

AVALIAÇÃO DE ALGORITMOS DA MEDIANA PARA REDUÇÃO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL DE VÍDEO

F. F. N. JUNIOR, L. A. C. COSTA e C. D. M. REGIS

Instituto Federal de Ciências e Tecnologia da Paraíba - Campus Campina Grande
fernandojr.ifcg@live.com - regis.danilo@gmail.com - leo.cartaxo@gmail.com

RESUMO

A heterogeneidade das redes de comunicações e de terminais de acesso permite a conversão dos diferentes formatos de vídeo, de modo que o mesmo seja adequado ao receptor, proporcionando uma melhor visualização do vídeo e um custo menor ao sistema. Para essa adequação, usam-se transcodificadores de vídeos, que são sistemas capazes de converter uma sequência de vídeo com determinado formato em uma outra. Nesse artigo, o foco será os transcodificados de resolução espacial, na qual, é feita a redução espacial dos vídeos de CIF 352×288 para QCIF 176×144 . Muitas estratégias foram propostas para redução espacial do vídeo, umas com mais custos computacionais e outras menos. Dentre as técnicas que tem baixo custo computacional se destaca a técnica de subamostragem e filtragem. Em (REGIS, 2009) foram utilizados diferentes filtros, dentre eles o filtro da mediana. Neste artigo foi implementado outros algoritmos para o filtro da mediana (*wirth e quick select*) na transcodificação e comparados como os resultados obtidos em (REGIS, 2009). Para a avaliação foram utilizadas as métricas objetivas: tempo de processamento, PSNR e SSIM. Os resultados apresentam que com o uso dos algoritmos *wirth e quick select* o tempo de processamento diminui e para alguns casos a avaliação da qualidade dos vídeos não se alterou.

Palavras-chave: mediana, resolução espacial, vídeo digital, transcodificação, processamento de vídeo

1. INTRODUÇÃO

No acesso multimídia universal, diferentes terminais podem ter diferentes redes de acesso a Internet. Diferentes redes de acesso possuem diferentes características como largura de banda, taxas de erro de *bit* e taxas de perdas de pacotes. Cada vez mais dispositivos portáteis, como *smart cellular phones* e *tablets*, estão substituindo os tradicionais computadores pessoais como terminal dominante para acesso a Internet. Esses terminais variam significativamente em recursos como poder de computação e capacidade de resolução. Para flexibilizar a entrega de dados multimídia a usuários com diferentes recursos disponíveis, redes de acesso, e interesses, o conteúdo multimídia precisa ser adaptado dinamicamente de acordo com o ambiente de uso (XIN et al., 2005).

Para que dados multimídia sejam adaptados adequadamente a algum terminal de recepção, são utilizados sistemas de transcodificação, também chamados de transcodificadores. A transcodificação de vídeo é a operação de converter um vídeo de um formato para um outro formato. Os vídeos possuem diferentes formatos. Um formato é definido por características como taxa de *bit*, taxa de quadro, resolução espacial, codificação de sintaxe, e conteúdo (XIN et al., 2005).

A transcodificação de vídeo é cada vez mais necessária, pois diferentes padrões de compressão de vídeo vem surgindo, bem como a variedade de taxa de *bits* e resoluções, para diferentes terminais (GUAN et al., 2001). A transcodificação de vídeo também representa economia em espaço e tempo de produção, pois apenas o conteúdo da resolução máxima é armazenado no transmissor (REGIS, 2009), não precisando assim ter várias formatações para um mesmo.

A Figura 1 ilustra a arquitetura de transcodificador utilizada, o transcodificador no domínio do *pixel* cascadeado, uma das principais (XIN et al., 2002, apud SUN et al., 1996, YOUN et al., 1999), na qual, consiste de um decodificador seguido por um codificador (GUAN et al., 2001, XIN et al., 2002), onde R1 é o vídeo a ser convertido e R2 o vídeo de saída.

