

# COMPRESSÃO EM ARQUIVOS DIGITAIS DE IMAGENS: ONDE ESTAMOS E PARA ONDE VAMOS ?

Brandalize, Amauri Alfredo  
Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A.  
Rua Dr. Reynaldo Machado, 1.151 - Bairro Rebouças  
80.215-010 - Curitiba - Paraná - Brasil

Telefone : 0055 41 332-4299 - Fax : 0055 41 332-3273  
e-mail : [info@esteio.com.br](mailto:info@esteio.com.br) ; [amauri@esteio.com.br](mailto:amauri@esteio.com.br) ; [blize@qwnet.com.br](mailto:blize@qwnet.com.br)

## RESUMO

Este trabalho apresenta informações sobre os formatos de arquivo de imagem comprimidos mais utilizados, seus limites apropriados para compressão em Fotogrametria Digital ou SIG e a evolução dos métodos de compressão com novos algoritmos surgindo comercialmente.

O uso de Estações Fotogramétricas Digitais na captação fotogramétrica tem sido incrementado nos últimos tempos. Estas estações utilizam como entrada de dados imagens digitais escaneadas com alta resolução (tamanho de pixel variando de 7 a 25 micra). Assim, estes arquivos digitais de imagem requerem discos rígidos ou fitas com grande capacidade para seu armazenamento temporário ou definitivo.

Uma maneira de resolver este problema de espaço é a utilização de um método de compressão de dados. As melhores alternativas são os métodos onde não existe perda na qualidade da imagem, mas nestes métodos o fator de compressão geralmente é baixo (2 a 4 vezes). Em contrapartida, os métodos que degradam a imagem permitem altos níveis de compressão.

Apesar desta degradação ser praticamente invisível a olho nu, ela pode causar imprecisões em Modelos Digitais de Terreno Automáticos (MDTA) construídos a partir destas imagens. A precisão dos MDTA é uma preocupação constante para Cartógrafos e usuários e desenvolvedores de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Levando em conta alguns condições limites, o uso de níveis de compressão maiores com degradação controlada produzem resultados estáveis quando as imagens digitais são reconstruídas nas estações ou em qualquer outro sistema.

## ABSTRACT

This paper presents details about compressed image files common used, compression ratio limits for Digital Photogrammetry and GIS works and the new methods and algorithms that are commercially appearing.

The use of Digital Photogrammetric Workstations (DPW) has recently increased a lot. These systems operate with high resolution scanned images as entry data (7 to 25 micra pixel size) Thus, these digital image files require big hard disks and tapes to save image data temporally or definitively..

One way to solve this matter is the use of an image compression method. The best choices are method without loss on image's quality but these methods have a low compression ratio (2-4 times). Against it, the methods with loss enable a high compression ratio.

Despite of this loss of quality be invisible to human eye, it can cause inaccuracies in Automatic Digital Terrain Models (ADTM) constructed from these images. The accuracy of ADTM is a concern for Cartographers and GIS users and developers.

Taking some precautions and conditional limitations into account, the use of higher compression ratios with controlled degradation produces stable results when the images are reconstructed by the photogrammetric or any other systems.

## Introdução

Com a popularização das imagens digitais, os usuários de imagens descobriram que não somente uma imagem vale mil palavras, mas que também ela normalmente requer muitos milhões de bytes para ser armazenada em um sistema de armazenamento qualquer ou transmitida por meio de uma rede de computadores.

Em 1994, uma reportagem editada na revista americana Business Week (Feb, 14, 1994) dizia :

*"The biggest obstacle to the vaunted multimedia revolution is digital obesity. That's the bloat that occurs when pictures, sound and video are converted from their natural analog form into computer language for manipulation or transmission. ... Compression, a rapidly developing branch of mathematics, is putting digital on a diet. ... Its*

*popularity is rooted in economics : compression lowers the cost of storage and transmission by packing data into a smaller space. Many new electronic products and services simply couldn't exist without it."*

O número excessivo de bytes necessário para representar uma imagem com boa qualidade de reprodução traz problemas significativos no arquivamento, administração, e disseminação de imagens digitais. Problemas de acesso, transmissão e tempo de recuperação estão aparentes com o uso intenso de imagens na Internet ou mesmo nas redes corporativas.

As tecnologias atuais de compressão de imagem fornecem soluções paliativas aos problemas associados ao gerenciamento de grandes bancos de dados de imagem. Os sistemas de compressão mais populares utilizam algoritmos que geram formatos de arquivos como Tagged Image Format (TIF) e Joint Photographic Experts Group (JPEG) que estão difundidos entre os usuários de imagem. Mesmo que estes métodos de compressão sirvam como ferramentas efetivas, ainda permitem uma substancial melhoria em sua estrutura.

Atualmente, a comunidade científica que pesquisa novas técnicas de compressão de dados argumenta que os sistemas de compressão baseados em transformações DCT estão ultrapassadas em termos de eficiência quando comparadas com as novas técnicas Wavelet ou Fractal.

## Teoria da Compressão de Imagens

A compressão de dados começou a ser estudada nos anos 40 por Claude Shannon do Bell Labs. Os arquivos geralmente não são armazenados levando-se em conta uma possível compressão da informação. Shannon investigou que o sistema binário (8 bits) que dominava os sistemas de armazenamento nos computadores poderia ser melhorado de forma significativa por meio de algoritmos que reduziam dados pela identificação de padrões e sua codificação em uma forma reduzida.

Compressão (no âmbito da Imagem Digital) é a ciência e/ou arte de remover informação redundante de uma imagem. A compressão pode ser considerada sob dois aspectos : compressão com perdas (lossy) ou sem perdas (lossless)

A compressão é dita sem perdas (lossless) quando a informação removida pode ser restabelecida exatamente como era antes do processo de compressão. Ela é dita com perdas (lossy) quando a informação removida não pode ser restabelecida durante a descompressão.

