

## Transcodificação de vídeo digital para receptores portáteis

Carlos Danilo M. Regis  
cdanilo@gmail.com

Gilney Christierny B. dos Anjos  
gilneybarros@yahoo.com.br

Jean Felipe F. de Oliveira  
jeanfelipecfonseca@gmail.com

Jerônimo S. Rocha  
jeronimo@iecom.org.br

Mylène Christine Q. Farias  
mylenefarias@gmail.com

Marcelo S. de Alencar  
malencar@iecom.org.br

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (IECOM)

### **RESUMO:**

*A tecnologia dos telefones celulares possibilita a visualização de vídeos previamente armazenados e a Televisão Móvel, que permite assistir a programas de televisão no telefone celular. Com o uso de diferentes mídias é necessário dispor de vídeos com várias configurações para atender às imposições de qualquer tipo de transmissão e recepção. Uma solução para receptores móveis é o uso de transcodificadores de vídeo, que convertem uma seqüência de vídeo em outra com diferentes parâmetros (codificação, resolução temporal, resolução espacial e/ou taxa de bits). Este trabalho apresenta resultados do desenvolvimento de um sistema de transcodificação de sinais de vídeo em definição padrão para obter vídeos adequados a receptores móveis. O sistema proposto converte o vídeo para resolução espacial de um vídeo CIF (352x288), para resoluções temporais de 30, 25, 20, 15 e 10 frames por segundo e utiliza um codificador H.264 para compressão. Palavras-Chave: Transcodificação de Vídeo; SBTVD; Compressão de vídeo.*

### **1. Introdução**

Um dos desafios do sistema de televisão digital é a presença de sinais de vídeo em diferentes formatos de codificação, resoluções (espacial e temporal) e taxas de *bits*. Esse conteúdo diversificado deve ser reproduzido nos mais diferentes tipos de receptores, que vão desde aparelhos de televisão convencionais a micro-computadores, PDAs, celulares e *Ipods*. Um outro fator a ser considerado é o tipo de transmissão utilizada (a cabo, por radiodifusão, sem-fio, etc.), que afeta diretamente a velocidade com que os *bits* podem ser enviados (taxa de *bits*) e, conseqüentemente, a definição do formato mais adequado para o sinal de vídeo.

Para que esses formatos possam ser utilizados adequadamente, uma opção imediata é dispor de vídeos com diferentes configurações para atender às imposições de todos os tipos de transmissão e recepção. No entanto, devido à dificuldade de manutenção dos conteúdos, do volume de espaço necessário para armazenamento, bem como do custo de produção, esse tipo de abordagem é inviável. Uma solução alternativa é a utilização de transcodificadores de vídeo, que são sistemas capazes de converter uma seqüência de vídeo em outra seqüência com diferentes parâmetros (codificação, resolução temporal, resolução espacial e/ou taxa de *bits*). Nessa alternativa, apenas o conteúdo de resolução máxima é armazenado, o que implica em uma economia significativa em espaço e tempo de produção. Quando necessário, o transcodificador pode reduzir a resolução ou taxa de *bits* ou ainda modificar o padrão de compressão original.

No caso do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD), também conhecido como *International System for Digital TV* (ISDTV), está prevista a recepção de sinais de vídeo em vários formatos e receptores móveis ou fixos que podem estar conectados a diferentes tipos de *displays* com resoluções diferentes. Os sinais de vídeo estarão disponíveis

em diversas resoluções espaciais e temporais, desde alta definição a resoluções menores destinadas à recepção em unidades móveis. Em termos de padrões de compressão, o SBTVD prevê a transmissão simultânea de vídeos nos padrões MPEG-2 e H.264 (ALENCAR, 2007). Além disso, para cada tipo de canal de comunicação, uma taxa de *bits* diferente é necessária de forma a permitir uma reprodução adequada do sinal de vídeo.

Este artigo objetiva demonstrar um sistema de transcodificação de sinais de vídeo em definição padrão, de maneira a ter seqüências de vídeo adequadas a receptores móveis.

