da compressão digital, Rec 500<sup>10</sup>. Resumidamente, vários observadores inexperientes foram selecionados, testados em suas capacidades visuais, e apresentados a uma série de cenas de teste por aproximadamente 10 a 30 minutos em um ambiente controlado, então é pedido para que classifiquem a qualidade das cenas em uma das várias maneiras. O teste subjetivo é usado tanto para a avaliação da qualidade, a performance do sistema sob condições perfeitas, quanto para a avaliação de deficiências sob condições não perfeitas devido às limitações da transmissão. Em um sistema moderno de televisão que incorpora compressão, a qualidade da imagem não é uma constante com o passar do tempo. A qualidade da imagem é em função da complexidade do material do programa e, no caso da multiplexação estatística, da operação momento a momento do sistema de transmissão. Considerando esta propriedade variável no tempo e o número de novas deficiências, os métodos de medidas definidos e propostos têm evoluído nos últimos anos. Além da seleção do método de medição existe um bom número de outros elementos processuais para os quais estão disponíveis abordagens alternativas. Como exemplos têm: as condições de visualização, a escolha dos observadores, o método de graduação das opiniões, condições de referências, as fontes de sinal para as cenas de teste, o tempo de apresentação das várias cenas de teste, a seleção de uma faixa de cenas de teste, e a análise do resultado da pontuação. A seleção dos parâmetros para cada um destes elementos é relativa à aplicação pretendida do sistema de televisão e leva a um complexo labirinto de possibilidades. Uma descrição dos vários métodos de medições subjetivas fornece alguma visão geral.

---

<sup>10</sup> O padrão para medições subjetivas é ITU-R BT.500 "Metodologia para Avaliação Subjetiva da Qualidade da Imagem de Televisão". Primeira publicação em 1974 e formalmente conhecida como CCIR Rec. 500, a versão 7 deste documento abrange todos os métodos propostos e passados para testes subjetivos.



- Escala de Deficiência de Estímulo Duplo (DSIS): são apresentados múltiplos pares de cenas aos observadores, cenas de referência e cenas degradadas. A cena de referência é sempre a primeira. A pontuação é sobre uma escala de impressão geral da deficiência: imperceptível, perceptível, mas não perturbadora, ligeiramente perturbadora, perturbadora e muito perturbadora. Esta escala é comumente conhecida como escala de 5 pontos.
- Escala de Qualidade Contínua de Estímulo Duplo (DSCQS): primeiramente são apresentados múltiplos pares de cenas aos observadores com a cena de referência e a degradada, aleatoriamente. A pontuação é sobre uma escala de qualidade contínua desde excelente até ruim onde cada cena do par é classificada separadamente, mas com referência à outra cena do par. A análise é baseada na diferença da classificação para cada par em lugar de valores absolutos.
- Métodos de Estímulo Único: são mostradas múltiplas cenas separadas. Há duas abordagens: sem repetição das cenas de teste e com múltiplas repetições das cenas de teste. Três diferentes métodos de pontuação são usados:
  - Adjetival: escala de 5 graus de deficiência; entretanto, meio grau pode ser permitido;
  - Numérico: escala numérica de 11 graus; útil se uma referência não está disponível;
  - Não categórico: uma escala contínua sem números ou uma faixa larga, exemplo: de 0 a 100.
- Método da Comparação dos Estímulos: normalmente realizado com dois monitores bem equipados, mas pode ser feito com apenas um. As diferenças entre os pares de cenas são pontuados de uma das duas formas:
  - Adjetival: uma escala de 7 graus, de +3 até -3 assim classificada: muito melhor, melhor, ligeiramente melhor, igual, ligeiramente pior, pior e muito pior.
  - Não categórica: uma escala contínua sem números ou uma relação numérica em termos absolutos ou relativos a um par padrão.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

- **Avaliação Contínua da Qualidade por Estímulo Único:** um programa oposto ao teste de cenas separadas é continuamente avaliado durante um longo período, de 10 a 20 minutos. Os dados são obtidos de uma escala contínua a intervalos de poucos segundos. A pontuação é uma distribuição do espaço de tempo que é dado a um valor particular. Este método se relaciona bem com as qualidades variáveis no tempo dos sistemas de compressão de hoje, entretanto, ele tende a ter um significativo conteúdo de qualidade de programa além da qualidade da imagem. Em uma avaliação, com a Rec. 601 de vídeo que tem sido considerada essencialmente perfeita para os últimos quinze anos, foi feita uma avaliação da qualidade acima de 90% para somente 14 minutos de um programa de 20 minutos.