A compressão com perdas (lossy) pode modificar a qualidade visual da imagem. A Taxa de Compressão, o grau de impacto da compressão em uma imagem, pode variar muito dependendo da quantidade de informação removida ou alterada. Para compressão sem perda, a Taxa de Compressão geralmente é muito baixa, entre 2:1 e 3:1. A Taxa de Compressão para compressão com perdas varia muito, mas quanto mais alta for, maior a degradação da imagem.

## Como a Compressão é realizada?

As técnicas de compressão nada mais são do que um conjunto de funções matemáticas que manipulam uma imagem. Em muitos casos as rotinas são bem semelhantes e sempre com um objetivo único : reduzir a quantidade de dados existente para representar a imagem.

Estas imagens digitais normalmente são comprimidas através da eliminação da informação redundante. Há dois tipos de redundância em imagens sem movimento (still images) que pode ser explorados através de sistemas de compressão de imagem :

- ✦ **Redundância Espacial** - Em quase todas imagens naturais, os valores de pixels vizinhos são fortemente correlacionados.
- ✦ **Redundância Espectral** - Em imagens compostas de mais de uma faixa espectral, os valores espectrais para a mesma posição de pixel são com frequência correlacionados.

A remoção de redundâncias espaciais e espectrais é quase sempre realizada por um algoritmo que representa alguma transformação linear reversível aplicada aos dados de imagem. Um exemplo de uma técnica que reduz redundância espacial é a codificação Run-Lenght Encoding (RLE). A compressão baseada na Transformação de Coseno Discreto (DCT) reduz a redundância espectral.

## Correlação

No domínio digital, uma imagem consiste em uma coleção de pixels com três componentes básicos de cor: vermelho, verde e azul (RGB). Esta representação é conveniente para muitas mídias (como a TV), mas para compressão, a representação de RGB tem muitos condicionantes.

Considerando qualquer pixel de uma imagem RGB, os pixels adjacentes são altamente correlacionados a ele. Esta correlação alta entre pixels adjacente não é desejada quando tratamos de compressão. O objetivo primordial da compressão é descorrelacionar os pixels de uma imagem. Quando os pixels não têm grande relação, podemos eliminar pixels.

O próximo passo no processo é a matemática que transforma a imagem em um tipo diferente de representação (chamado Domínio) onde certas propriedades estão presentes ou ausentes. O objetivo da transformação é obter um conjunto de valores que

representem os pixels e suas propriedades.

## CODECs

O termo CODEC é um acrônimo de codificador-decodificador e representa um algoritmo cujo objetivo é a compressão ou descompressão de um arquivo de imagem.

As três técnicas mais conhecidas para realizar compressão de imagens com perdas (lossy) são :

- ⊠ Transformação de Coseno Discreto (DCT)
- ⊠ Fractal
- ⊠ Wavelets

Estas três técnicas têm muitas características comuns, executando rotinas computacionais semelhantes. Cada uma delas transforma a imagem original em uma nova representação (Domínio Resultante), manipulando os valores neste domínio com a eliminação de valores que contribuem pouco para uma boa representação da imagem.

Como cada técnica de compressão descreve seu próprio Domínio Resultante, a eliminação de valores e o processo suavizador deixarão a imagem resultante alterada e produzirão uma característica de deformidade. Quanto maior a Taxa de Compressão, mais esta deformidade se tornará pronunciada até que as características originais da imagem estejam irreversivelmente perdidas.

Como cada técnica descarta dados na imagem de um modo diferente, cada delas tem suas vantagens e desvantagens e produz um resultado visual diferente quando a Taxa de Compressão é alta bastante para observarmos as deformidades.

## Terminologia

### Taxa de Compressão

A taxa de compressão é definida como a relação entre o número de bytes da imagem original pelo número de bytes da imagem após a compressão.

### Entropia

Os estudiosos da teoria da compressão de dados usam o termo entropia para medir quanta informação pode ser codificada em um conjunto de dados. A palavra entropia foi emprestada da Termodinâmica, e tem um significado semelhante. Quanto maior a entropia de um conjunto de dados, mais informação ele contém.

Então, a medida da informação contida em uma imagem é chamada de entropia. A entropia expressa o número mínimo de bits necessários para representar uma imagem sem perda de informação. A entropia (H) é também a medida da correlação entre os tons de cinza de pixels vizinhos.

$$H = - \sum p(g_1) \log_2 p(g_1)$$

onde  $p(g)$  é o percentual de ocorrência de cada tom de cinza que pode ser obtido do histograma.

### Redundância

Em quase todas as imagens que representam o mundo real, os tons de cinza de pixels adjacentes são altamente correlacionados. Isto significa que uma grande quantidade de redundância existe nestas imagens.

A redundância (R) em uma imagem é dado por :

$$R = \log_2 M - H \qquad M = 2^n$$

onde  $n$  é o número de bits para representação de um pixel.

## Sistemas de Tratamento de Imagem na Cartografia e em SIG

A grande maioria dos sistemas computacionais desenvolvidos para a área de Cartografia e SIG operam com os formatos de imagem TIF e JPEG. Para compreendermos as diferenças básicas entre estes algoritmos de compressão, vamos tecer um breve comentário

sobre os mesmos.

## Algoritmo Huffman

Um dos primeiros métodos de compressão de dados foi o algoritmo Huffman. Apesar do estudo de compressão de Huffman ter sido publicado em 1952, ainda é um dos mais citados nos documentos que tratam da teoria da informação.

O algoritmo de Huffman é uma técnica de compressão de dados que reduz aproximadamente 25% o tamanho de arquivos típicos de imagem, e em alguns casos específicos (pouca variação de tons ou cores) 50% a 60%.

A base do algoritmo é permitir que o tamanho da codificação varie de byte a byte e assegurar que os bytes mais frequentes no arquivo tenham os menores códigos. Isto significa que quando todos os bytes aparecem com a mesma frequência, não há nenhuma redução. Felizmente, a maioria dos arquivos tem redundância de bytes o que permite que o algoritmo seja aplicado com certa eficiência.