Quando comparado ao aparelho de televisão tradicional, o telefone celular apresenta uma série de limitações físicas. As principais restrições do telefone celular são a duração da bateria, a menor capacidade de processamento, a menor capacidade de memória e o tamanho reduzido do *display*. Essas restrições impõem limitações sobre os tipos de formatos de vídeos que podem ser reproduzidos em um telefone celular ou em qualquer outro aparelho de recepção móvel. O comprimento e a largura do vídeo (resolução espacial), por exemplo, devem se adequar ao comprimento do pequeno *display* do telefone celular. Se o sinal de vídeo tem resolução maior que a do *display* o conteúdo não é facilmente visualizado pelos usuários. Uma opção seria deixar a cargo do aparelho a redução do tamanho, mas isto implicaria em um acréscimo na carga computacional. Isso não é viável devido à capacidade de processamento limitada dos telefones celulares. Além disso, deixar o processamento a cargo do aparelho de telefone implica em um aumento no consumo de energia, tornando ainda mais crítica a restrição do tempo de duração da bateria.

No que diz respeito ao formato de compressão, os vídeos devem ser comprimidos utilizando padrões de compressão adequados ao cenário de comunicações móveis, ou seja, algoritmos robustos a erros de canal e com altas taxas de compressão. O MPEG-4 e o H.264 são padrões adequados a esse tipo de aplicação. Além desses aspectos, os vídeos destinados à reprodução em telefones celulares têm a sua taxa de quadros (resolução temporal) reduzida, uma vez que a visualização em tempo real de vídeos com taxas de quadros mais elevadas exige mais memória e poder computacional do que os disponíveis no aparelho. Um outro tipo de processamento comum é a eliminação de partes do vídeo menos importantes, centralizando no centro da tela (*zoom*) os “objetos” mais importantes do vídeo.

Este artigo trata da transcodificação de um sinal de vídeo digital em resolução padrão (720 x 576, largura x altura, entrelaçado) para um sinal de vídeo em formato CIF (352 x 288, progressivo). O sistema de transcodificação proposto converte o vídeo para resoluções espacial e temporal menores e utiliza o padrão H.264 para reduzir a taxa de *bits* do vídeo. A Figura 1 apresenta o modelo do sistema de transcodificação considerado no trabalho (transcodificação no domínio dos *pixels*), em que são enfatizados (linhas tracejadas) os blocos de interesse.

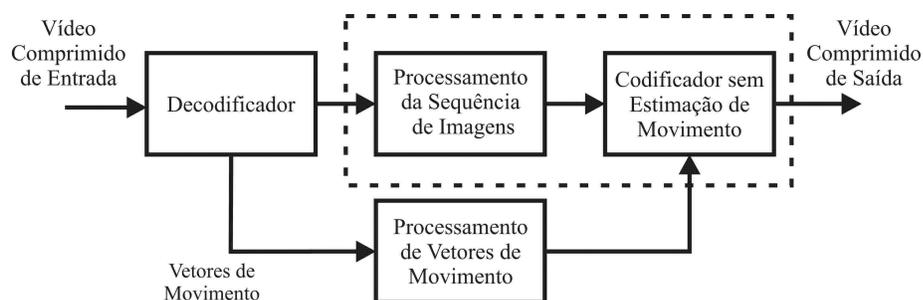


Figura 1. Modelo de um transcodificador de vídeo no domínio dos pixels.

## 2. Fundamentação teórica

O transcodificador converte uma seqüência de vídeo em outra seqüência com diferentes parâmetros. Os parâmetros podem ser sintaxe, resolução espacial, resolução temporal, taxa de *bits* ou mesmo a adição de funcionalidades.

A transcodificação pode ser classificada como homogênea ou heterogênea. A transcodificação homogênea modifica um conjunto de parâmetros do vídeo sem modificar o seu padrão de compressão, ou seja, realiza conversão da taxa de *bits*, da resolução espacial, da resolução temporal e mudanças da codificação VBR (*Variable Bit-Rate*) para CBR (*Constant Bit-Rate*). A transcodificação heterogênea realiza a conversão de padrões de compressão ou a conversão entre os formatos entrelaçado e progressivo. Além desses dois tipos, um outro tipo de transcodificação consiste em incluir funções adicionais à seqüência de vídeo codificada, tais como proporcionar resistência a erros (*error resilience*) e adicionar logomarcas ou marcas d'água invisíveis. Um diagrama com os vários tipos de transcodificação é apresentado na Figura 2. Nesta seção, descreveremos rapidamente os tipos de transcodificação que fazem parte do esquema proposto neste artigo: a transcodificação homogênea (resolução espacial, resolução temporal e taxa de *bits*) e a heterogênea (mudança de formato e de compressão).

