

COMPRESSÃO DE IMAGENS DO TIPO RGB UTILIZANDO A TRANSFORMADA DISCRETA DE WAVELET

Leandro César Delfino

Universidade Federal de Uberlândia - FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica.
Av. João Naves de Ávila, 2160 - Bloco M, CEP 38400-902 – Uberlândia/MG.
leandro@mecanica.ufu.br

Francisco Paulo Lé pore Neto

fplepore@mecanica.ufu.br

Resumo: A área de processamento digital de imagens tem sido amplamente estudada nas últimas três décadas. Compressão de imagens e filtragem são dois campos importantes nesta área. Este trabalho apresenta uma técnica para a compressão de imagens do tipo Windows Bitmap (BMP) com definição truecolor em formato RGB utilizando a Transformada Discreta de Wavelet. São discutidos métodos de compressão com e sem perdas, presentes na literatura, nas suas áreas de aplicações. Uma pequena introdução à teoria da Transformada de Wavelet é apresentada e sua aplicação em imagens do tipo RGB é discutida. Um método é proposto para a realização das etapas necessárias para a compressão da imagem em um arquivo de menor tamanho. Aplicações com diferentes tipos de imagens são discutidas para análise da eficiência do método proposto.

Palavras-chave: Compressão de Imagens, Transformada de Wavelet, RGB, Bitmap.

1. INTRODUÇÃO

A área de processamento digital de imagens tem sido amplamente estudada nas últimas três décadas. Compressão e reconstituição são dois campos importantes nesta área. A Transformada de Wavelet tem seu papel importante neste campo, já que ela oferece novas representações para os dados cujas características a serem processadas se tornam mais significativas. Uma das aplicações comuns da teoria de wavelet é a compressão de dados. Por compressão de dados é entendido como sendo a habilidade de representar uma massa de dados de forma mais concisa, onde seja mais fácil de armazenar e transmitir, retendo a informação essencial dos dados originais.

Há dois esquemas básicos de compressão de imagens: sem perdas e com perdas (Abo-Zahhad *et al*, 2002). No primeiro caso de compressão, o interesse é reconstruir os dados exatamente, sem perda de informação. As técnicas de compressão com perdas envolvem alguma perda da informação. Aos dados a serem comprimidos são aplicadas técnicas de tal forma que os dados originais não podem ser reconstruídos ou recuperados. No entanto, devido a esta distorção, estes tipos de técnicas apresentam maiores taxas de compressão.

Em muitos tipos de aplicações, não é necessária a reconstrução exata da imagem original. Por exemplo, em uma reconstrução de uma sequência de vídeos, o fato da reconstrução não ser exatamente igual ao original não se torna um problema grave. Portanto, vídeos são geralmente comprimidos com perdas.

Na compressão sem perdas, a imagem reconstruída é idêntica à original, portanto, não há problemas de qualidade. No entanto, na compressão com perdas, a reconstrução é apenas uma aproximação da imagem original. Medidas de qualidade são características importantes na compressão com perdas. No contexto geral, um nível de erro é esperado, desde que a qualidade após a compressão seja aceitável.

Vários métodos de alta qualidade já foram propostos para a compressão de imagens (Chang *et al*, 1997; Abo-Zahhad *et al*, 2002; Lin *et al*, 2003). O padrão JPEG utiliza a Transformada de Fourier para poder realizar esta compactação mantendo o fator de qualidade da imagem. Já a nova versão deste formato, denominado JPEG2000, utiliza a decomposição em wavelets, obtendo melhores resultados no processo.

Este trabalho também propõe a compressão de imagens do tipo Windows Bitmap Truecolor (bmp) utilizando a Transformada Discreta de Wavelet para decompor a mesma em vários níveis e armazenar apenas as informações desejadas.

No capítulo 2 será realizada uma introdução à teoria da transformada utilizada, com aprofundamento para a decomposição da imagem em aproximações e detalhes. No capítulo 3 será apresentada a estrutura de um arquivo do tipo RGB. No capítulo 4, a proposta do método desenvolvido será discutida com detalhes. Por fim no capítulo 5 será visto alguns exemplos de compactação utilizando um programa implementado no MATLAB.