Para exemplificar a técnica de compressão Huffman, vamos supor a existência de um arquivo que só contém os bytes de valores decimais 65, 66, 67, 68, 69, 70 e 71 que são respectivamente os caracteres A, B, C, D, E, F e G. Neste arquivo há 10 A's, 15 B's, 12 C's, 3 D's, 4 E's, 13 F's e 1 G.

Em nosso exemplo, na representação binária, cada byte pode ser particularizado por 3 bits quando usamos um esquema de codificação simples, ou seja, simplesmente eliminando a redundância da informação. A tabela seguinte mostra esta possível codificação :

Caracter	Binário (8 bits)	Código simples	Frequência	Total bits
A	0100 0001	001	10	30
B	0100 0010	010	15	45
C	0100 0011	011	12	36
D	0100 0100	100	3	9
E	0100 0101	101	4	12
F	0100 0110	110	13	39
G	0100 0111	111	1	3
<b>TOTAL</b>				<b>174</b>

Tabela 1 - Codificação Huffman

Esta codificação simples pode ser representada como uma Árvore Binária (Binary Tree) que só tem dados nas suas "folhas". A representação de cada byte é feita iniciando pela "raiz" e registrando o caminho onde se usa 0 para indicar uma ramificação esquerda e um 1 para indicar uma ramificação direita. Por exemplo, o caracter C é representado ramificação esquerda, depois direita, e finalmente direita, ou seja, 011.

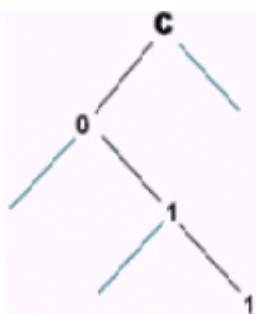


Fig 1 - Árvore Binária

Existe a possibilidade de otimização de codificação em uma Árvore Binária. O problema básico se resume em encontrar a melhor otimização possível desta Árvore Binária, ou seja, a árvore que contenha o maior número de caracteres representados em suas "folhas" evitando ao máximo novas "raízes". O algoritmo para fazer isto foi concebido por Huffman em 1952.

Uma Árvore otimizada para o exemplo está representada na tabela abaixo :

Caracter	Binário (8 bits)	Código otimizado	Frequência	Total bits
A	0100 0001	000	10	30
B	0100 0010	01	15	30
C	0100 0011	10	12	24
D	0100 0100	00000	3	15
E	0100 0101	0001	4	16
F	0100 0110	11	13	26
G	0100 0111	00001	1	5
<b>TOTAL</b>				<b>146</b>

*Tabela 2 - Árvore de Codificação Huffman Otimizada*

Há dois aspectos que devem ser considerados. Primeiro, a informação sobre a codificação deve estar no começo do arquivo comprimido, caso contrário a decodificação é impossível. Para arquivos pequenos, o tamanho das informações de codificação pode ser maior que qualquer possível redução obtida na compressão. Para arquivos grandes, o tamanho das informações de codificação não é significativo.

O segundo aspecto é que a codificação Huffman é um algoritmo de dupla-passagem. A primeira passagem compila os dados de frequência e a segunda passagem faz a codificação. Esta não é característica desejável em um algoritmo que lida com arquivos grandes.

### Algoritmo JPEG (JFIF)

JPEG é um acrônimo para Joint Photographic Experts Group & JFIF é um acrônimo para JPEG File Interchange Format. Este grupo é um grupo de peritos nomeado por corporações definidoras de normas e grandes empresas com interesse na compressão de dados para trabalhar na produção de padrões para codificação de imagem de tons contínuos. O termo Joint refere-se ao seu status de comitê trabalhando nos padrões CCITT (The European Telecommunications Standards Organization) e ISO (International Standards Organization.). O nome oficial deste comitê é ISO/IEC JTC1 SC29 Working Group 1 e é responsável pelo padrão JPEG.

A padronização JPEG mais conhecida é a IS 10918-1 (ITU-T T.81), que é a primeira de um conjunto de padrões para imagens estáticas. Uma versão básica desta padronização, associado ao formato de arquivo de domínio público da C-Cube Microsystems (JFIF), é o que a maioria das pessoas conhecem como JPEG.

Os arquivos que regularmente são associados com a compressão JPEG (os arquivos com a extensão .JPG) são arquivos JFIF. Se você carrega um arquivo JPEG em um editor de texto como o Windows NotePad notar-se-á o string JFIF na primeira linha a partir do 7º caractere. O formato TIFF (Tagged Image Format File) também usa compressão com o algoritmo JPEG.

JPEG é um padrão que se aplica melhor na compressão de imagens do que em desenhos de traço (imagens de vetor). O algoritmo JPEG trabalha tanto com imagens coloridas como com tons de cinza. Nas imagens coloridas, comprime as componentes RGB (Red-Green-Blue) de uma imagem como três imagens de tons de cinza separadas.

Atualmente, cerca de 100 especialistas estão trabalhando no desenvolvimento do padrão JPG-2000. Outro aprimoramento do JPEG chamado JPEG-LS (lossless - sem perda) já se encontra no estágio de publicação.

### Vantagens e desvantagens da Compressão JPEG

Existem três aspectos principais da compressão JPEG que são consideradas como vantagens sobre outros sistemas de compressão. São elas :

- ✦ Uso em imagens com alta resolução;
- ✦ Boa relação de compressão de imagem;
- ✦ Armazenamento de informação com 24 bits/pixel (16 M cores – True Color).

Existem algumas desvantagens distintas que estão associadas com a compressão JPEG. A compressão com perda ( lossy) deve ser considerada como uma das desvantagens de usar o algoritmo JPEG, pois se um arquivo JPEG é repetidamente comprimido e descomprimido, perderá parte da qualidade a cada uma destas operações. Assim, a qualidade global da imagem será reduzida.