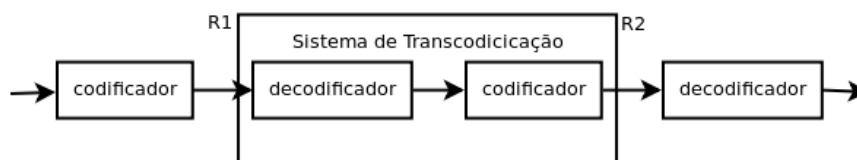


Figura 1: Sistema de transcodificação cascadeado (GUAN et al., 2001)

Em (REGIS, 2009) é apresentado várias formas de ser realizadas a redução espacial de vídeos, dentre podem ser citadas os filtros da média, mediana, moda e sigma. A partir da análise desses métodos verificou-se que poderia ser realizados melhorias no filtro da mediana. Assim foram implementados duas métricas diferentes para a mediana na transcodificação e avaliado os resultados com os apresentados em (REGIS, 2009).

Os algoritmos de mediana utilizados, além do simples, foram o *quick select* e o *wirth*. Os sistemas de transcodificação converteram a resolução espacial de um vídeo em CIF 352×288 para o formato QCIF 176×144 .

A Seção 2 descreve a transcodificação pela redução da resolução espacial. A Seção 3 relata os algoritmos de mediana que podem ser utilizados como técnicas de filtragem pixel espacial em imagens e vídeos. A Seção 4 especifica os sistemas de transcodificação avaliados. A Seção 5 apresenta a metodologia de avaliação desses sistemas, a Seção 6 os resultados da avaliação e por fim, são apresentadas as conclusões.

2. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

2.1 RESOLUÇÃO ESPACIAL

Uma das tarefas da transcodificação é como reestimar eficientemente (ou mapear) os vetores de movimento de saída de um vetor de movimento de entrada, ou seja, reduzir ou aumentar a resolução espacial do vídeo (XIN et al., 2005). Por exemplo, reduzir a resolução espacial de um formato CIF para o formato QCIF requer o cálculo de um novo vetor de movimento de quatro vetores de movimento, ou seja, a transcodificação de quatro macro blocos em um macro bloco (SHANABLEH & GHANBARI, 2000). É importante relatar que a redução ou aumento da resolução influencia diretamente na taxa de *bits*.

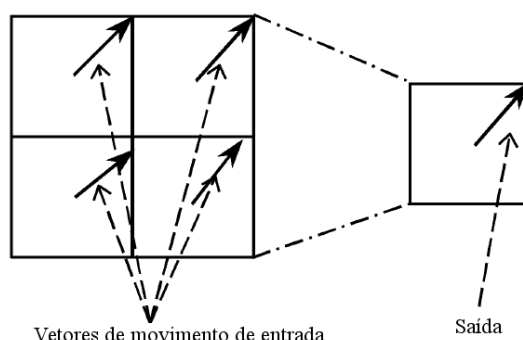


Figura 2: Transcodificação espacial 2:1 (XIN et al., 2005)

A Figura 2 ilustra um problema de mapeamento de movimento de uma transcodificação 2:1, como do CIF para QCIF, em que os macro blocos de entrada possuem quatro vetores de movimento que são intimamente relacionados com o macro bloco de saída que possui um único vetor de movimento. Outro exemplo de aplicação possível é a redução da resolução espacial de fator 8:3 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).

Outra proposta foi definida para a redução espacial em (XIN et al., 2005, p. 88) com a interpolação, subamostragem e filtragem (media, mediana, etc.). A interpolação é empregada para aumentar a taxa de amostragem de uma sequência por um fator inteiro $L > 1$, enquanto a subamostragem é empregada para diminuir a taxa de amostragem por um fator inteiro $S > 1$ (REGIS, 2009). A filtragem no domínio *pixel* espacial consiste na variação do valor digital de um *pixel* do quadro de entrada para um quadro de saída segundo a influência dos valores de seus pixels vizinhos, na qual constituem a máscara (ou janela) de filtro, que por sua vez é deslocada sobre o quadro linha a linha, coluna a coluna (BRYN, 2008).

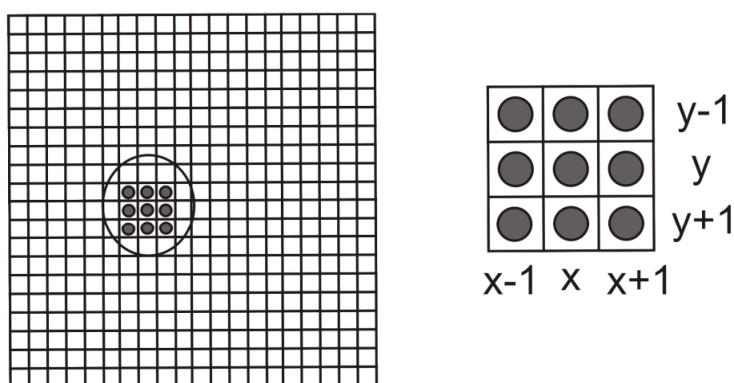


Figura 3: Máscara de deslocamento (REGIS, 2009).