2. TEORIA DA TRANSFORMADA DE WAVELET

A Transformada de Wavelet recentemente emergiu como uma importante ferramenta matemática para a análise de sinais não-estacionários. Ela é atualmente aplicada a problemas de diversas áreas, tais como comunicações, processamento de imagens, análise numérica, compactação de dados, dentre outros. No caso da Transformada de Wavelet, os sinais são decompostos em termos de famílias de átomos consistindo de todas as versões transladadas e dilatadas da função de análise (Teolis, 1998).

De uma forma intuitiva, a decomposição em wavelet consiste no cálculo de um índice de correlação entre o sinal ou imagem e a wavelet localizada em uma posição b e escala a . Se o índice é alto, a correlação é forte, senão é fraca. Matematicamente, tem-se:

$$C(a,b) = \int_R s(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \text{ onde } a = 2^j, b = k2^j, (j,k) \in \mathbb{Z}^2 \quad (1)$$

Os índices $C(a,b)$ são chamados coeficientes de Wavelet, onde $s(t)$ é o sinal a ser decomposto e $\psi(t)$ é a wavelet utilizada.

A Transformada Discreta de Wavelet DWT é uma extensão das séries de wavelet para sinais analógicos discretizados de comprimento finito. O fator de escala é igual a 2^j onde j é um inteiro. A escolha de 2^j para o fator de escala cria uma amostragem diádica $2^j k$ do sinal onde a taxa de amostragem muda por um fator de dois entre as escalas. A amostragem dependente da escala cria um padrão diádico das amostras. Cada ponto tem uma wavelet com uma dilatação binária específica e uma translação diádica (Gregoris *et al*, 1994).

A decomposição em wavelets produz uma família de decomposições hierarquicamente organizadas. A seleção de nível desejado para a decomposição dependerá da imagem e da experiência. Frequentemente o nível é escolhido com base na frequência de corte do filtro passa-baixa (MatLab Toolbox, 2000).

A cada nível j , obtém-se uma aproximação A_j e um detalhe D_j . Pode-se considerar o sinal original como sendo a aproximação no nível 0, denotado como A_0 . As palavras aproximação e detalhe são justificadas pelo fato de que A_j é uma aproximação de A_{j-1} composta pelas frequências baixas de A_{j-1} , enquanto que D_j corresponde às frequências altas de A_{j-1} . Desta forma:

$$A_2 = A_3 + D_3 = A_4 + D_4 + D_3 \quad (2)$$

A decomposição wavelet de um sinal s analisado em um nível j tem estrutura de coeficientes $[CA_j, CD_j, CD_{j-1}, \dots, CD_1]$. Além disto, a cada decomposição, a transformada realizada um subamostragem do sinal, reduzindo pela metade o número de coeficientes gerados em relação à decomposição anterior. Graficamente podemos visualizar na Figura 1 o esquema de decomposição descrito anteriormente.