O algoritmo JPEG tem limitações quando lida com mudanças abruptas de tonalidade de pixels adjacentes. Mudanças abruptas na tonalidade de pixels adjacentes tem a tendência de apresentarem-se "borradas" (blur) após a aplicação do algoritmo JPEG.

Outro fator marcante no algoritmo JPEG é o efeito de bloco (artifacts) resultante da divisão da imagem em sub-imagens de 8 x 8 pixels para aplicação das funções de transformação. Este efeito é bem visualizado em altas taxas de compressão.

Outra desvantagem da compressão JPEG é o fato que o algoritmo não opera satisfatoriamente em regiões da imagem que possuem pixels da mesma tonalidade ou cor (redundância).

### Compressão com Perdas (Lossy)

A compressão com o algoritmo JPEG é fundamentalmente diferente de outros tipos tradicionais de compressão de arquivo como, por exemplo, BMP RLE (Run Length Encoded) e o algoritmo Huffman. Estes são métodos de compressão sem perdas (lossless) e baseiam-se na eliminação de redundância de informação para obter a redução em tamanho dos arquivos.

A compressão JPEG é direcionada para uso em imagens com tons contínuos como, por exemplo, fotografias escanerizadas. Tais imagens não possuem muita redundância de informação e portanto, algoritmos baseados na eliminação de redundância não operam muito bem nessas imagens [PHA97].

A compressão JPEG, na verdade, descarta boa parte da informação original. Assim, a reconstrução da imagem original e exata de um arquivo comprimido JPEG não é possível. Isto é chamado de compressão com perdas (lossy).

E qual seria a taxa de compressão ideal (relação perda de qualidade X tamanho de arquivo) ? Para imagens não técnicas e onde a qualidade fotográfica é fator preponderante observa-se que taxas de 20:1 ou 25:1 preservam estas características. Quando a qualidade não é fator crítico aceitam-se taxas de compressão de 200:1.

### Como opera a compressão JPEG

A figura descreve simplificada as etapas do processo de compressão JPEG :

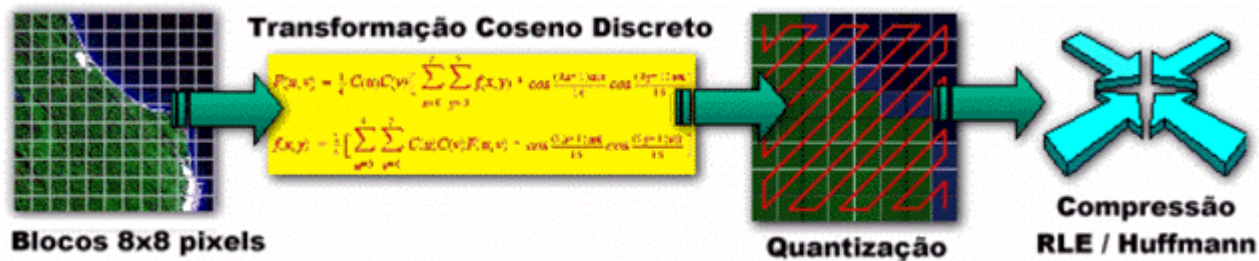


Fig 2 - Representação Esquemática e Simplificada das Principais Etapas da Compressão JPEG

A descrição mais detalhada do processos se encontra a seguir :

#### 1. Converte a imagem colorida (sistema RGB) para o sistema YUV;

Em um sistema computacional a exibição de cores é feita fixando a intensidade das três cores básicas VERMELHO, VERDE e AZUL (Red, Green, Blue – RGB). As três componentes podem ser representadas em um sistema cartesiano. Qualquer cor é então um ponto definido neste espaço. Uma imagem em tons de cinza é formada usando somente pontos onde a intensidade de vermelho, verde e azul é a mesma.

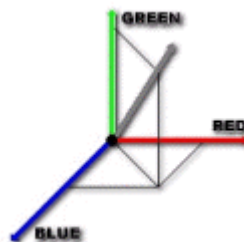
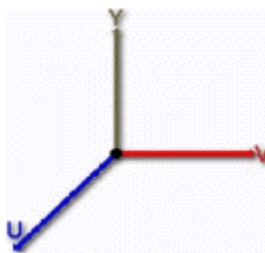


Fig 3 - Componentes de Cor R (Red), G (Green), B (Blue)

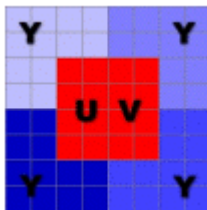
Um novo sistema de referência pode ser criado onde um dos eixos representa os valores iguais de RGB. Este eixo é chamado luminância. Os outros dois eixos deste sistema são formados pela subtração da componente vermelha (R) e da componente azul (B) do valor da luminância. Os novos eixos são chamados de cromaticidade vermelha e cromaticidade azul. O eixo de luminância é

nomeado Y, o eixo de cromaticidade azul é nomeado U ou Cb e o eixo de cromaticidade vermelha é nomeado V ou Cr.



*Fig 4 - Componentes de Cor Luminância (Y) e Cromaticidade (U e V)*

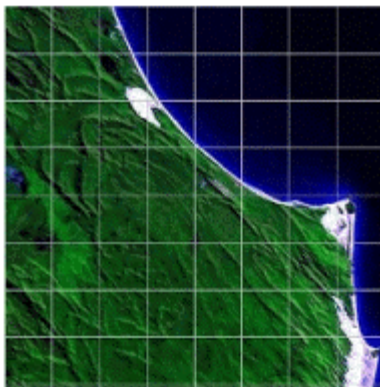
Existe uma razão para usar o sistema YUV. O olho humano é mais sensível à luminância (intensidade) do que à cromaticidade (cor). Assim, o algoritmo JPEG despreza 75% da informação da cromaticidade antes de iniciar a compressão. Isto reduz a informação inicial em cerca de 50%.



*Fig 5 - Esquema de Simplificação da Cromaticidade em um Bloco 8 x 8 pixels*

## 2. O algoritmo JPEG divide a imagem já transformada para o sistema YUV em blocos de 8 x 8 pixels (64 valores de luminância).