A filtragem pode ser representada pela equação: $s(i, j) = T [e(x, y)]$ em que $s(i, j)$ é o valor do pixel na coordenada espacial (i, j) no quadro de saída e T é um operador sobre a máscara de entrada $e(x, y)$ (FILHO & NETO, 1999, p. 83), na qual, dependendo da combinação dos seus valores e do operador, um maior ou menor realce do quadro irá ser promovido (BRYN, 2008, apud PARADELLA, 1990). Vale ressaltar que as máscaras podem ter quaisquer dimensões e formatos como quadriculado, triangulado, irregulares etc. (REGIS, 2009, p. 23). A Figura 3 ilustra uma máscara com dimensões horizontais e verticais idênticas e iguais a três, na qual possui o formato quadriculado.

Os tipos de filtros no domínio espacial são passa baixa, passa alta e direcionais (BRYN, 2008, p. 72-74). O efeito visual de filtros passa baixa é o de suavização ou homogeneização do quadro uma vez que valores de pixels elevados, que correspondem às transições abruptas, são atenuados. Os passa baixas podem ser classificados como lineares e não lineares, sendo que os não lineares possuem a vantagem de não afetar fortemente as áreas sem ruído no quadro (REGIS, 2009). Como exemplos de filtros não lineares existem os filtros da média e da mediana. Os filtros da mediana, ao contrário da média, tem como vantagem manter os principais detalhes em imagens e vídeos (REGIS, 2009) e são considerados os mais populares na questão do ruído (ABBAS & DOMANSKI, 2000, LUKIN, 2007).

Os filtros da mediana são, portanto, baseados no deslocamento de uma máscara em um quadro de entrada (como em uma convolução, por exemplo), onde o valor do pixel na posição correspondente no quadro de saída, é dado pela mediana dos valores dos pixels da máscara. Eles são não lineares e não existe uma formulação matemática que descreva o processo da sua aplicação e são definidos por algoritmos de seleção da mediana (REGIS, 2009).

2.2 ALGORITMOS DE MEDIANA

Pode-se afirmar que 50% das observações que compõem um conjunto qualquer de dados são menores ou iguais à observação correspondente à sua mediana, e, consequentemente os 50% restantes, são observações maiores ou iguais a essa medida (SALSA et al. 2007). A mediana não é influenciada por valores extremos, por isso, quando se trabalha com observações que apresentam valores extremos, deve-se optar por usar a mediana ao invés da média, pois ela representará melhor dados que têm essa característica. Por exemplo, a mediana de um conjunto contendo cem 1's é 1. Entretanto, se apenas um desses elementos acidentalmente se corromper para 10.000, a média seria 101, enquanto a mediana permaneceria inalterada.

Em livros de estatísticas, a mediana Md de um conjunto A de elementos de tamanho n é encontrada pela ordenação da mesma em ordem crescente, e selecionando o valor do seu índice E central. Caso n for ímpar, E será conforme:

$$E_{M_d} = \frac{n+1}{2}$$

se não, a lista possuirá dois índices centrais e M_d será

$$M_d = \frac{\frac{n}{2} + \frac{n}{2} + 1}{2}.$$

Um algoritmo simples para a ordenação de elementos utilizando esse método é:

- I. Selecione o elemento de menor valor de A ;
- II. Troque esse elemento com o primeiro elemento a_1 ;
- III. Repita os passos I e II com os elementos $n - 1$ restantes, então com os elementos $n - 2$, até que um elemento, o maior, é deixado.

44	55	12	42	94	18	06	67
06	55	12	42	94	18	44	67
06	12	55	42	94	18	44	67
06	12	18	42	94	55	44	67
06	12	18	42	94	55	44	67
06	12	18	42	44	55	94	67
06	12	18	42	44	55	94	67
06	12	18	42	44	55	67	94

Figura 4: Processo de ordenação

Esse método é exemplificado nos oito elementos da Figura 4.