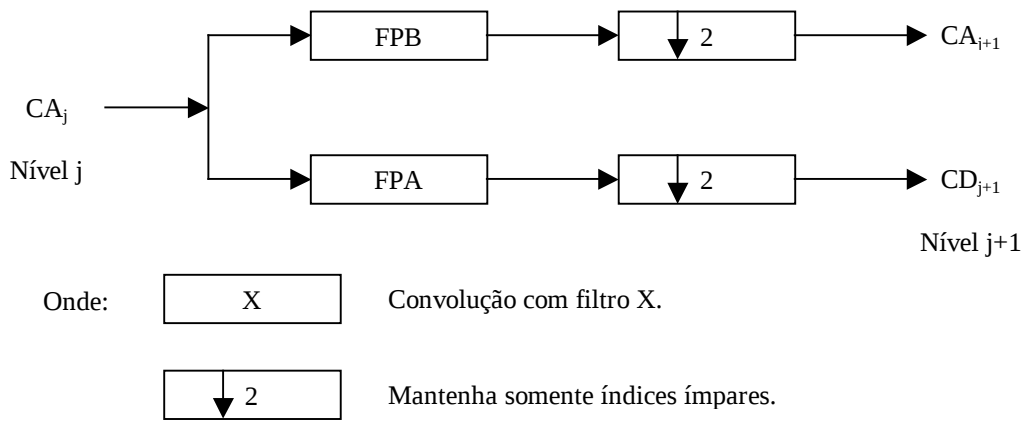


Figura 1: Decomposição Wavelet.

De forma inversa, iniciando de CA_j e CD_j , a Transforma Inversa de Wavelet reconstrói CA_{j-1} inserindo zeros e convoluindo os resultados com os filtros de recomposição.

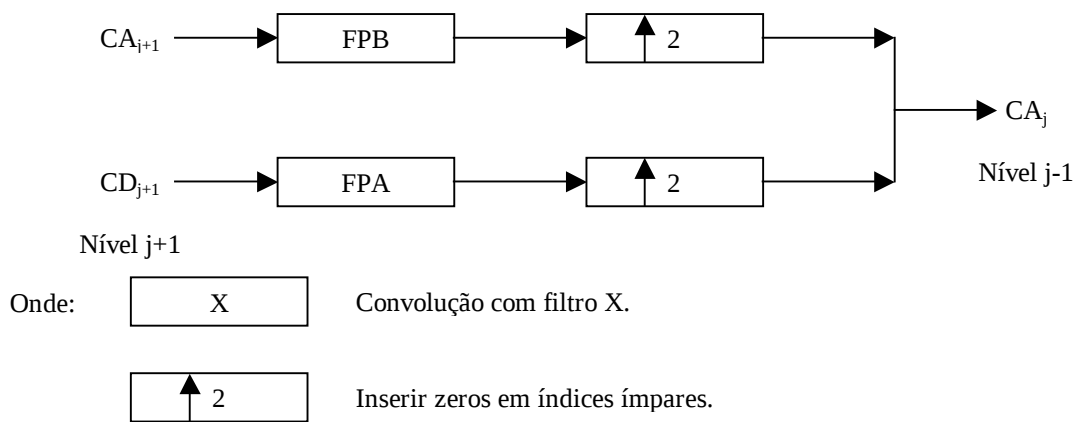


Figura 2: Recomposição Wavelet.

Para imagens, um algoritmo similar é possível, utilizando-se wavelets em duas dimensões obtidas de wavelets de uma dimensão através de produto tensorial. Este tipo de transformada bidimensional leva a uma decomposição de coeficientes de aproximação em um nível j em quatro componentes: a aproximação no nível $j+1$ e os detalhes em três orientações (horizontal, vertical e diagonal). Então, a decomposição em wavelet de uma imagem analisada em um nível j tem a seguinte estrutura: $[CA_j, CDH_j, CDV_j, CDD_j, \dots, CDH_1, CDV_j, CDD_1]$.

3. ESTRUTURA DE UMA IMAGEM WINDOWS BITMAP TRUECOLOR (BMP)

O propósito de um modelo de cores é facilitar a especificação das cores em alguma forma padrão de aceite geral. Essencialmente, um modelo de cor é uma especificação de um sistema de coordenadas tridimensionais e um subespaço dentro deste sistema onde cada cor é representada por um único ponto (Gonzalez *et al*, 2000).

No modelo RGB, cada cor aparece nos seus componentes espectrais primários de vermelho, verde e azul. O subespaço de cores de interesse é o cubo mostrado na figura a seguir, no qual os valores RGB estão nos três cantos; ciano, magenta e amarelo nos outros três; preto está origem; e branco está no canto mais distante da origem. Neste modelo, a escala de cinza estende-se do preto até o branco ao longo de uma linha juntando os dois pontos, e as cores são pontos sobre ou dentro do cubo, definidas por vetores estendendo-se a partir da origem. Por conveniência, assume-se que todos os valores de cores são normalizados, de modo que o cubo seja unitário (Gonzalez *et al*, 2000).