No algoritmo JPEG, a função de transformação é aplicada sobre blocos de imagem de 8 x 8 pixels. Consequentemente, se a imagem é formada por uma matriz de 256 x 256 pixels, o algoritmo a divide em 32 x 32 blocos de 8 por 8 pixels para tratamento particular de cada um.



*Fig 6 - Bloco de imagem 8 x 8 pixels*

## 3. A função de transformação DCT – Discrete Cosine Transform - é aplicada em cada bloco;

Os 64 valores de pixel obtidos em cada bloco são transformados por um número bastante grande de operações numéricas em um novo conjunto de 64 valores. Estes 64 valores novos são conhecidos como os coeficientes da função DCT– Discrete Cosine Transform. Os coeficientes DCT são os multiplicadores da imagem básica que formam a imagem original.

A função DCT ajuda a separar a imagem em partes (ou sub-bandas espectrais) de diferentes importâncias (relativamente à qualidade visual). Ela transforma a imagem do domínio espacial para o domínio de frequência.

Para uma imagem de entrada A, os coeficientes da imagem de saída B seriam calculados por :

$$B(k_1, k_2) = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} 4 \cdot A(i, j) \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot k_1}{2 \cdot N_1} \cdot (2 \cdot i + 1) \right] \cdot \cos \left[ \frac{\pi \cdot k_2}{2 \cdot N_2} \cdot (2 \cdot j + 1) \right]$$

Fig 7 - Função DCT (Discrete Cosine Transform)

Na fórmula a imagem tem  $N_2$  pixels de largura por  $N_1$  pixels de altura;  $A(i, j)$  é a luminância do pixel na linha  $i$  e coluna  $j$ ;  $B(k_1, k_2)$  são os coeficientes da função na linha  $k_1$  e coluna  $k_2$  que formam uma matriz chamada Quantization (o termo Quantization não possui tradução literal e significa: subdividir energia em unidades menores).

**4. A matriz Quantization (matriz 8x8 de coeficientes inteiros) formada pelos coeficientes da função DCT tem seus valores alterados baseados na introdução de um coeficiente de perda (lossy) da compressão (fator Q).**

O propósito do fator Q aplicado à matriz Quantization é obter uma compressão adicional representando os coeficientes de DCT com a precisão necessária e suficiente para alcançar a qualidade de imagem desejada. Em outras palavras, o objetivo do processo é descartar a informação que não é visualmente significativa.

O fator Q é a fonte principal de perda de qualidade em algoritmos baseados em DCT. O algoritmo JPEG ajusta os termos da matriz de acordo com a frequência: um ajuste fino é feito nas frequências baixas e um ajuste mais grosseiro é feito nas frequências altas, ou seja, os coeficientes próximos de zero são considerados zero.

Cada componente de frequência é dividido pela entrada correspondente na matriz Quantization e assim obtêm-se a compressão de imagem. O fator Q simplesmente é um número usado para ampliar ou reduzir a ação da matriz Quantization multiplicando cada componente da matriz Quantization pelo mesmo valor (fator Q). Usando adequadamente o fator Q, adquiriremos menos compressão de imagem, mas qualidade de imagem melhor.

Infelizmente, o fator Q varia de fabricante ao fabricante. Em alguns sistemas, o fator pode variar de 1 a 100 com 1 sendo uma imagem perfeita e 100 resultando em qualidade péssima de imagem. Em outros, o oposto é verdade: 100 é a imagem perfeita e 1 é uma péssima imagem terrível. Assim, distinguem-se dois métodos:

#### Método JPEG direto

fator de escala para matriz Quantization = fator Q/50

#### Método JPEG inverso

fator de escala para matriz Quantization = 5000/fator Q (se fator Q < 50)

ou

fator de escala para matriz Quantization = (200 - (fator Q x 2))/100

No método direto, o efeito é linear. No método inverso, o efeito não é linear, pois com o fator Q tendendo para 1, o multiplicador aplicado à matriz Quantization é extremamente alto.

Neste estudo, ao se falar de fator Q, o método inverso está sendo usado, onde 1 é uma imagem de má qualidade.

#### 5. Codificação Run-Length

É normal que após o ajuste mais da metade dos coeficientes da matriz de coeficientes DCT sejam zero e muitos valores de coeficientes sejam iguais. O algoritmo aplica a compressão do tipo Run-Length, ou seja, para cada coeficiente de DCT diferente de zero, o algoritmo JPEG registra o número de zeros que precederam este coeficiente e o número de bits para representar este valor. Por exemplo, a seqüência 111111000000000011111 pode ser representada por 6 1's, 10 0's e 5 1's. Assim, a codificação Run-Length fornece um conjunto de pares (contagem, valor), ou seja, (6, 1); (10, 0) e (5, 1).

O algoritmo JPEG processa os coeficientes de DCT no padrão de zigzag.

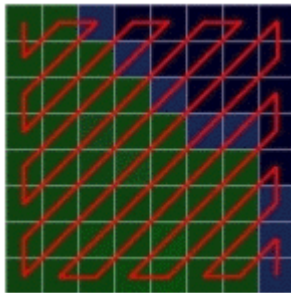


Fig 8 - Processamento dos coeficientes DCT em zig-zag

6. Codificação com algoritmo Huffman do resultado da compressão Run-Length (pares formados).

7. Gravação dos dados comprimidos num arquivo de saída (\*.JPG).

Para descompressão, JPEG recupera os coeficientes de DCT arredondados do arquivo, faz a transformação inversa e reconstitui a imagem.

## Algoritmo Fractal

### Generalidades

Fractais são objetos geométricos auto-semelhantes, ou simplesmente : várias partes de um fractal são semelhantes à imagem inteira. Portanto, é possível copiar o fractal várias vezes em si mesmo. Um exemplo característico de fractal é o Triângulo de Sierpinsky.