Embora possa não parecer, a abordagem simples apresentada possui uma complexidade computacional alta, tendo em vista que se necessita apenas do valor central e não de toda a lista ordenada, o que motivou o surgimento de algoritmos mais eficientes como o wirth e o quick select. As subseções a seguir abordam esses algoritmos.

2.3 Wirth

Esse algoritmo baseia-se no algoritmo de busca (*find*), proposto por Hoare (1971), o mesmo criador do *quicksort*, para encontrar a mediana, de forma não recursiva, e pode ser encontrado no livro de Wirth (1976, p. 82-84). O propósito do algoritmo de busca é encontrar o elemento de um vetor $A[1:N]$ em que o valor é o f th em ordem de magnitude, sem ter que ordenar o vetor completamente; e rearranjar o vetor de forma que esse elemento é colocado em $A[f]$; e todos os elementos de menores índices em relação a f possuem os menores valores, e todos os elementos de maiores índices em relação a f possuem os maiores valores, gerando o seguinte relacionamento (HOARE, 1971)

$$A[1], A[2], \dots, A[f-1] \leq A[f] \leq A[f+1], \dots, A[N].$$

O rearranjo do vetor é baseado em uma modificação do método de particionamento, na qual, em sua concepção original, consiste de:

- I. Selecionar um elemento do vetor aleatoriamente e chamá-lo de x ;
- II. Escanear o vetor da esquerda enquanto um elemento $a_i > x$ seja encontrado e então escanear pela direita enquanto um elemento $a_j < x$ seja encontrado;
- III. Troque os dois elementos e continue o escaneamento e o processo de troca até que os

escaneamentos se encontrem em algum lugar no meio do vetor.

Por exemplo, se o elemento 42 for selecionado aleatoriamente como sendo x , então o vetor A requer duas trocas $18 \leftrightarrow 42$ e $6 \leftrightarrow 55$, para gerar o particionamento A' . Onde os elementos $a'_1 \dots a'_{i-1}$ são, portanto, menores ou iguais que o elemento $x = 42$, e os elementos $a'_{j+1} \dots a'_n$ são maiores ou iguais ao elemento $x = 42$.

$$A = (44, 55, 12, 42, 94, 06, 18, 67),$$

$$A' = (18, 06, 12, 42, 94, 55, 44, 67).$$

2.4 Quick Select

Esse algoritmo foi apresentado por Press et al. (2002, p. 341-345) e possui um vínculo estreito com o algoritmo apresentado por Wirth (1976). Ele também trabalha não recursivamente, é baseado no algoritmo de busca e utiliza o método de particionamento para selecionar a mediana.

Esse algoritmo foi apresentado por Press et al. (2002, p. 341-345) e possui um vínculo estreito com o algoritmo apresentado por Wirth (1976). Ele também trabalha não recursivamente, é baseado no algoritmo de busca e utiliza o método de particionamento para selecionar a mediana. A diferença está na adição, no laço principal, de uma reordenação simples no sub-vetor de entrada $A[l:ir]$ antes de entrar no sub-laço de particionamento, de forma que elementos “sentinelas” sejam reordenados conforme $a'[l] \leq a'[l+1] \leq a'[ir]$ e $a[0] \leq a[k] \leq [n-1]$ (Press et al., 2002, p. 333, 341), como ilustra o pseudo código abaixo:

```
TROCAR(a[k],a[l+1]);
```

```
SE (a[l] > a[ir]) {
```

```
  TROCA(a[l],a[ir]);
```

```
}
```

```
SE (a[l+1] > a[ir]) {
```

```
  TROCA(a[l+1],a[ir])
```

```
}
```

```
SE (a[l] > a[l+1]) {
```

```
  SWAP(a[l],a[l+1])
```

```
}
```

2.5 SISTEMAS DE TRANSCODIFICAÇÃO

Esta seção descreve as especificações dos sistemas de transcodificação, no domínio dos *pixels*, avaliados neste artigo. Os sistemas foram escritos na linguagem de programação C e possuem a função de reduzir a resolução espacial de vídeos CIF 352×288 para QCIF 176×144, com o fator 2:1 (352:176 = 288:144 = 2:1).