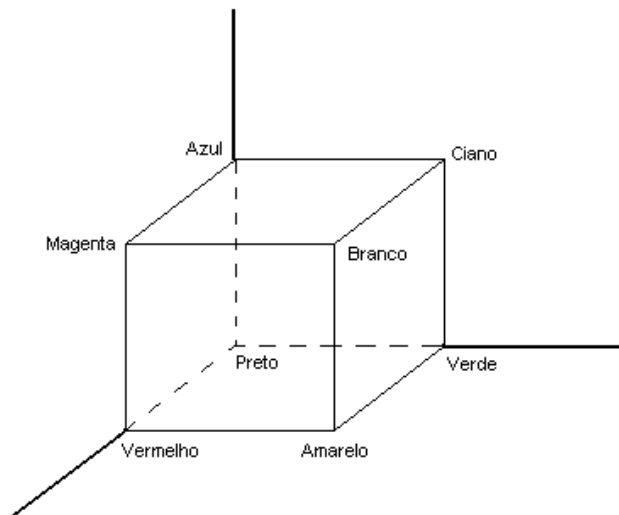


Figura 3: Cubo Unitário de Cores.

Imagens no modelo de cores RGB consistem de três planos de imagem independentes, um para cada cor primária. Estas três imagens se combinam para produzir uma imagem de cores compostas. Assim, o uso do modelo RGB para processamento de imagens faz sentido quando as imagens são naturalmente expressas em termos de planos de três cores. Alternativamente, a maioria das câmeras coloridas usadas para aquisição de imagens digitais utiliza este formato, o que por si só torna este modelo importante.

Desta forma, em uma imagem qualquer RGB, a decomposição em wavelets deverá ser realizada para cada camada de cor e qualquer ação realizada na imagem deverá ser aplicada aos três níveis de cores.

4. MÉTODO DE COMPRESSÃO DE IMAGENS

Compressão de sinais ou imagens é uma meta principal para aplicações que desejam minimizar a armazenagem ou a capacidade do meio necessária para arquivar ou transmitir a informação contida em um sinal ou imagem.

A noção atrás da compressão é baseada no conceito que os componentes regulares de um sinal podem ser precisamente aproximados através de um pequeno número de coeficientes de aproximação (até um nível desejado) e alguns coeficientes de detalhes. Um raciocínio lógico seria utilizar somente alguns coeficientes necessários para realizar a réplica com qualidade ao invés da imagem ser armazenada ou transmitida inteira (Abo-Zahhad *et al*, 2002).

Problemas de compressão também podem ser vistos através da quantização do domínio wavelet, ou seja, com qual precisão numérica os coeficientes serão armazenados. Desde que a quantização possa ser vista como um distúrbio intencional nos coeficientes, a robustez que a representação sobrecompleta wavelet oferece a este tipo de ruído torna-se uma qualidade importante. A principal idéia é que para uma representação sobrecompleta, os coeficientes podem ser representados com poucos bits sem afetar muito a qualidade da reconstrução (Teolis, 1998).

Portanto, pode-se armazenar uma imagem através de poucos coeficientes utilizando poucos bits na codificação, trazendo assim, uma boa compressão nos dados a serem armazenados ou transmitidos em um canal de comunicação.

Como foi visto, os coeficientes de wavelet representam o índice de correlação entre determinada wavelet e a imagem analisada. A recomposição desejada pode ser feita utilizando somente os coeficientes com alto índice de correlação. Isto é feito, geralmente, através da escolha de um nível de thresholding (nível limiar), onde os índices com baixa correlação são anulados e descartados. Há casos em que apenas 15% dos coeficientes podem reproduzir até mais de 90% da energia espectral da imagem (Lin *et al*, 2003).