Pode-se ver que o triângulo básico pode ser copiado três vezes em si mesmo. Para compreender isto, basta observar que o triângulo básico é o mesmo no topo, no canto esquerdo e no canto direito da imagem original.

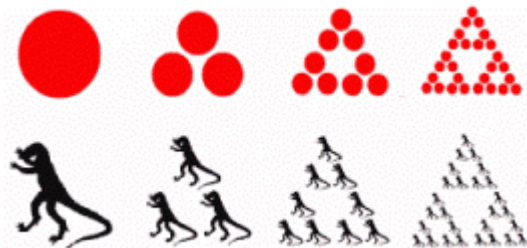


Fig 9 - Fractal Triângulo de Sierpinsky

Fractais podem ser construídos usando a propriedade acima. De acordo com o famoso teorema de Banach, um fractal pode ser construído pela iteração contínua do mesmo processo.

### Breve Histórico

O nascimento da geometria fractal é creditado ao matemático da IBM Benoit B. Mandelbrot que no ano de 1977 lançou o livro A Geometria Fractal da Natureza (Fractal Geometry of Nature). O livro baseou-se numa tese poderosa : a geometria tradicional com suas linhas retas e superfícies planas não se assemelha à geometria complexa de feições naturais (árvores, nuvens, montanhas e outros elementos naturais). Somente a Geometria Fractal possibilita esta descrição geométrica de feições naturais [FRB98].

Vários cientistas acharam uma maneira de matematicamente gerar feições artificiais com uma aparência muito realista. Assim, tiveram à disposição deles um mundo novo de entidades geométricas.

Estes matemáticos perguntavam-se se não havia algo comum entre esta diversidade. Havia, como demonstrou John Hutchinson em 1981, em uma parte da matemática conhecida Teoria das Funções Iterativas. Ao longo dos anos 80, Michael Barnsley, escreveu o livro Fractals Everywhere. O livro apresenta os conceitos matemáticos dos Sistemas de Funções Iterativas (IFS - Iterated Functions Systems). Ele demonstrou como um IFS deve ser utilizado para representar uma imagem.

Isto possibilitou a seguinte questão : se os fractais permitem gerar imagens naturais, então, por conseguinte, não serviriam para comprimir imagens?

Ironicamente, apesar da busca incessante de cientistas por algoritmos eficazes, um desconhecido estudante de graduação concebeu um esquema para representar imagens chamado Sistemas de Funções Iterativas Particionadas no ano de 1988 (PIFS - Partitioned Iterated Function Systems). Foi concedida uma patente para este algoritmo que pode converter uma imagem automaticamente em um conjunto de funções com a respectiva compressão da imagem no processo (patente americana 5.065.447 - concedida em 1991).

O algoritmo não era sofisticado, não era rápido, mas era completamente automático. A promessa de taxas de compressão de 10.000:1 que os pesquisadores acreditavam que fosse possível de ser conseguida, foi esquecida. Uma imagem colorida (24 bits) poderia ser comprimida com taxas de 8:1 a 50:1 com resultados visuais satisfatórios. Os sistemas de compressão de imagem através de algoritmos fractais contemporâneos se baseiam na tese deste estudante Arnaud Jacquin - Image Coding Based on a Fractal Theory of Iterated Contractive Image Transformations.

Isso não quer dizer que existam muitos programas comerciais para compressão de imagem usando a teoria Fractal programa disponível. Atualmente, o único compressor/descompressor comercial, é um programa de MS-Windows chamado Images Incorporated da empresa Iterated Systems, Inc. Esta mesma empresa comercializa bibliotecas de funções (.DLL para Windows) para programadores. Há um número grande de programas acadêmicos que estão disponíveis na Internet para uso como freeware, contudo, não passam de programas acadêmicos.

## Processo

A analogia com uma máquina copidora para permitir uma explicação mais simples sobre os Sistemas de Funções Iterativas (IFS) é bastante utilizada. Supondo uma máquina copidora com as seguintes modificações :

1. Existe um sistema de lentes que permite múltiplas superposições de cópias do original.
2. Cada lente reduz, inverte, rotaciona o original de maneira diferente.
3. A copidora opera com realimentação, ou seja, uma cópia pode ser usada como original.

O primeiro passo nos mostra que o IFS é um sistema. O terceiro passo mostra a interatividade. No segundo passo, é implicitamente entendido que as funções de um IFS são redutoras.

Um IFS, então, é um conjunto de transformações que mapeiam uma área de uma imagem em porções menores desta área. Quase sempre, as transformações afim são usadas.

Estas transformações, chamadas afins, realizam operações simples como translação, rotação, inversão e escala da imagem inicial e podem ser expressas como a função a seguir :

$$w(x,y)=(ax+by+e,cx+dy+f)$$

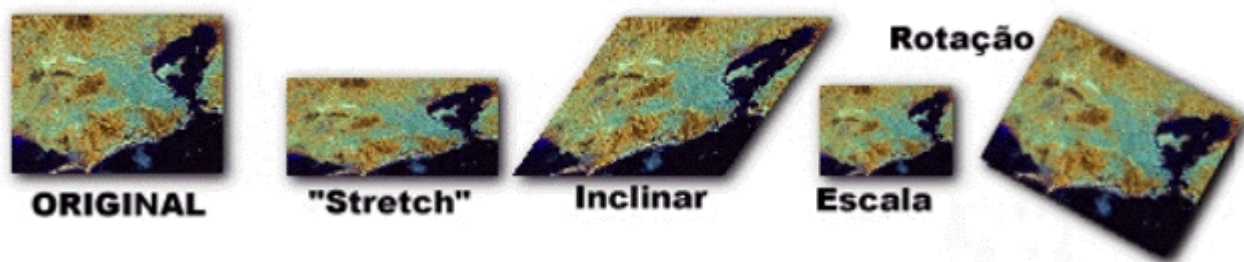


Fig 10 - Exemplos de Transformações que fazem parte de um IFS

O IFS contém três transformações (três lentes se usarmos a analogia com a máquina copidora). Cada uma reduz o original pela metade, e então translada o resultado para uma nova posição. Opcionalmente, pode realizar uma transformação de escala e alterar os valores de luminância (contraste e brilho).