Além destes métodos definidos existem duas novas abordagens que começam a atenuar as diferenças entre as medições de qualidade de imagem subjetivas e objetivas. São elas: “falhas características do conteúdo da imagem” e “falhas compostas características de programa e condições de transmissão”. Estas serão analisadas na seção sobre medições objetivas.

As vantagens do teste subjetivo são: são produzidos resultados válidos tanto para o sistema convencional de televisão quanto para o comprimido, é obtido um meio escalar de pontuação da opinião, e funciona bem sobre uma vasta faixa de aplicações de imagens de movimento e estáticas. As dificuldades do teste subjetivo são: uma grande variedade de métodos possíveis e os elementos dos parâmetros de teste têm que ser considerados; são exigidos controle e montagem meticulosos; muitos observadores precisam ser selecionados; e a complexidade consome muito tempo. O resultado final é que os testes subjetivos são aplicáveis apenas a propósitos de desenvolvimentos. Eles não são usados para monitoramento operacional, testes de linha de produção ou pesquisa de defeitos.

### Teste Objetivo

A necessidade de um método de teste objetivo de qualidade de imagem é clara, pois os testes subjetivos são complexos demais e produzem excessiva variabilidade de resultados. Entretanto, desde que a opinião do



observador sobre a qualidade da imagem é o que conta, qualquer sistema de medição objetivo deve ter boa correlação com os resultados subjetivos em relação ao mesmo sistema de vídeo e cenas de testes. Assim como os testes subjetivos, quase todos os métodos de testes objetivos não pretendem medir a qualidade da imagem diretamente, mas fornece uma indicação de como uma cena ou imagem degradada está em relação a uma cena ou imagem de referência. Tais comparações tendem a aprimorar o aspecto da qualidade do programa através das medidas.

Nos últimos anos, uma grande variedade de métodos tem sido examinada para testes objetivos de qualidade de imagem em sistemas de vídeo comprimidos. Os métodos propostos podem ser grosseiramente divididos em duas categorias: extração das características e diferenciação da imagem, e cada qual podem ser implementadas de várias maneiras.

- A extração das características usa uma computação matemática para deduzir as características de uma única imagem (características de espaço) ou uma seqüência de imagens (características de tempo). Isto normalmente resulta em uma quantidade de dados por imagem (digamos, umas poucas centenas de bytes) que é consideravelmente menor que a usada para transmitir a imagem comprimida. As características calculadas da imagem de referência e da degradada são então comparadas para determinar um nível objetivo de qualidade.
- A diferenciação da imagem usa uma computação matemática baseada em um matriz para processar cada imagem ou seqüência de imagens. Os dados resultantes representam uma versão filtrada das imagens contendo uma quantidade de dados similar às imagens originais. Normalmente, a diferença pixel por pixel entre as versões filtradas da imagem de referência e da degradada é usada para determinar um nível de qualidade objetiva. Em alguns casos pode ser a diferença entre as imagens de referência e a degradada que é filtrada.

A figura mostra como os dois métodos básicos podem ser usados em um sistema de medição objetiva. A vantagem do método de extração da característica é que as características calculadas da imagem de referência (entrada) podem ser enviadas pelo canal de transmissão juntamente com a imagem

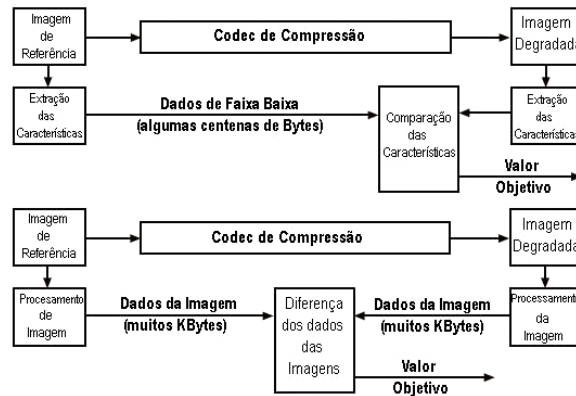
## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

comprimida para uma avaliação objetiva em um local remoto. Por causa desta vantagem o método da extração da característica tem sido vigorosamente empregado, algumas vezes em combinação com o método de diferenciação da imagem. Entretanto, pesquisas da Tektronix e outros laboratórios mostraram que certos métodos de diferenciação da imagem fornecem níveis objetivos que têm melhor correlação com os resultados objetivos.