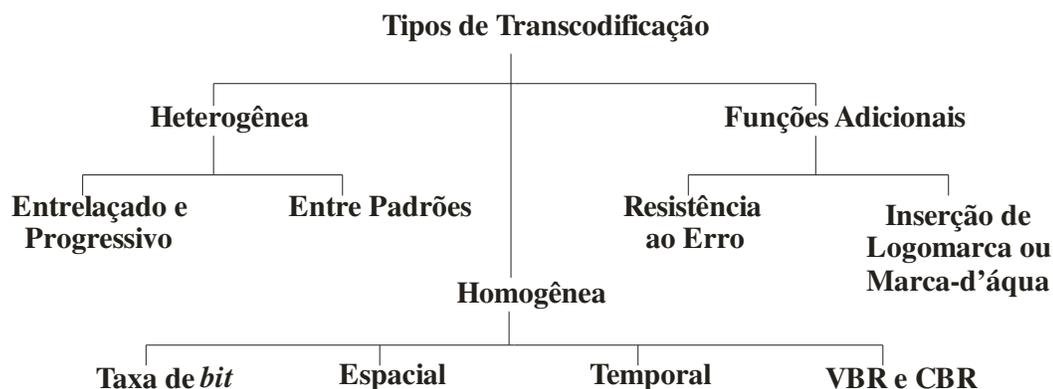


Figura 2. Diagrama dos possíveis tipos de transcodificação.  
Fonte: Ahmad *et al* (2005)

### 2.1. TRANSCODIFICAÇÃO HOMOGÊNEA

#### 2.1.1. RESOLUÇÃO ESPACIAL

Na transcodificação da resolução espacial o objetivo é reduzir ou aumentar a resolução espacial do vídeo utilizando técnicas como subamostragem/superamostragem, filtragem, média, mediana, etc. Uma possível aplicação da redução de resolução espacial é na conversão de um vídeo em HDTV com resolução 1920 x 1024i (i sendo o padrão entrelaçado) para um em SDTV que tem resolução 720 x 384 (XIN *et al*, 2002). Nesse caso podem-se usar as técnicas de filtragem, subamostragem e superamostragem. Como o fator de conversão não é inteiro ( $1920:720 = 1024:384 = 8:3$ ), o vídeo passa por um subamostrador e um superamostrador em cascata (MITRA, 2006). Um filtro é utilizado entre o subamostrador e o superamostrador, para garantir que os sinais resultantes não tenham distorção (*aliasing*). A seguir é feita uma breve descrição das técnicas de redução de resolução espacial no domínio dos *pixels*.

- Superamostragem, Subamostragem e Filtragem: essas são técnicas para reduzir a definição espacial, tanto na direção horizontal quanto na vertical. O superamostrador é empregado para aumentar a taxa de amostragem de uma seqüência por um fator inteiro

$L > 1$ , enquanto que o subamostrador é empregado para diminuir a taxa de amostragem por um fator inteiro  $S > 1$  (VAIDYANATHAN, 1993; MITRA, 2006).

- Média dos pixels: o cálculo da média é outra técnica para redução da resolução espacial. Nessa técnica substitui-se os valores do bloco  $M \times M$  do quadro do vídeo por um único *pixel* cujo valor corresponde à média aritmética dos *pixels* dentro do bloco  $M \times M$ . Calcular a média de *pixels* é um dos métodos mais simples, entretanto essa técnica pode adicionar um alto nível de borrado ao quadro.

- Mediana: a técnica da mediana consiste na substituição de um conjunto de *pixels* pela mediana de um bloco  $M \times M$ . Para o cálculo da mediana é feita uma reorganização dos valores dos *pixels* do bloco  $M \times M$  de forma crescente.

### 2.1.2. RESOLUÇÃO TEMPORAL

Nessa técnica o principal objetivo é reduzir a resolução temporal, ou seja, o número de quadros por segundo (fps -- *frames per second*). Quanto maior a taxa de quadros utilizada, maior será a largura de banda necessária à transmissão.

Em Vetro *et al* (2000) nota-se que diminuindo a taxa de quadros do vídeo aumenta o tempo de duração da bateria, por diminuir a carga computacional imposta ao aparelho para reproduzir o vídeo. Essa técnica pode ser usada para redução de taxa de *bits* imposta pela rede de comunicações e manter a qualidade dos quadros em situações em que há limitação de processamento imposta pelo equipamento do consumidor.

A maioria das técnicas de redução temporal utiliza vetores de movimento, como pode ser visto em (AHMAD *et al*, 2005), essas técnicas não são descritas neste artigo, que usa o modelo apresentado em (QUEIROZ, 2005), sendo a transcodificação de vídeo feita no domínio dos *pixels*. A técnica utilizada neste artigo foi a subamostragem de quadros, que consiste na eliminação de quadros. O número de quadros eliminados depende da taxa de quadros desejada.