Para a redução da resolução espacial foi aplicado um subamostrador S de valor 2 e filtros da

mediana, na qual, são baseados nos algoritmos de mediana não recursivos: *simples*, *quick select* e *wirth*. Para os filtros foram utilizadas quatro tipos de mascaras deslizantes de dimensões 2x2, 3x3, 4x4 e 5x5, cada. Para os algoritmos *quick select* e *wirth*, foi utilizado dois códigos implementados em C por Devillard (1998).

Como as mascaras são deslocadas sobre os quadros dos vídeos linha a linha, coluna a coluna, é importante analisar se há ou não sobreposição das mesmas fora dos quadros, ou seja, se uma máscara for centralizada em um ponto da borda, alguns elementos da máscara não terão valores definidos por estarem fora dos limites do quadro (REGIS, 2009). A sobreposição ocorre quando o tamanho da dimensão de uma janela é maior que o fator de redução da resolução, como ilustra a Figura 5. Para contornar este problema nos sistemas, um valor predeterminado foi atribuído aos pontos fora do quadro utilizando o procedimento de repetição de bordas.

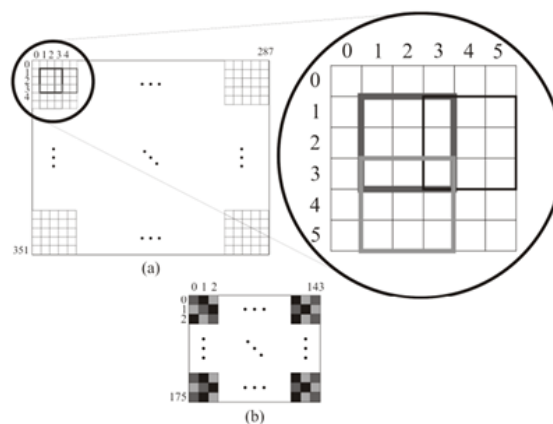


Figura 1: Técnica de filtragem de *pixels* com janela 3 x 3. (a) Quadro CIF 352 x 288, (b) Quadro QCIF 176 x 144 (REGIS, 2009)

Na Figura 5 é ilustrado o caso da janela 3x3, em que o pixel (1,1) da Figura 5(b) é obtido baseando-se nos *pixels* (1,1) a (1,3), (2,1) a (2,3) e (3,1) a (3,3) da Figura 5(a). Para se obter o *pixel* (1,2) da Figura 5(b), utiliza-se a janela (1,3) a (1,5), (2,3) a (2,5) e (3,3) a (3,5). Da mesma forma, para se obter o pixel (2,1) da Figura 5(b), utiliza-se a janela da Figura 5(3,1) a (3,3), (4,1) a (4,3) e (5,1) a (5,3). Com o procedimento de repetição de bordas, as bordas da Figura 5(a) são iguais as bordas da Figura 5(b).

2.6 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

Métodos de avaliação se fazem necessários quando a transcodificação de vídeos é realizada. Em transcodificação de redução de resolução espacial de vídeo sempre ocorre a perda de qualidade de imagem, e para medir essa perda existem métodos de avaliação objetivas e subjetivas.

Um dos métodos de avaliação subjetiva descritos pela literatura é o PC (*Pair Comparison*), na qual, consiste que um grupo de pessoas avalie todos os vídeos em pares dando notas 0 a 10 para cada vídeo. Nesse trabalho foram utilizadas apenas metodologias de avaliação objetivas ou seja, medições em tempo real, comparando a imagem sob teste com a imagem original.

Além da métrica básica, tempo de processamento, foram utilizadas as métricas PSNR e SSIM. O SSIM é um algoritmo que utiliza a estatística da imagem para a avaliação de qualidade de imagens usando janelas. Os índices SSIM são calculados pelas janelas deslizantes. Dessa forma todo o quadro de teste é comparado com o quadro original e o valor do índice geral vai de -1 ate 1, no qual 1 representa que o quadro de teste é igual ao original, consequentemente com mais qualidade de imagem (COSTA et

al.). A equação utilizada para calcular o SSIM é dada por:

$$SSIM(f, h) = \frac{2(\mu_f \mu_h + C_1)(2\sigma_{fh} + C_2)}{(\mu_f^2 + \mu_h^2 + C_1)(\sigma_f^2 + \sigma_h^2 + C_2)}$$