O procedimento geral de compressão pode ser resumido em três etapas:

Decomposição:

- Escolha de uma família de wavelets e um nível de decomposição N .
- Computar a decomposição em wavelets de um sinal ou imagem s no nível N .
- Anular os coeficientes dos detalhes abaixo do nível limiar: Para cada nível de 1 a N , um limiar é escolhido e aplicado aos coeficientes de detalhes. Um limiar global pode ser selecionado ao invés de localmente. Pode-se aplicar tal técnica aos coeficientes das aproximações, porém não é muito indicado.

Reconstrução:

- Compute a reconstrução wavelet usando os coeficientes modificados.
- Por fim, deve-se verificar a qualidade da imagem reconstruída.

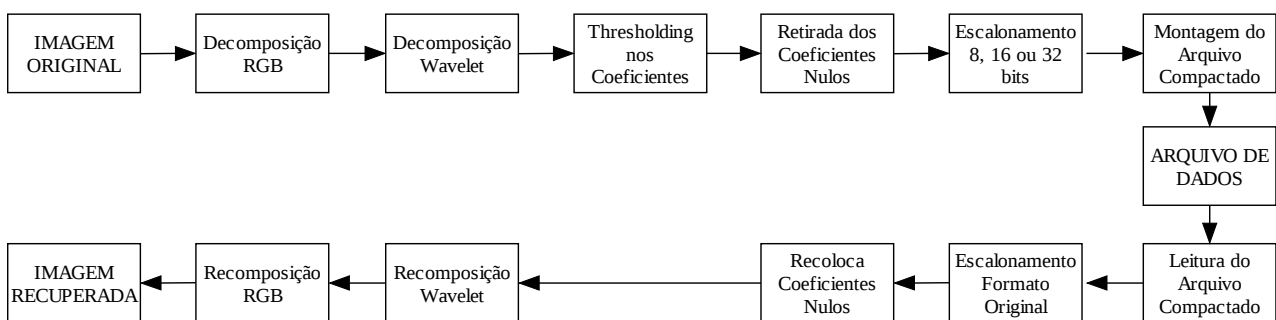


Figura 4: Fluxograma do Algoritmo de Compressão e Descompressão.

A Figura 4. mostra o esquema proposto para se realizar a compressão e descompressão de imagens RGB. Cada etapa do processo é aplicada a uma camada de cor da imagem separadamente. Estas etapas estão mais bem detalhadas nos próximos tópicos.

4.1 - Algoritmo de Compressão

1. *Decomposição RGB*: A imagem é decomposta em suas camadas de cores vermelho, verde e azul.

2. *Decomposição Wavelet*: Depois de escolhida uma família de wavelets e um nível de decomposição N , é computada a decomposição em wavelets da imagem no nível N .

3. *Thresholding nos coeficientes*: Nesta etapa os coeficientes abaixo do nível limiar são anulados. Os modos Hard ou Soft podem ser escolhidos. Hard thresholding pode ser descrito como o processo usual de zerar os elementos abaixo do limiar. Soft thresholding é uma extensão do anterior, primeiro zerando os elementos abaixo do limiar e então reduzindo os coeficientes não nulos ao redor dos nulos. A segunda opção não cria descontinuidades como a primeira. O processo de Thresholding também pode ser aplicado aos coeficientes das aproximações, porém não é muito indicado.

4. *Retirada dos coeficientes nulos*: Algoritmo que retira os coeficientes nulos do vetor de coeficientes original, retornando apenas as informações não nulas e suas respectivas posições.

5. *Escalonamento 8, 16 ou 32 bits*: Aqui os coeficientes são normalizados entre 0 e 1 e depois quantizados na resolução escolhida.

6. *Montagem do arquivo compactado*: Salva os dados necessários para a reconstrução da imagem em um arquivo.