### 2.1.3. AJUSTE DA TAXA DE BITS

A transcodificação de taxa de *bits* tem como objetivo reduzir a taxa de *bits* do vídeo codificado, mantendo-se uma baixa complexidade. Duas técnicas são utilizadas: a requantização e a transmissão seletiva.

A requantização é uma técnica simples para diminuir a taxa de *bits* e aumentar o grau de quantização no codificador do transcodificador. Isto diminui o número dos coeficientes não nulos quantizados, diminuindo o tamanho do vídeo codificado. A requantização representa um bom compromisso entre a complexidade e a qualidade da imagem, permitindo o controle do tamanho da redução.

Na transmissão seletiva a maior parte da energia é concentrada na banda de baixas frequências de uma imagem, descartar (truncar) alguns dos coeficientes das altas frequências é um método simples de redução da taxa de *bits* que pode preservar a qualidade imagem, mas pode introduzir um efeito de blocagem no vídeo resultante (SHANABLEH e GHARANBARI, 2000).

### 2.2. TRANSCODIFICAÇÃO HETEROGÊNEA

Existem dois tipos de transcodificação heterogênea: mudança de padrões de compressão e mudança do formato entrelaçado para progressivo (AHMAD *et al*, 2002), (POYNTON, 2003). Na transcodificação heterogênea pode-se adicionar funcionalidades da transcodificação homogênea, assim como suas técnicas.

A mudança entre padrões é muito utilizada devido à variedade de padrões de codificação disponíveis. Dependendo do meio de comunicação e do receptor pode ser mais adequado utilizar um padrão diferente daquele em que o vídeo foi originalmente codificado. Desta forma, é necessário converter o vídeo de um padrão para outro. Dentre esses padrões podem-se citar o H.263, MPEG-2, MPEG-4 e H.264.

Os quadros dos vídeos entrelaçados são formados por dois campos distintos, chamados de campos de linhas pares e campos de linhas ímpares. Esse tipo de vídeo possui uma taxa de quadros entre 50 e 60 Hz e resolução espacial (número de linhas) correspondente à metade da resolução espacial do quadro. Nos vídeos progressivos os quadros possuem um único campo, com taxa de quadros entre 25 e 30 Hz (POYNTON, 2003).

Em XIN *et al* (2005) há um exemplo de transcodificação de padrões, de MPEG-2 para MPEG-4 Simple Profile (SP). O MPEG-4 (SP) é utilizado em aplicações de vídeo de baixa complexidade e de baixa taxa de *bits*. Para esse processo de conversão utiliza-se duas etapas, a primeira etapa é responsável pela redução da taxa de quadros e do tipo de quadro da conversão. A segunda etapa é responsável pela redução da resolução espacial e da mudança do formato entrelaçado para o progressivo.

### 2.3. O CODIFICADOR H.264

O padrão ITU-T H.264 / MPEG-4 (Parte 10) *Advanced Video Coding* (frequentemente mencionado como H.264/AVC) é umas das mais recentes propostas para codificação de vídeo digital. Foi desenvolvido pelo consórcio JVT (*Joint Video Team*) formado por especialistas oriundos do *Video Coding Experts Group* (VCEG) do ITU-T e de especialistas do *Motion Picture Expert Group* (MPEG) do ISO/IEC. Assim como nos padrões passados, o H.264/AVC propõe uma alternativa visando o equilíbrio entre eficiência de codificação, complexidade de implementação e custo, baseando-se no estado da arte de tecnologias VLSI (CPU, DSP, ASIC, FPGA). O padrão H.264 apresenta um ganho de eficiência de codificação em relação ao MPEG-2 em pelos menos duas vezes, sem aumento significativo no custo final da tecnologia. Por esta razão, o H.264 é o padrão de compressão geralmente utilizado para transmissão para receptores móveis, sendo o codificador utilizado neste trabalho para redução de taxa de *bits* (ALENCAR, 2007).

Nas Figuras 3 e 4, são apresentados os diagramas de blocos do codificador e decodificador genéricos do H.264/AVC, respectivamente.