Alguns dos conceitos do método de extração das características são codificados, somente para luminância, em um padrão recentemente aprovado pelo Instituto Americano de Padrões Nacionais (ANSI)<sup>11</sup>. Este padrão define os métodos para os cálculos da informação de espaço baseado na estatística dos gradientes espaciais na vizinhança dos pixels da imagem e informação temporal baseada nas mudanças de tempo nos pixels da imagem na cena de vídeo de um quadro para o outro. Tanto a computação escalar (conteúdo total) quanto a vetorial (conteúdo como função do ângulo) são usadas nos cálculos da informação espacial. O efeito de blocos ou "telhamento" que pode ocorrer em um sistema baseado em DCT é detectado pela alteração nos gradientes de espaço como uma função do ângulo. Como exemplo, se uma cena contém uma quantidade constante razoável de gradientes de espaço para todos os ângulos, um defeito de blocos aumentaria o conteúdo do gradiente espacial nas direções horizontal e vertical. Uma comparação deste efeito para as imagens de referência e degradada fornece uma medida objetiva do tipo de defeito. Outras medições da extração das características no padrão ANSI são: máxima adição de energia dos contornos; perda máxima de energia dos contornos; diferença média de energia dos contornos, perda máxima da energia de movimento e diferença média de energia do movimento.

---

<sup>11</sup> Padrão ANSI T1.801.03-1996 "Transporte Digital em Sentido Único de Sinais de Vídeo, Parâmetros para Avaliação da Performance Objetiva".



► **Figura 10.** Medições Tradicionais de Vídeo.

Existem outros métodos definidos pelo padrão, incluindo um método de diferenciação de imagem, razão entre o sinal de pico e o ruído (PSNR). O padrão ANSI pode ser considerado uma caixa de ferramentas de métodos de medidas objetivas que fornecem um conjunto de parâmetros de performance onde cada parâmetro ou combinação de parâmetros é sensível a alguma dimensão única de qualidade de vídeo ou tipo de defeito. Sistemas diferentes de compressão têm diferentes defeitos, de fato, o mesmo sistema de compressão pode exibir diferentes defeitos dependendo das taxas de bits e dos parâmetros selecionados na codificação. Assim sendo, no corpo do padrão está estipulado: “A discriminação entre dois ou mais sistemas similares está além da acuidade das medidas objetivas definidas neste padrão até o momento”. Um posterior trabalho dos membros do comitê do ANSI foi divulgado<sup>12</sup> indicando que uma combinação dos métodos da extração das características e da diferenciação das imagens produz o melhor resultado. Mesmo com estas combinações, os métodos a serem usados devem ser escolhidos dependendo da aplicação, para fornecerem a melhor correlação entre os níveis subjetivos e objetivos.

Outra significativa abordagem da extração das características foi desenvolvida e relatada na última revisão proposta para o padrão de teste subjeti-

<sup>12</sup> ANSI T1A1.5/96-121 “Medidas Objetivas e Subjetivas da Qualidade do Vídeo MPEG”.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

vo internacional, Rec. 500, como os apêndices “Falhas características no conteúdo da imagem” e “Falhas compostas características de programa e das condições de transmissão”. Eles apresentam o conceito da “criticalidade” o qual é uma medida da complexidade das imagens a serem comprimidas. A idéia é que as imagens com mais criticalidade (complexidade) serão mais difíceis de comprimir e resultarão em imagens de menor qualidade. Não está definido um método de medidas para a criticalidade, entretanto, dois métodos ou uma combinação deles estão sendo analisados por vários laboratórios de pesquisa. Um método usa alguns cálculos da extração das características similar àqueles definidos pelo padrão ANSI. O outro método usa certos parâmetros derivados do processo de codificação de compressão ou de um encoder de referência ou bit stream de dados do encoder do sistema atual. Usando um codificador de referência sem uma taxa de controle, a taxa de bits de saída seria uma medida da complexidade da imagem.

Um exemplo da segunda abordagem seria monitorar um codificador MPEG quantizador de parâmetro de escala que é variável em toda a imagem, mas que terá valores médios e de altos picos para imagens mais complexas. A aplicação da criticalidade para definir um método de medidas objetivas tem uma abordagem de quatro passos:

- Passo 1: medir a criticalidade das seqüências de teste;
- Passo 2: aplicar as medidas de criticalidade a um grande número de programas de televisão;
- Passo 3: fazer medidas subjetivas da qualidade das seqüências de teste;
- Passo 4: determinar a distribuição estatística da qualidade da imagem do programa através da aplicação dos resultados do teste do passo 3 para as medidas de criticalidade do passo 2.