4.2 - Algoritmo de Descompressão

1. *Leitura do Arquivo Compactado*: Lê os dados necessários para o início da reconstrução da imagem comprimida.
2. *Escalonamento Formato Original*: Os dados são escalonados para o domínio e formato originais.
2. *Recoloca Coeficientes Nulos*: Processo que reconstitui o vetor de coeficientes através da inserção de zeros nas posições nulas.
3. *Recomposição Wavelet*: Baseado nas configurações escolhidas para decomposição, cada camada de cor da imagem é recomposta.
4. *Recomposição RGB*: A imagem é restaurada através das camadas de cores vermelho, verde e azul.

5. TESTES EM IMAGENS BMP

Os índices de compressão serão verificados com a diferença percentual entre o tamanho do arquivo bmp original e o arquivo gerado após o processo de compressão. Os níveis de distorção da imagem serão feitos através da diferença percentual RMS de cada camada de cor. Este índice não é o mais indicado para este tipo de análise de reconstrução, já que algumas regiões da figura podem possuir maior importância que outras, porém é um índice muito utilizado na literatura (Abo-Zahhad *et al*, 2002). Logicamente, a percepção visual fará parte da análise.

Estes índices dependerão da wavelet escolhida, do nível de decomposição e das opções do nível limiar (*thresholding*). É claro que wavelets que possuírem maiores índices de correlação com a imagem possuirão melhores taxas de compressão, já que suas características principais poderão ser extraídas em poucos coeficientes. Por exemplo, se a imagem possuir detalhes muito arredondados é melhor escolher uma wavelet de ordem maior, para que nas dilatações e translações estes detalhes sejam mais bem correlacionados.

Para realizar tais testes, um programa foi implementado utilizando o *software* MatLab®.

5.1. Exemplo 1

No primeiro exemplo, mostrado na Figura 5, os resultados de compressão aplicados a uma imagem simplesmente criada para tal propósito podem ser vistos na Tabela 2. As configurações escolhidas para a compressão estão mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Configurações utilizadas no Exemplo 1.

Wavelet	Haar ou db1
Níveis de decomposição	2
Thresholding	Hard, 30, Manter aproximações
Formato dos dados	8 bits

Tabela 2: Resultados obtidos no Exemplo 2.

Arquivo Original	263088 bytes
Arquivo Comprimido	100903 bytes
Taxa de Compressão	61,65%
RMS Vermelho	99.9913%
RMS Verde	99.9923%
RMS Azul	99.9923%