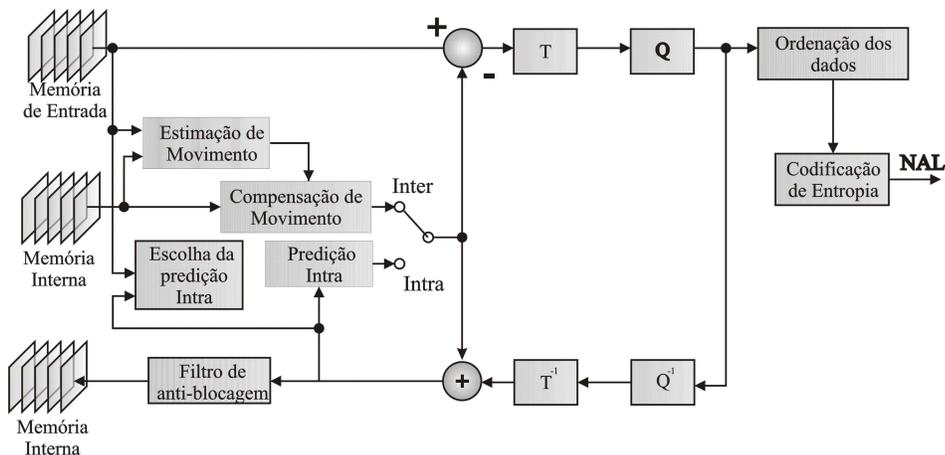


Figura 3. Diagrama de blocos do codificador H.264.

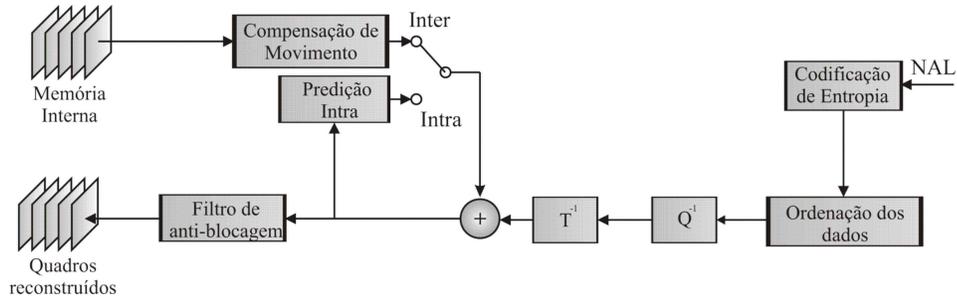


Figura 4. Diagrama de blocos do decodificador H.264.

A implementação do padrão H.264/AVC conhecida como x264 é utilizada para desenvolvimento desse trabalho, e trata-se de uma biblioteca gratuita para codificação de seqüências de vídeo digital (MERRITT *et al*, 2007). O x264 é usado por se tratar de uma implementação consolidada com suporte à subamostragem de croma 4:2:0. Outra funcionalidade que foi bastante útil a este trabalho foi o relatório de saída gerado ao final de cada execução. Dados como relação sinal de pico/ruído da componente de luminância e taxa de *bits* são especialmente relevantes para a análise do impacto dos métodos estudados.

### 3. Metodologia

Nesta seção, apresentam-se os algoritmos do sistema de transcodificação proposto neste artigo, que realiza a transcodificação de vídeos 4:2:0 no domínio dos *pixels* de definição padrão (720 x 576) para vídeos CIF (352 x 288). O sistema é formado pelas seguintes etapas: redução da resolução espacial, redução da resolução temporal e redução da taxa de *bits* por meio da compressão com o H.264. Descreve-se, ainda, os algoritmos utilizados para cada uma dessas etapas.

#### 3.1 REDUÇÃO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Para essa conversão foram eliminadas as oito primeiras e oito últimas colunas do vídeo em definição padrão, resultando em vídeos com resolução espacial 704 x 576, de forma que os vídeos ficassem com o dobro das dimensões horizontal e vertical dos vídeos CIF.

Para o sistema de transcodificação proposto foi aplicada a técnica da média de *pixels* com janelas deslizantes  $M \times M$ , em que os  $M^2$  *pixels* da janela são substituídos por um *pixel* formado pela média aritmética dos *pixels* da janela. Na equação a seguir, os *pixels*  $P_1(2x + i; 2y + j)$  da janela  $M \times M$ , em que  $x$  e  $y$  são as linhas e colunas da janela, sendo utilizados para obtenção do *pixel*  $P_2(x, y)$ .

$$P_2(x, y) = \frac{1}{M^2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{M-1} P_1(2x+i, 2y+j)$$

Utilizou-se quatro dimensões de janelas ( $M = 1; 2; 3$  e  $4$ ). Para o caso  $M = 1$ , a janela considerada contém apenas um *pixel* e pela observação da equação anterior conclui-se que são eliminados os *pixels* das linhas e colunas ímpares do vídeo SD. Para  $M = 2$ , não há sobreposição de janelas como acontece para  $M > 2$ .