Esta abordagem é dependente do método de compressão tanto quanto da aplicação. Diferentes métodos de compressão produzirão diferentes qualidades de imagens para a mesma criticalidade de entrada. Inclusive o mesmo método, por exemplo, o MPEG-2, produzirá diferentes resultados se os parâmetros forem mudados, como o comprimento de um grupo de



► **Figura 11.** Exemplos de Medidas MSE

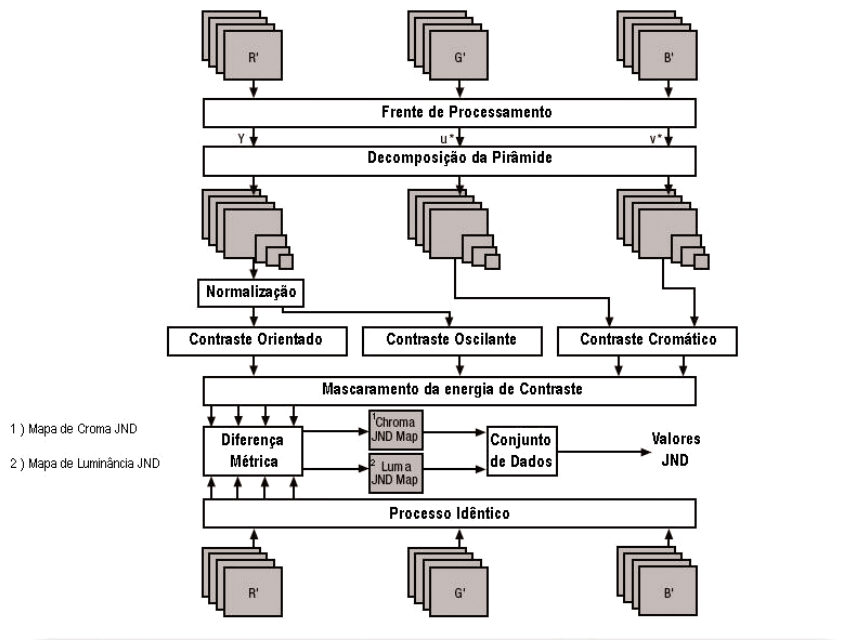
imagens ou o número relativo de bits permitido para luminância/crominância. O método de cálculo da criticalidade será dependente da aplicação tanto os métodos de extração das características quando se aplicam as técnicas da ANSI.

Como previamente estabelecido, certos métodos de diferenciação da imagem fornecem melhores resultados de correlação entre as medidas de qualidade da imagem objetiva com a subjetiva. O método mais óbvio de diferenciação da imagem é simplesmente obter as duas imagens sem qualquer filtragem ou processamento. Se a diferença for zero, as imagens são idênticas. Quando as imagens são diferentes uma média do quadrado do erro (MSE – Mean Square Error) pode ser calculada pixel por pixel; um MSE maior indica uma maior diferença entre as imagens de referência e degradada. Outra maneira de expressar esta diferença direta da imagem é pela razão entre o sinal de pico e o ruído (PSNR) que calcula o log da razão do quadrado do sinal de pico (255 hexadecimal em um sistema de 8 bits) pelo MSE como é feito para a razão sinal/ruído (SNR) em um sistema analógico. Este método tem certo uso prático e alguns defeitos significantes. Para um sistema muito restrito, como o de mudança de taxa de bits apenas, o MSE irá aumentar com o decréscimo da qualidade da imagem. Também, os projetistas podem considerar útil visualizar o valor da diferença dos pixels na forma da imagem quando procurando problemas de projetos. Entretanto, é bem sabido que o MSE pode dar uma indicação completamente falsa. Um exemplo seria a comparação de duas degradações; a adição

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

de uma pequena quantidade de ruído aleatório, digamos cinco níveis de quantização, ou a adição de algo como menos efeito em blocos, digamos dois níveis quantização. A segunda deficiência terá um menor valor de MSE, entretanto, os observadores considerarão que o ruído da imagem tem pouca degradação onde o efeito de blocos é bastante aparente com uma degradação significativa. Um exemplo desta medição está na figura 11. O codec A forneceu uma imagem de saída com um valor de 21,26 de MSE, mas uma significativa intensidade de efeito em blocos, enquanto que o codec B fornece uma imagem de muito melhor aparência com uma pequena porção de ruído; entretanto, o MSE é pior, com um valor de 27,10. Assim sendo, o MSE não é um método apropriado para diferenciação da imagem para medições objetivas da qualidade da imagem.