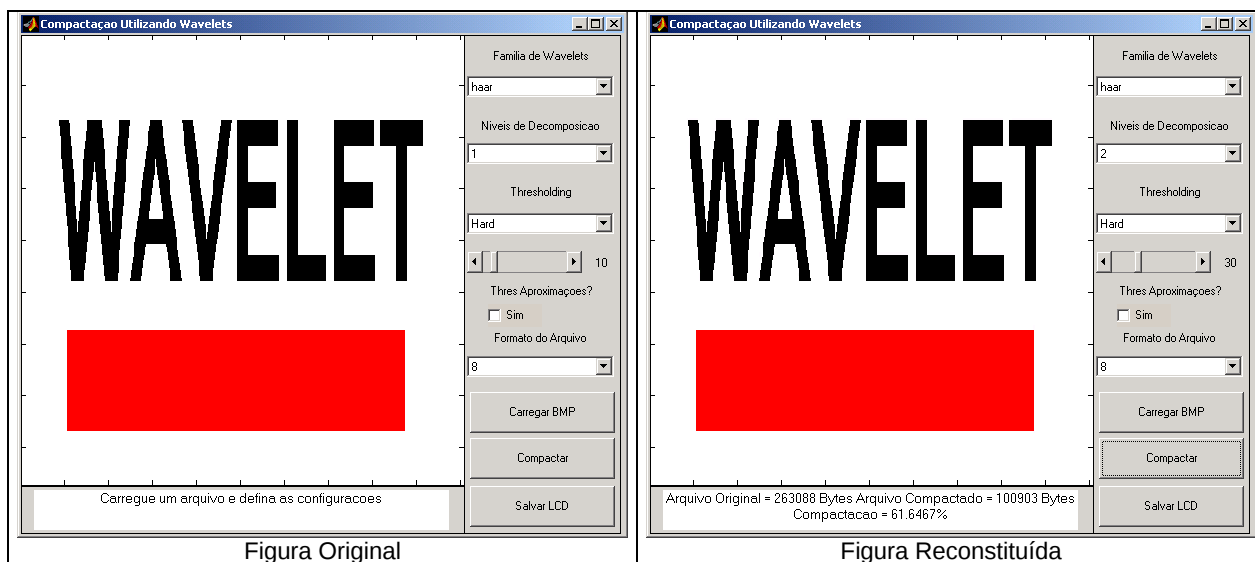


Figura 5: Imagem Original e Reconstituída do Exemplo 1.

Bons resultados foram obtidos com as configurações escolhidas. A imagem reconstituída se aproximou bastante da imagem original e se obteve um alto nível de compressão. A família de wavelets de Haar apresentou um grande nível de extração devido ao fato da imagem possuir muitas descontinuidades (detalhes quadrados) como a wavelet. Neste exemplo, mais de 99% da energia do sinal foi mantida para as três camadas de cores.

5.1. Exemplo 2

Este exemplo, mostrado na Figura 6, os resultados de compressão podem ser vistos na Tabela 4. As configurações escolhidas para a compressão estão mostradas na Tabela 3.

Tabela 3: Configurações utilizadas no Exemplo 1.

Wavelet	Sym8
Níveis de decomposição	2
Thresholding	Hard, 50, Manter aproximações
Formato dos dados	8 bits

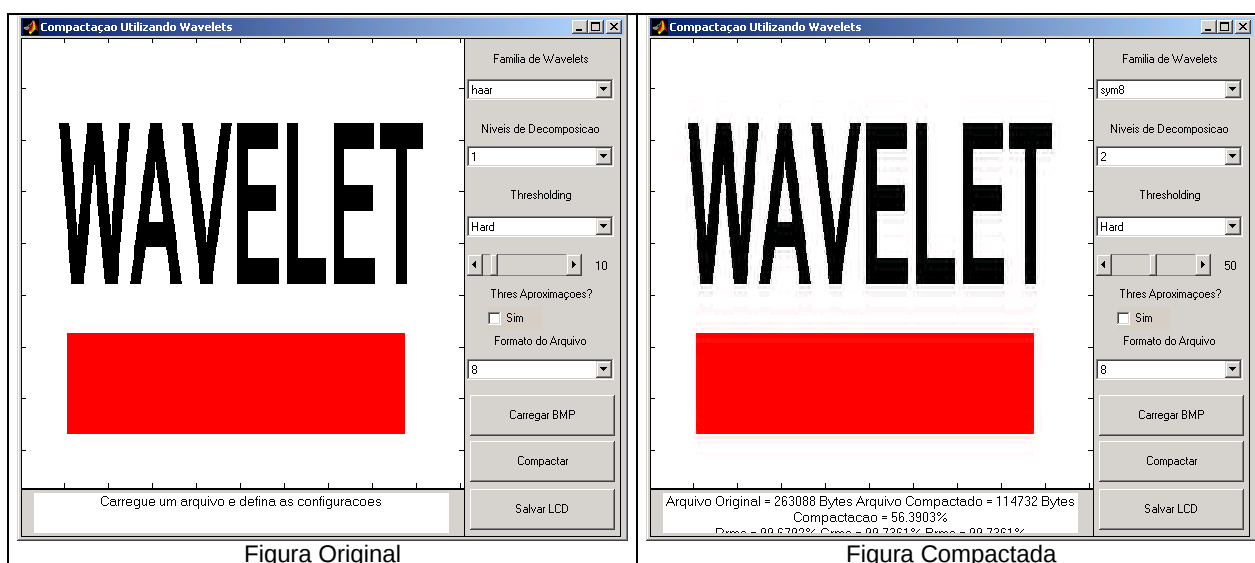


Figura 6: Imagem Original e Reconstituída do Exemplo 2.