A Figura 6 ilustra o caso  $M = 3$ , em que o *pixel* (0,0) da Figura 5(b) é obtido utilizando os *pixels* (0,0) a (2,2) da Figura 5(a). Para se obter o *pixel* (0,1) da Figura 5(b) se utiliza a janela (0,2) a (2,4). Da mesma forma, para se obter o *pixel* (1,0) da Figura 5(b), utiliza-se a janela da Figura 5(a) (2,0) a (4,2).

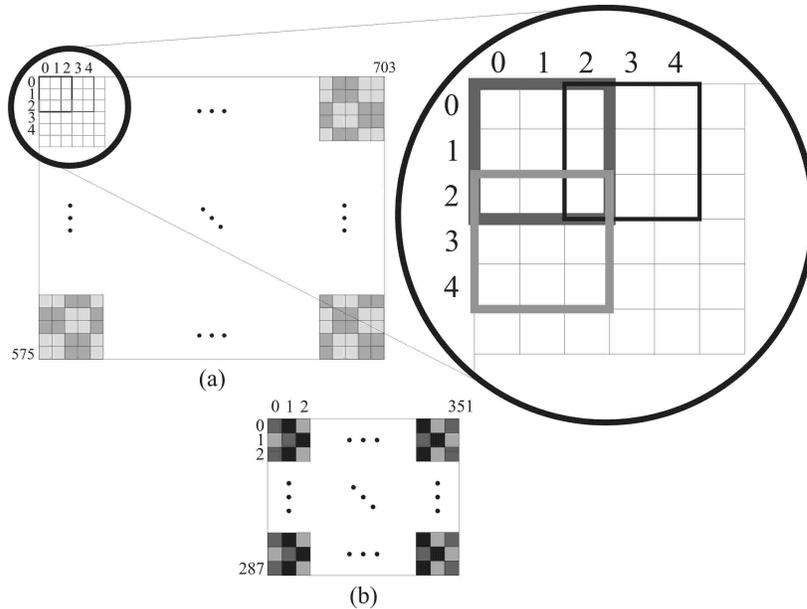


Figura 5. Técnica da média de pixels com janela 3 x 3. (a) Quadro SD 704 x 576. (b) Quadro CIF 352 x 288.

### 3.2 REDUÇÃO DA RESOLUÇÃO TEMPORAL

O sistema de transcodificação proposto neste artigo faz, além da redução da resolução espacial, a redução da resolução temporal, reduzindo a taxa de quadros para várias outras taxas. Foram utilizados vídeos com taxa de quadros original de 30 fps. Esses vídeos foram submetidos à redução da resolução temporal para as cinco taxas 10, 15, 20 e 25 fps. Para redução da resolução temporal foram eliminados alguns quadros dos vídeos em questão. As formas de eliminação são apresentadas a seguir.

Para redução da taxa de quadros para 10 fps foram aproveitados apenas os quadros múltiplos de três, conforme a Figura 6. O restante dos quadros foram eliminados, reduzindo então a taxa de quadros em 1/3. Na Figura 6(a) os quadros brancos são eliminados, restando os quadros cinza que formam a Figura 6(b).

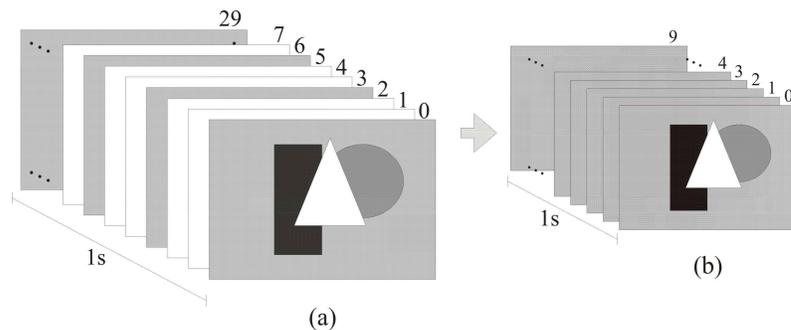


Figura 6. Redução da resolução temporal. (a) Vídeo com 30 fps (b) Vídeo com 10 fps.

Para redução da taxa de quadros para 15 fps foram aproveitados os quadros pares. Os quadros ímpares foram eliminados, de forma que o vídeo de saída tivesse uma redução da taxa de quadros por um fator de 1/2 .