Embora a aplicação dos cálculos dos parâmetros da extração das características como processamento dos métodos de diferenciação das imagens tenha mostrado uma melhora na abordagem básica do ANSI, o resultado não é independente da tecnologia ou da aplicação. Muitas pesquisas indicaram que o caminho para alcançar a independência tecnológica e fornecer boa correlação entre as medições subjetivas e objetivas é produzir os instrumentos de teste para observação e medição das deficiências de vídeo com as mesmas capacidades do observador humano. Em outras palavras, a filtragem para o método de diferenciação da imagem deveria usar um modelo do sistema visual humano. A aplicação de tal modelo fornecerá uma qualidade métrica da imagem que é independente do material de vídeo, dos tipos de deficiências e do sistema de compressão empregado.



► Figura 12. Arquitetura Métrica PQR da Qualidade da Imagem.

### Aplicação do Sistema Visual Humano

Os pesquisadores do Centro de Pesquisas David Sarnoff (Laboratórios Sarnoff) têm levantado recursos significantes ao longo de alguns anos para estudar o sistema visual humano e aplicá-lo ao monitor de televisão e à avaliação da qualidade da imagem. Baseados neste trabalho, a avaliação métrica da qualidade da imagem PQR (Picture Quality Rating) tem sido desenvolvida para avaliar automaticamente e precisamente a magnitude percentual das diferenças entre uma seqüência de teste e uma referência<sup>13</sup>. A figura 12 mostra uma visão geral do modelo da arquitetura PQR. As entradas são duas seqüências de comprimentos arbitrários que são proces-

<sup>13</sup> O material para esta seção do guia é extraído do estudo "Avaliação Baseada no Modelo da Visão das Magnitudes da Distorção no Vídeo Digital" por J. Lubin, M. Brill e R. Crane, apresentado no simpósio "Made to Measure" em Montreux, Suíça em novembro de 1996.

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

sadas separadamente (filtradas) para a caixa de “diferença métrica” perto do fundo do diagrama onde as diferenças entre as seqüências processadas são usadas para criar os mapas PQR e os valores numéricos PQR. Um exemplo é mostrado na figura 13. A imagem A é a referência e a imagem B é a imagem degradada. A imagem C é o mapa PQR. Repare a distorção dos números do bonde e a área brilhante correspondente no mapa PQR. Note também a linha sólida no chão ao lado esquerdo do bonde que se tornou uma linha pontilhada na imagem degradada. No mapa PQR uma série de pontos mostra a diferença considerável entre as duas imagens.

Para o cálculo métrico PQR da qualidade da imagem cada campo da seqüência é representado como um trio de imagens RGB. No primeiro estágio nomeado Frente de Processamento as unidades de tensão (voltagem) são transformadas em unidades de saída de luz para obtenção da luminância (Y), e então para as quantidades definidas psicofisicamente pelo CIE  $L^*u^*v^*$  do espaço de cor uniforme para obter os dois canais ( $u^*$ ,  $v^*$ ) do modelo da trilha de crominância. No próximo estágio do modelo, nomeado Decomposição da Pirâmide, cada seqüência é filtrada e down-sampled (reduzida à taxa de amostragem ou resolução) usando uma operação da pirâmide Gaussiana para gerar eficientemente uma faixa de resoluções espaciais para operações subseqüentes de filtragem.



► **Figura 13.** Exemplo de Mapa PQR.

A seguir, o estágio de Normalização ajusta o ganho geral com uma luminância média dependente do tempo, para modelar a insensibilidade relativa do sistema visual para um nível global de iluminação e para representar



tal efeito como perda da sensibilidade visual após uma transição de uma cena brilhante para uma escura.

Depois da normalização, três medidas separadas de contraste são calculadas: orientado, tremulante e cromático. Em cada caso o contraste é a diferença dos valores de pixels local dividido pela soma local, escalonado aproximadamente em função do nível da pirâmide, de tal forma que o resultado seja 1 (um) quando o contraste da imagem estiver no limiar humano. Isto estabelece a definição de 1 PQR o qual é passado para os estágios subsequentes do modelo. (A unidade de medida PQR é funcionalmente definida de forma que 1 PQR corresponde a 75% de probabilidade de que um observador, olhando duas imagens múltiplas vezes, seria capaz de distinguir a diferença.)