A maior propriedade de um IFS é sua iteratividade (isto é, quando a máquina copidora opera continuamente). Esta propriedade faz com que uma nova imagem surja desta iteratividade. Esta imagem é chamada o ponto fixo ou attractor do IFS.

A promessa de usar fractais para compressão de imagens apoiam-se em duas suposições :

1. A maioria das imagens possuem detalhes dentro do detalhes

- Um IFS pode ser utilizado para que proporcione uma aproximação grande de uma imagem através de algumas transformações.

Uma vez que poucos valores são necessários para descrever cada transformação, uma imagem pode ser representada de maneira muito compacta. A partir de uma imagem existente, encontrar o melhor IFS para representá-la, é o que chamamos de problema inverso.

Diz-se que o problema inverso permanece não solucionado porque as imagens não obedecem geometria fractal. Para tentar resgatar esta diversidade das imagens são empregados as IFSs Particionadas (PIFS). Em um PIFS, as transformações não dividem a imagem inteira em partes, mas partes maiores em partes menores. Uma imagem pode variar qualitativamente de uma área para a próxima. Um PIFS relaciona essas áreas da imagem original que são semelhantes em aparência. Usando a notação de Jacquin, as áreas maiores são chamadas blocos de domínio e as áreas menores são chamadas blocos de variação. É necessário que cada pixel da imagem original pertença (pelo menos) a um bloco de variação. O conjunto de blocos de variação é chamado o particionamento de uma imagem.

O PIFS operará propriamente fazendo com que cada bloco de variação seja equiparado ao bloco de domínio depois de aplicada uma transformação afim adequada. Se este passo for realizado satisfatoriamente, o PIFS que codifica uma imagem será muito menor que o original, enquanto guarda uma relação de semelhança muito alta.

Então, um imagem comprimida por fractal é uma codificação que descreve :

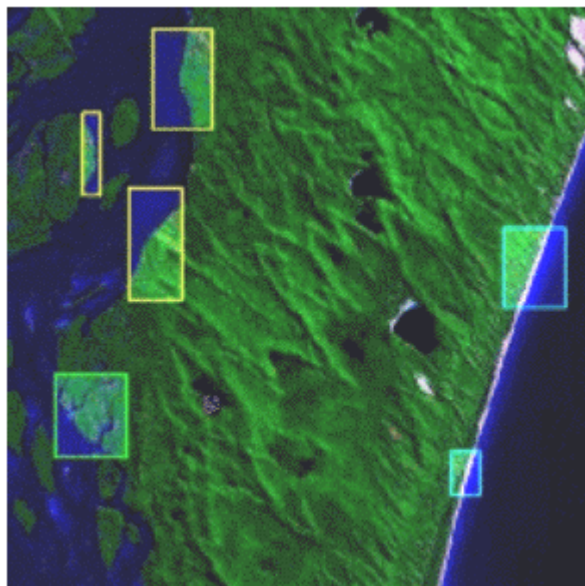
- O grid de divisão (blocos de variação).
- A transformação afim (um para cada bloco de variação).

O processo de descompressão começa com um fundo cinza. A partir daí, o conjunto de transformações é aplicado repetidamente. Depois de aproximadamente quatro iterações que o attractor estabiliza. O resultado não é (normalmente) uma réplica exata do original, mas muito próxima.

### Exemplo

Um fractal é uma imagem na qual as partes se parecem como a imagem como um todo. A compressão Fractal baseia-se no fato de que partes da imagem se parecem com outras partes da mesma imagem. A codificação são os parâmetros de transformação. Na descompressão da imagem, os parâmetros e suas devidas transformações são utilizadas adequadamente.

A experiência tem demonstrado que as imagens possuem vários pontos de semelhança. Para exemplificar, podemos utilizar a figura a seguir. Na figura, existem várias semelhanças entre as figuras envolvidas pelos quadros. A aplicação de transformações afins faria com que conjuntos de imagens pudessem ser representados por uma determinada função.



*Fig 11 - Semelhanças entre Partes de uma Imagem que são exploradas pela Transformação Fractal*

### O Problema de Velocidade

A essência do processo de compressão é a equiparação de cada bloco de variação a um bloco de domínio tal que a diferença entre os dois, depois de uma transformação afim, seja mínima. O esforço computacional é intenso devido ao número de comparações necessário. Ainda leva-se em conta, que os blocos são retangulares ou quadrados para manter o problema tratável.

Geralmente, o método para encontrar um PIFS adequado se resume a cinco passos :

1. Dividir a imagem em blocos de variação.
2. Formar o conjunto de blocos de domínio.
3. Escolher os tipos de transformações que serão utilizados.
4. Selecionar uma distância entre blocos.
5. Especificar um método para comparar blocos de variação com blocos de domínio.

Suponha a imagem é dividida em blocos de variação com tamanho 4x4 pixels e blocos de domínio de 8x8 pixels. Uma imagem 256x256 pixels contém um total de  $(256-8+1)^2 = 62.001$  8x8 blocos de domínio diferentes. Imaginando que estes blocos de domínio poderão sofrer transformações isométricas (4 rotações e 4 espelhamentos), o total virtual de blocos de variação é de 496.008. O total de blocos de variação é  $(256-4+1)^2 = 64.009$  4x4 blocos que proporcionam um total de 31,748,976,072 possíveis pares para testar. Até mesmo em uma workstation rápida esta comparação exaustiva é proibitivamente lenta.

Aumentar a velocidade de procura é o desafio principal que enfrenta a compressão de imagem fractal.