Para a taxa de quadros de 20 fps foi utilizado um processo semelhante ao da redução para 10 fps, exceto que agora os quadros múltiplos de três são eliminados, restando então os quadros brancos da Figura 6. Assim, o fator de redução da taxa de quadros é 2/3. Para a taxa

de 25 fps foram eliminados os quadros múltiplos de seis. O vídeo de saída sendo reduzida em 5/6.

### 3.3 REDUÇÃO DA TAXA DE *BITS*

Conforme já detalhado, existem duas técnicas de redução de taxa de *bits*: a (re)quantização ou a transmissão seletiva de frequências. Neste trabalho, a transcodificação é no domínio dos *pixels* e a redução da taxa de *bits* é realizada com a codificação, que inclui a quantização. O padrão de compressão utilizado, o H.264, é considerado o mais adequado para receptores móveis. Vale a pena mencionar que os processos de redução da resolução espacial e temporal também implicam em uma redução da taxa de *bits*.

## 4. Resultados

Nesta seção, apresentam-se os resultados dos processos de transcodificação realizados. O principal objetivo foi analisar a relação entre os parâmetros de transcodificação (redução da resolução espacial e temporal) e os parâmetros do vídeo obtido. Observou-se o efeito das técnicas de transcodificação propostas e o impacto no processo de codificação realizado pelo codificador x264.

Com esse objetivo foram realizados dois tipos de testes utilizando o vídeo ‘Dolphins’, que possui um bom compromisso entre o nível de detalhes e a quantidade de movimento. O primeiro quadro do vídeo é apresentado na Figura 7.



Figura 7. Quadro do vídeo “Dolphins” utilizado nos testes.

Para diferentes tamanhos da janela, o vídeo foi codificado para diferentes taxas de quadro. Nas Figuras 8 e 9 pode-se ver os resultados destes testes. Na Figura 8 são apresentadas quatro curvas para as dimensões de janela testadas. O aumento da janela deslizando provoca uma maior redundância espacial nos quadros, isto é, aumenta significativamente a correlação entre *pixels* próximos dentro de um quadro, o que acarreta em uma melhor codificação, resultando em uma taxa de *bits* menor.

A ligeira queda nas curvas, com o crescimento da taxa de quadros deve-se ao aumento da correlação temporal na seqüência de vídeo. Esse comportamento é devido a uma menor quantidade de componentes de alta frequência que foram eliminadas pela operação da média. É interessante observar que para essas duas curvas as janelas deslizando se sobrepõem, o que aumenta ainda mais a correlação. O comportamento apresentado pela curva resultante do processo da média com janela 1 x 1 difere dos demais devido à grande quantidade de componentes de alta frequência inerentes aos procedimentos do algoritmo.

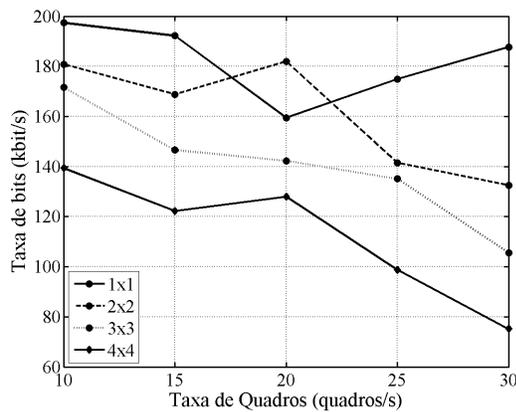


Figura 8. Gráfico da taxa de *bits* versus taxa de quadros (quadros/s) para eliminação simples (1 x 1) e média com janelas de tamanho 2 x 2, 3 x 3 e 4 x 4.

A Figura 9 ilustra a queda na taxa de *bits* devida ao aumento na dimensão da janela usada para cada taxa de quadros testada.

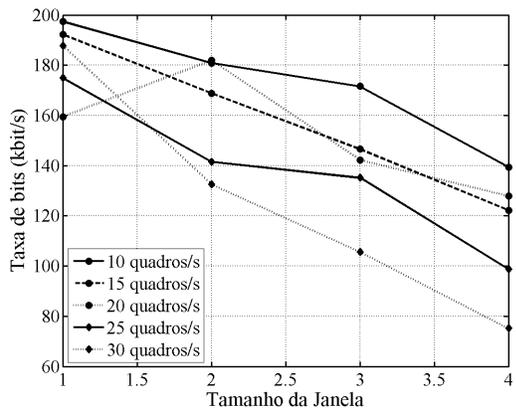


Figura 9. Gráfico da taxa de *bits* versus tamanho das janelas (1 x 1, 2 x 2, 3 x 3 e 4 x 4) para várias taxas de quadros (quadros/s).