Tabela 4: Resultados obtidos no Exemplo 2.

Arquivo Original	263088 bytes
Arquivo Comprimido	114732 bytes
Taxa de Compressão	56,39%
RMS Vermelho	99.6792%
RMS Verde	99.7361%
RMS Azul	99.7361%

Neste caso, apesar da wavelet escolhida possuir mais coeficientes e da grande extração RMS (acima de 99%) apresentada, pode-se ver que a qualidade da imagem reconstituída foi inferior à conseguida no Exemplo 1. Bem como, a taxa de compressão se mostrou menor. Isto vem do fato da imagem ser muito “simples” para a complexidade da wavelet. Seria como tentar extrair quadrados de uma imagem através de círculos.

Desta forma, deve-se sempre tomar cuidado na escolha das configurações para realizar a compressão da imagem. Uma análise prévia deve ser realizada para a melhor escolha da família de wavelets a ser aplicada no método de compressão. A melhor opção dependerá da imagem e da experiência. Porém apesar da aplicação das configurações não ótimas, pode-se notar que o método conseguiu compressões com índices superiores a 50% com boa qualidade da imagem final.

6. CONCLUSÕES

Um simples método de compressão com perdas para imagens utilizando a Transformada de Wavelet foi apresentado. Através deste trabalho proposto, pode-se verificar que a Transformada Discreta de Wavelet é uma ferramenta muito útil na compressão de imagens, devido ao fato dela conseguir altos índices de compressão com grande qualidade da aproximação reconstituída.

Com os exemplos propostos, ficou claro que a escolha da wavelet mãe, bem como dos demais parâmetros, tornam-se fatores importantes para se obter resultados satisfatórios. Somente a experiência e o empirismo conseguirão dizer qual a melhor configuração dos parâmetros para determinada imagem.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro proporcionado a este trabalho pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior).

8. REFERÊNCIAS

- Abo-Zahhad, M., Rajoub, B. A., 2002, “An effective coding technique for the compression of one dimensional signals using wavelet transforms”, *Medical Engineering and Physics*, 24, 185-199.
- Chang, S. G., B. Yu, M. Vetterli, 1997, “Image denoising via lossy compression and wavelet thresholding”, *Proceedings of the 1997 International Conference on Image Processing (ICIP '97) 3-Volume Set-Volume 1*, p.604, October 26-29.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2000, “Processamento de Imagens Digitais”, Editora Edgard Blücher LTDA.
- Gregoris, D. J., Yu, S., 1994, “Introduction to the Theory and Applications of Wavelet Transforms”, *Spar Journal of Engineering Technology* Vol.3, July.
- Lin, E., Ling Y., 2003, “Image compression and denoising via nonseparable wavelet approximation”, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 155, 131-152.
- Wavelet Toolbox User's Guide: Advanced Concepts, MatLab.
- Teolis, A., 1998, “Computational Signal Processing with Wavelets”, Birkhäuser.

RGB IMAGE COMPRESSION USING DISCRETE WAVELET TRANSFORM

Leandro César Delfino

Universidade Federal de Uberlândia - FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica.
Av. João Naves de Ávila, 2160 - Bloco M, CEP 38400-902 – Uberlândia/MG.
leandro@mecanica.ufu.br

Francisco Paulo Lépoire Neto

fplepoire@mecanica.ufu.br

Abstract: *Digital image processing area has been widely studied in the last three decades. Image compressions and filtering are two important fields in this area. This work presents a method for image compression on Bitmap Windows BMP with truecolor definition in the RGB standard using Discrete Wavelet Transform. Lossy and Lossless compression methods are argued, gifts in the literature, in their areas of applications. A little introduction in the Wavelet Transform is presented and her application on RGB images is argued. A method is considered for the accomplishment of the necessary stages for the image compression in a great minor archive. Applications with different types of images are argued for analysis of the efficiency of the considered method.*

Keywords: *Image Compression, Wavelet Transform, RGB, Bitmap.*