No estágio de Mascaramento da Energia de Contraste, cada imagem de contraste é submetida um ponto de não linearidade, cujo ganho é controlado pela resposta de outras resoluções e canais. Este ganho selecionado é incluído para modelar os efeitos de mascaramento visual como o decréscimo na sensibilidade às distorções nas regiões congestionadas da imagem. Os parâmetros do ponto de não linearidade deste estágio são adequados de acordo com os dados da discriminação do contraste no qual o incremento de contraste necessário para detectar a mudança de contraste é medida em função do contraste a partir do qual a mudança é feita.

No estágio da Diferença Métrica, as saídas das seqüências de teste e de referência são combinadas via um simples operador de diferença e então somadas através dos níveis e canais da pirâmide para retornar em números de PQR, em luminância e crominância. Os mapas separados de PQR para luminância e crominância podem ser conjugados em um mapa e um sumário estatístico pode ser obtido. Tal estatística seria o PQR médio, PQR máximo e Q normal o qual permite uma abordagem generalizada para cálculos da média e máxima.

A qualidade métrica da imagem PQR fornece todas as facilidades necessárias para um poderoso método objetivo de medição da qualidade da imagem. Incluindo aí, as três dimensões necessárias para avaliação das dinâmicas e complexas seqüências de movimento: análise de espaço, análise de tempo e análise completa das cores. Pelo uso do modelo do sistema visual humano

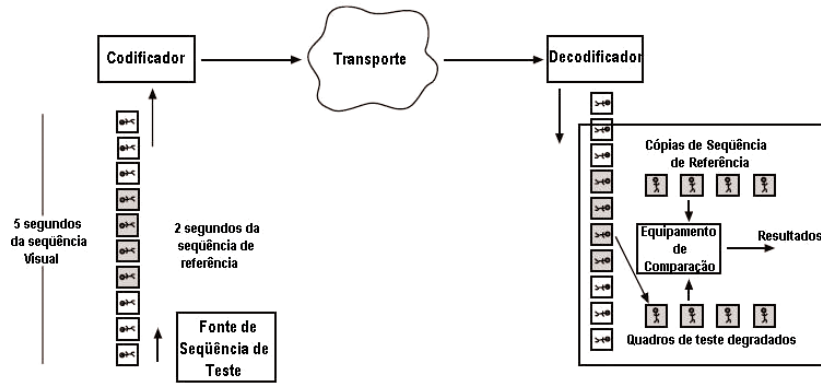
## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

no processo de diferenciação da imagem os resultados serão independentes dos tipos de processo de compressão e das deficiências resultantes. Isto é particularmente importante em sistemas de televisão concatenados dos quais se espera que envolva vários métodos diferentes de compressão<sup>14</sup>. Os métodos de medidas objetivas que se apóiam em um modelo de codec de compressão ou avaliam tipos específicos de deficiências terão uma aplicação muito limitada em tais sistemas. Além de serem apropriados a todos os sistemas de medidas, é esperado que a combinação dos resultados da qualidade métrica PQR da imagem para partes separadas de um sistema concatenado fornecerá uma indicação útil da performance global.

### Sistema de Abordagem para o Teste Objetivo

Testes objetivos requerem um algoritmo válido como o da qualidade métrica PQR da imagem como fundação. Entretanto, a implementação de um sistema no mundo real precisa incluir um número de outros aspectos como: seqüências de cenas de movimento de referência; conversões de formatos; mudanças de cenas devido ao processamento das partes não comprimidas do sistema; e, alinhamento preciso das imagens na entrada para o algoritmo de medidas. Um diagrama bloco geral do sistema de medidas é mostrado na figura 14 para aplicação da qualidade métrica PQR da imagem. Uma seqüência de referência é fornecida ao sistema sob teste, proveniente de uma fonte como uma câmera gravadora de vídeo ou outro equipamento gerador de imagem que ofereça uma qualidade de vídeo definida. Medições objetivas da qualidade de imagem, incluindo aspectos de tempo do sistema visual humano são possíveis com apenas dois segundos da seqüência de vídeo.

<sup>14</sup> Um exemplo de até dez métodos diferentes de compressão em um sistema completo de televisão é descrito no artigo: "Porque é Necessária uma Avaliação Objetiva para Vídeo Digital Comprimido", por C. Dalton, apresentado no simpósio "Made to Measure" em Montreux, Suíça, em novembro de 1996.