Para uma mesma dimensão de janela, a taxa de *bits* aumenta com o aumento do número de quadros, conforme pode ser visto na Figura 9. É importante ressaltar que o aumento da janela e a conseqüente queda dos valores da taxa de *bits* não implicam em queda de qualidade visual. Os vídeos com janela 2 x 2 e 3 x 3 apresentaram qualidade subjetiva melhor do que o vídeo que teve a sua resolução espacial reduzida por eliminação simples de linhas e colunas. Os resultados mostraram pequenos ganhos com o aumento da taxa de quadros, o que é justificável devido à capacidade do codificador de explorar o aumento da redundância temporal da seqüência de vídeo.

## 5. Conclusões

Este trabalho apresenta resultados do desenvolvimento de um sistema de transcodificação de sinais de vídeo em definição padrão (SDTV) para obter seqüências de vídeo adequadas a receptores móveis. O sistema de transcodificação proposto converte o vídeo para resoluções espacial e temporal menores e utiliza um codificador H.264 para analisar e verificar os impactos das técnicas de transcodificação no resultado do processo de codificação.

Os resultados demonstraram que as técnicas de transcodificação com operações de média para janelas deslizantes com tamanho maior do que um ( $M > 1$ ), mesmo com a

diminuição da taxa de *bits* de saída do codificador, mantiveram, ou até mesmo, garantiram melhorias na qualidade subjetiva do vídeo em relação ao método de transcodificação com média de janela deslizante igual a um ( $M = 1$ ). Como esperado, com o aumento da taxa de quadros há um aumento da taxa de *bits* de saída do codificador. Entretanto, observou-se que para um aumento da taxa de quadros entre 20 e 30 quadros por segundo houve uma queda da taxa de *bits* sinalizando um melhor desempenho do codificador, variando de acordo com a dimensão da janela deslizante.

## 6. Referências

AHMAD, I.; WEI, X.; SUN, Y. & ZHANG, Y. Video Transcoding: An Overview of Various Techniques and Research Issues. IEEE Transactions on Multimedia, vol. 7, n. 5, 2005.

ALENCAR, M. S. Televisão Digital. São Paulo: Editora Érica, 2007.

FARIA, G; HENRIKSSON, J. A; STARE, E. & TALMOLA, P. DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices. Proceedings of the IEEE, vol. 94, n. 1, 2006.

ITU-T. Video coding for low bit rate communication. Geneva: ITU-T, 2000.

MERRITT, L; AIMAR, L; PETIT, E; CHEN, M; CLAY, J; RULLGARD, M; CZYZ, R; IZVORSKI, A; WRIGHT, A & HEINE, C. X264. Disponível em: <http://www.x264.nl>. Acesso em 07/03/2007.

MITRA, S. K. Digital Signal Processing: A Computer Based Approach. Santa Barbara: MacGraw-Hill, 2006.

POYNTON, C. Digital video and HDTV: Algorithms and interfaces. San Francisco: Morgan Kaufmann publishers, 2003.

QUEIROZ, R. L. Elementos básicos de transcodificação de vídeo para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD). Campina Grande: IECOM, 2005.

RICHARDSON, I. E. G. H.264 / MPEG-4 Part 10 White Paper – Reconstruction Filter. Disponível em: <http://www.vcodex.com>. Acesso em 10/07/2007.

SHANABLEH, T. & GHANBARI, M. Heterogeneous video transcoding to lower spatial-temporal resolutions and different encoding formats. IEEE Transactions on Multimedia, vol. 2, no. 2, pp. 101-110, 2000.

SUN, H.; CHEN, X.; CHIANG, T. Digital Video Transcoding for Transmission and Storage. Boca Raton: CRC Press, 2005.

VAIDYANATHAN, P. P. Multirate systems and filter banks. New Jersey: Prentice Hall/Englewood Cliffs, 1993.

VETRO, A.; CHRISTOPOULOS, C. & SUN, H. Video Transcoding Architectures and Techniques: An Overview. IEEE Signal Processing Magazine, pp. 18-29, 2000.

XIN, J. X; LIN, C. & SUN, M.. Digital Video Transcoding. Proceedings of the IEEE, vol. 93, no. 1, pp. 84-97, 2005.

XIN, J.; SUN, M.; CHOI, B. & CHUN, K. An HDTV-to-SDTV Spatial Transcoder. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 12, no. 11, 2002.