Para calcular o PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*), calcular-se o MSE (*Mean Square Error*). O MSE ou erro quadrático médio é calculado através da soma das diferenças quadráticas entre todos os *pixels* da imagem original e da imagem que está sendo avaliada. Este resultado é dividido pelo número de *pixels* totais, para fazer a média (REGIS, 2009), segundo a equação abaixo:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(f(i, j) - F(i, j))]^2}{M \times N}$$

O PSNR é medido em uma escala logarítmica e depende do erro quadrático médio (MSE) entre duas imagens, uma original e uma processada, relativo ao valor $(2^n - 1)^2$, que representa o quadrado do maior valor possível de sinal na imagem, onde n é o número de bits de cada imagem. O PSNR é expresso por:

$$PSNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{(2^n - 1)^2}{MSE}$$

2.7 RESULTADOS

Para a avaliação da redução espacial do vídeo foi utilizado o vídeo CIF *news.cif* como sendo o vídeo original/entrada a ser transcodificado, para o formato de resolução QCIF como ilustra a Tabela 1. Para comparar a PSNR e a SSIM Fast, foi utilizado o vídeo QCIF original *news.qcif*

Tabela 1: Resultados da Transcodificações Espaciais (new.cif → news.qcif)

Algoritmos	Dimensões	PSNR	SSIM Fast	TPM médio
Simples	2x2	33,36	0,98	1,121
Simples	3x3	28,28	0,95	3,6675
Simples	4x4	31,65	0,97	8,9139
Simples	5x5	27,04	0,93	18,0077
Wirth	2x2	28,22	0,96	1,3467
Wirth	3x3	28,28	0,95	2,8293
Wirth	4x4	29,56	0,96	5,422
Wirth	5x5	27,04	0,93	7,5835
Quick Select	2x2	28,22	0,96	1,31
Quick Select	3x3	28,28	0,95	2,4007
Quick Select	4x4	29,56	0,96	4,5574
Quick Select	5x5	27,04	0,93	6,19

Como é apresentado na Figura 6, as dimensão pares apresentam um melhor desempenho para o algoritmo *simples* em relação a PSNR/SSIM Fast e para as dimensões impares os resultados são semelhantes. A dimensão 2x2 obteve o melhor resultado entre todas as usadas.

Em relação ao tempo de processamento médio (em segundos), a Figura 6 (b) apresenta ganhos dos algoritmos implementados em relação a métrica simples, sendo elevado para as maiores dimensões. Para a dimensão 3x3, o *quick select* foi o que obteve melhor tempo de processamento e o *simples* o pior tempo, onde o *quick select* foi 34% mais rápido que o *simples*. Para a dimensão 4x4, o algoritmo *simples* em tempo de processamento foi muito pior em relação ao *quick select*, que foi o melhor, na qual obteve uma vantagem de 50%. Para a dimensão 5x5, o *quick select* se sobressaiu dos demais em tempo de processamento, com cerca de 65% de velocidade a mais que o algoritmo *simples*.

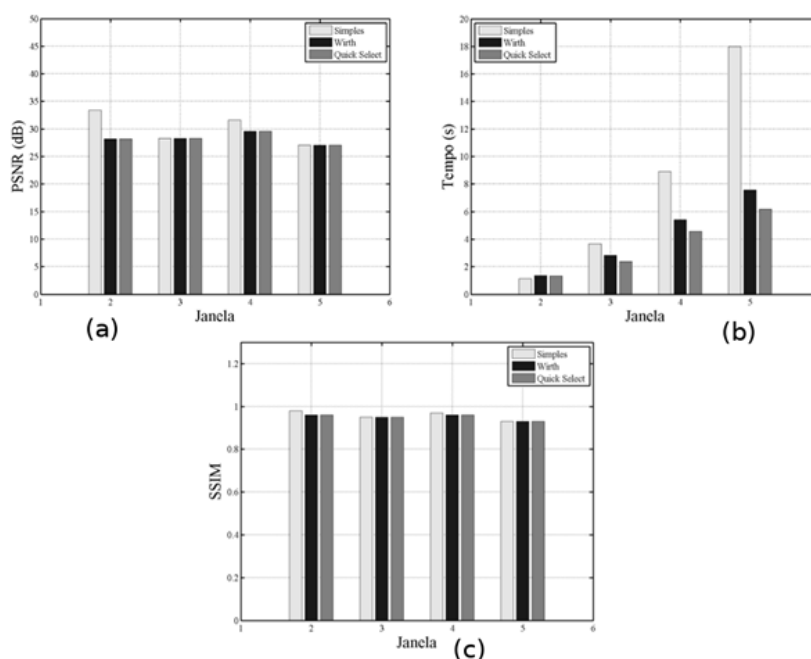


Figura 1: Resultados das avaliações da PSNR (a), Tempo de Processamento (b) e SSIM (c).

3. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os resultados da avaliação objetiva de vídeos transcódificados espacialmente no domínio dos pixels, usando algoritmos de mediana (*simples*, *wirth* e *quick select*), com mascaras de dimensões 2x2, 3x3, 4x4 e 5x5. O vídeo base utilizado para as transcódificações foi um vídeo de pouca movimentação com o formato de resolução CIF 352x288 para gerar vídeos de diferentes resoluções QCIF 176x144, com o fator 2:1 ($352:176 = 288:144 = 2:1$).

Para a avaliação objetiva foi utilizado os métodos PSNR e SSIM Fast. Para todos os algoritmos de mediana, pode-se observar que quanto maior for a janela, maior é o tempo de processamento; e que as dimensões pares se sobressaem das impares em relação a PSNR e SSIM Fast. Para as dimensões mais altas o custo beneficio do algoritmo *quick select* é melhor, tendo em vista que transcodificou mais rápido os vídeos com a qualidade igual ou um pouco inferior.

No geral verifica-se que a dimensão que deve ser utilizada é a 2x2 por ter obtido o melhor desempenho de qualidade e tempo de processamento. Porém deve ser avaliado também vídeos com características diferentes para verificar se a métrica *simples* é melhor para todo tipo de vídeo.

Assim será implementado como trabalho futuro os métodos de redução espacial para vídeos com mais movimentação e textura de forma que se possa afirmar com mais precisão qual é a melhor dimensão e o algoritmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ABBAS, K, J. DOMANSKI, M. Rejection of scratches from video by use of filters with predction error processing. Proceedings of Signal Processing X: Theories and Applications, Eusipco , Tampere, 2000.
- BRYIS, L. M. Pagina Dinâmica para o Aprendizado do Sensoriamento Remoto. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.
- COSTA. L. A. C; CRUZ. J. N; FERREIRA, M. W. F; SOUSA, V. ; REGIS, C. D. Redução Espacial de Vídeo Digital para TV Móvel Utilizando Wavelets. InfoBrasil, 2011.
- DEVILLARD, N. Fast median search: an ANSI C implementation . Julho, 1998.
- FILHO, O. M. & NETO, H. V. Processamento de Imagens. Brasport, Rio de Janeiro, 1999.
- GUAN, L.; KUNG, S. Y. & LARSEN, J. Multimedia Image and Video Processing. CRC Press LLC, 2001.
- HOARE, C. A. R. Proof of a Program: FIND. Communications of the ACM, vol. 14, no. 1, janeiro, 1971.
- LUKIN, A. Tips & Tricks: Fast Image Filtering Algorithms. GraphiCon'2007, Moscow, 2007.
- PRESS, W. H.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T. & FLANNERY, B. P. Numerical Recipes in C . Cambridge University Press , ed. 2, reprinted in 2002.
- REGIS, C. D. M. Avaliação de Técnicas de Redução da Resolução Espacial de Vídeos para Dispositivos Móveis. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, 2009.
- SALSA, I. S.; MOREIRA, J. A. & PEREIRA, M. G. Medidas de Tendência Central: Média, Mediana e Moda. EDUFRN Editora da UFRN, Natal, 2007.
- SHANABLEH, T. & GHANBARI, M. Heterogeneous Video Transcoding to Lower Spatio-Temporal Resolutions and Different Encoding Formats. IEEE Transactions on Multimedia, vol. 2, no. 2, 2000.
- WIRTH, N. Algorithms + Data Structures = Programs. PRENTICE-HALL, INC, 1976.
- 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.
- XIN, J.; LIN, C. W. & SUN, M. T. Digital Video Transcoding. Proceedings of the IEEE, vol. 93, no. 1, 2005.