► Figura 14. Sistema de Medida Objetivo.

Entretanto, a avaliação subjetiva feita por um observador experiente pode também ser desejada, assim a seqüência da fonte de teste deve permitir cinco ou mais segundos de vídeo contínuo que pode ser repetido para observação mais longa. Na saída do sistema a imagem degradada é capturada no instrumento de medida da qualidade da imagem que também tem uma cópia da seqüência de referência. A filtragem, diferenciação e concentração dos dados das imagens de referência e degradada são executadas com extensa energia de computação e os resultados disponibilizados por uma interface humana apropriada ou uma conexão de dados de computador.

A entrada para o sistema sob teste é uma série de seqüências curtas de referência usada em uma técnica de medição direta, ou seja, imagens reais são usadas em lugar de sinais de testes. Múltiplos estímulos de teste são também uma abordagem para sistemas analógicos ou digitais de largura de banda completa que usa uma série de sinais de teste em medições diretas ou indiretas. Para medições da qualidade da imagem as diferentes seqüências de referência representarão várias aplicações para o sistema e os tipos de material de programa. Alguns exemplos são: esportes seguindo a ação com movimento de fundo; câmera estacionária de esportes com "action moving", cenas de altos detalhes; panning (acompanha horizontalmente um objeto móvel) e zooming (amplia a imagem do objeto) em cenas de altos detalhes; movimento de rotação com cores

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

não facilmente trabalhadas por alguns sistemas de compressão; película (skin) sutil de tons e luzes; e, cenas com porções variáveis de conteúdo de ruído. Uma exigência é que o material de teste seja de tal forma que o sistema que está sendo medido esteja trabalhando próximo ou no limite de suas possibilidades. Isto sempre foi realizado com medidas analógicas tradicionais (um exemplo seria o uso de pulso 2-T) e é ainda mais importante enfatizar as características não lineares dos sistemas de compressão de vídeo. Embora cenas que interrompem ou o sistema de compressão ou o método de medida sejam de algum interesse para descobrir os limites extremos do sistema, eles não são apropriados para medições repetitivas e consistentes.

Estudos que comparam medidas subjetivas e objetivas da qualidade da imagem geralmente concluem que há uma moderada variação nos resultados subjetivos. Esta conclusão é freqüentemente enfatizada por uma ou mais cenas cuja qualidade subjetiva não fornece boa correlação com as medidas objetivas. Certamente seria desejável desenvolver um método objetivo sem algoritmo de cenas de interrupção, entretanto, a padronização de cenas bem comportadas e cenas representativas da realidade deveriam fornecer resultados muito úteis. Considerando que alguns materiais de programas não combinam com os resultados dos sinais de teste de qualidade dos sistemas analógicos de hoje (exemplo, camisas listradas próximo da freqüência da subportadora) e que os testes objetivos para os sistemas de vídeo comprimidos são previstos terem somente 90% a 95% de acuidade, pareceria apropriado para a indústria concordar com uma variedade de seqüências de movimento padronizada para os testes objetivos de qualidade da imagem. Um padrão ANSI define uma série de cenas para teste de sistemas de vídeo conferência<sup>15</sup> e existe uma série de organizações padrões trabalhando na definição de uma variedade mais ampla de cenas de teste. Será muito importante ter um conjunto de cenas de testes padronizado para que os dados das medidas combinem com os diferentes fabricantes de equipamentos de teste e com todos os sistemas desenhados para aplicações similares.

---

<sup>15</sup> ANSI T1A1.801.01-1995, "Transporte Digital de Vídeo, Teleconferência/ Sinais de Vídeo em Telefo-  
nia, Cenas de Teste de Vídeo para Avaliação da Performance Subjetiva e Objetiva".



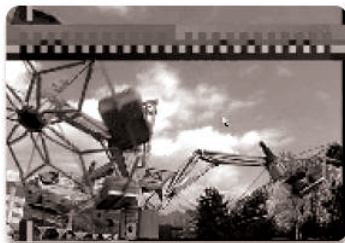
A fim de fazer medições objetivas da qualidade da imagem é necessário assegurar que as duas seqüências de vídeo estão presentes para o cálculo métrico da qualidade da imagem da mesma maneira que a requerida para os testes subjetivos. Isto é, o ganho e o nível dc tanto da luminância quanto da crominância precisam estar bem “casados”.

Mais que disso, deve haver alinhamento temporal, além de um alinhamento espacial muito preciso. Estes dois últimos requisitos são devidos à necessidade de se fazer um tipo de processo diferenciador entre os quadros de vídeo como no PSNR e no modelo de qualidade métrica da imagem PQR. É necessário um alinhamento espacial com acuidade de um vigésimo de um pixel. A conversão do formato pode ser requerida como parte do processo de equiparação. Muitos sistemas de compressão têm entradas e/ou saídas analógicas compostas NTSC ou PAL. Como a codificação e a decodificação produzem defeitos na imagem que são independentes do sistema de compressão (embora eles também possam afetar a operação do codificador de compressão) há mais duas exigências para o instrumento de medida da qualidade da imagem: um decoder composto de excelente qualidade; e uma seqüência de referência que inclua os defeitos compostos. Experimentos conduzidos pela Tektronix indicam que o teste de qualidade da imagem onde são incluídos os processos de codificação e decodificação compostos tende a mascarar as medições dos sistemas de compressão com pequenas porções de degradação, tal como o perfil principal e o nível principal do MPEG-2 com taxas de bits na faixa de 12 Mb/s a 15 Mb/s. Este parece ser um resultado razoável desde que essas taxas de bits representam a mais alta qualidade de entretenimento de vídeo, tanto um NTSC/PAL perfeito quanto um vídeo componente muito bom. Os sistemas que não incorporam sinais compostos e fornecem uma entrada/saída Rec. 601 podem ser considerados com degradações da imagem muito pequenas (adequados para contribuição da qualidade da produção de programa de estúdio) baseados na qualidade métrica PQR da imagem.

O uso de cenas de referência específicas significa que o teste será fora de serviço. Este paradigma para teste de vídeo não será popular para aqueles que, por muitos anos, usaram sinais de testes de intervalos verticais (VITS). Embora testes em serviço com o material de programa real sejam

## Medidas de Vídeo para Sistemas Comprimidos

logisticamente possíveis em algumas aplicações (monitorando um sistema de transmissão direta via satélite no local do transmissor “up-link”) isto não produzirá resultados significativos para a maioria do material de programa que não sobrecarregam o sistema. Além disso existe um parâmetro operacional que pode não ser satisfatório com material de programa geral. O tempo para se fazer as medições é um importante fator em equipamentos de testes. Se forem feitos o “casamento”, o ganho, o alinhamento espacial, etc. da imagem do material de programa, um longo período de tempo será necessário para os cálculos correlatos. Isto é, em adição ao tempo exigido somente para fazer as medidas, após as duas cenas de vídeo ter sido corretamente casadas. Assim sendo, alguns sinais de alinhamento conhecidos, chamados listras de calibração, deveriam ser postos na seqüência de vídeo para um casamento rápido da imagem, como mostrado na figura 15. Espera-se que evoluções futuras sobre cálculos mais poderosos e otimização dos algoritmos de medidas permitirão testes em serviço para aplicações onde os vídeos de referência (entrada) e degradado (saída) estejam disponíveis no instrumento de medida. Isto é importante para sistemas de codificação multiplexados estatisticamente onde as taxas de bits são divididas entre programas que possam, em qualquer parte do programa, sobrecarregar o processo de codificação devido à taxa de bits permitida.



► Figura 15. Listras de Calibração no Alto da Imagem

### Instrumentos de Medida de Qualidade da Imagem

A necessidade de medições objetivas da qualidade da imagem (a degradação em relação a uma referência) é bem nítida e imediata. A avaliação subjetiva formal e informal da qualidade da imagem tem sido usada para



desenvolver, testar, instalar e operar os sistemas de compressão de televisão de hoje. Neste guia nós enfatizamos a contínua necessidade por métodos de testes tradicionais e descrevemos os novos métodos que estão sendo propostos para medidas objetivas da qualidade da imagem. Os laboratórios da Tektronix e da Sarnoff estão cooperando para o desenvolvimento de um produto de medição da qualidade da imagem baseado na métrica PQR da qualidade de imagem e no processamento do sinal necessário para operação dentro do completo sistema de televisão moderno.





Este livro foi impresso em papel offset 90g/m2  
tipologia ITC Officina Sans Std, corpo 11, pela Gráfica FIRJAN.  
*Editora SENAI*  
Rua São Francisco Xavier 417, Maracanã  
CEP 20550-010 - Rio de Janeiro, RJ  
Tel: (0XX21) 3978-5314  
editorasenai@rj.senai.br