Características e Propriedades

- ✦ É uma tecnologia nova e promissora, superior em vários aspectos ao JPEG.
- ✦ É um método de compressão com perdas.
- ✦ Os fractais em compressão são sistemas compostos de funções iterativas.
- ✦ A boa resolução é uma característica poderosa mas não em altas taxas de compressão.
- ✦ A compressão é bem mais demorada quando comparada com a descompressão.
- ✦ A tecnologia é patenteada.
- ✦ Quanto mais o processo se desenvolve mais detalhe é obtido.
- ✦ Um imagem inicial qualquer pode ser usada para criar o Fractal. De fato, não importa qual imagem inicial é usada. O importante é o processo.

## Compressão Fractal x JPEG

Uma das maiores controvérsias entre os desenvolvedores de sistemas de compressão de imagem é a maneira correta de quantificar a distorção em uma imagem comprimida quando comparada com a original. Os parâmetros para medir esta distorção são os mais diversos : relação sinal-ruído, erro médio quadrático, erro médio absoluto. Um grande esforço computacional é despendido para minimizar uma medida de erro que freqüentemente é de valor duvidoso.

Um exemplo simples é alteração sistemática de valor de pixel, ou seja, adicionar uma constante para todo pixel de uma imagem. A medidas de erro nesta imagem após a alteração indicaria uma distorção grande, mas a imagem somente pode ter sido clareada ou escurecida (alteração de brilho).

Aceitando essas medidas de erro duvidosas, os resultados de testes revelam o seguinte : para baixas relações de compressão, o JPEG é melhor, e para altas taxas de compressão, a compressão Fractal é melhor. O limiar varia um pouco, mas é freqüentemente ao redor 40:1. Isto representa que a compressão JPEG além deste limiar distorce tanto a imagem que a compressão além deste limite não é conveniente na maioria dos casos.

Defensores da compressão Fractal dizem que a relação sinal-ruído não é uma medida apropriada de erro e que as distorções presentes na imagem comprimida pelo algoritmo Fractal têm um resultado muito mais natural que a distribuição em blocos da compressão JPEG, tanto em baixas quanto em altas taxas de compressão. Este é um ponto de vista válido, mas não aceito por todos.

## Algoritmo Wavelet

### Generalidades

Uma decomposição Wavelet é outra destas técnicas de transformação onde a matemática envolvida é bastante complexa. A

compressão Wavelet representa os dados como formas de ondas que podem ser descritas matematicamente em termos de frequência, energia e tempo.

A compressão Wavelet é simples no seu conceito. Supondo que dividamos um pedaço de papel em quatro partes iguais, e então dividamos a parte superior esquerda da mesma maneira, e continuemos este processo até um total de quatro divisões que irão produzir treze quadrados.

Na compressão Wavelet, cada um dos quadrados conterá informação que representa um aspecto dos dados dentro do imagem. Este processo sucessivo produz uma decomposição equivalente a 25% da área da última decomposição.

O algoritmo Wavelet reduz a informação radiométrica a uma representação das médias e diferenças entre pixels vizinhos. Na imagem, em regiões onde a resposta radiométrica é praticamente constante (em uma foto aérea, por exemplo, uma grande área de cultura, uma represa), a informação se reduz somente à componente média sendo a componente diferença muito próxima de zero. Sendo próxima de zero, esta componente diferença pode ser descartada.

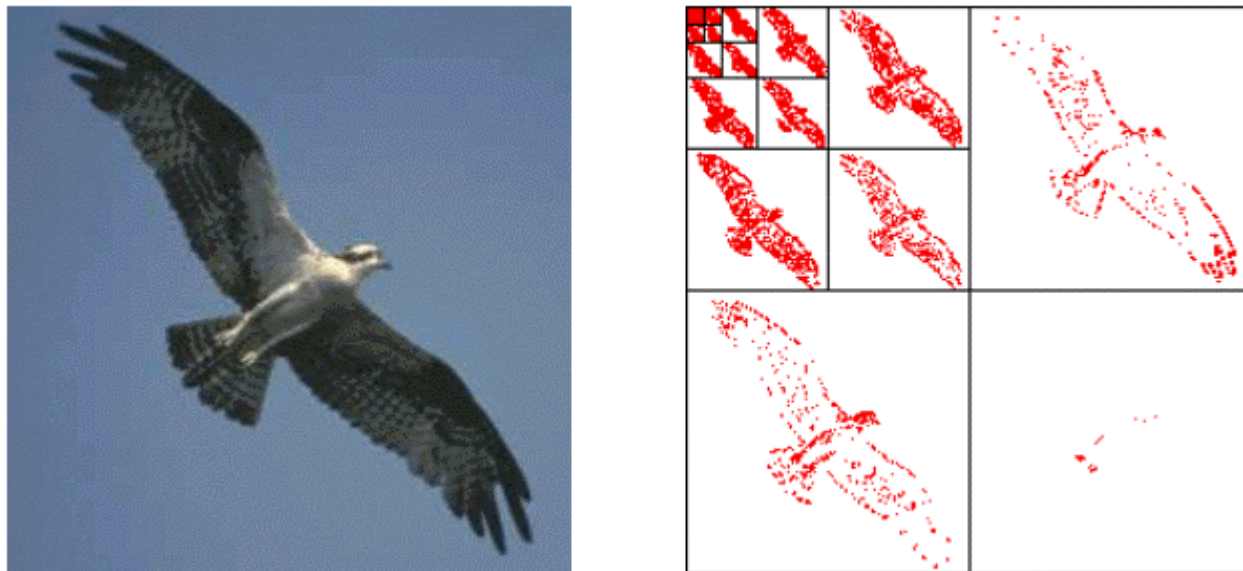


Fig 12 - Imagem Original e Decomposição em Frequências da Imagem - Codificação Wavelet

## Wavelet Haar

Ainda que existam vários tipos de Wavelets, a propriedade de decompor sinais em componentes média e diferença é a mais importante e a mais comum dentre elas [SSJ96].

Usaremos a Wavelet Haar (a mais simples das Wavelets) para demonstrar o processo de obtenção dos componentes.

Supondo a existência de dois valores de resposta radiométrica adjacentes de uma imagem qualquer ( $p_a$  e  $p_b$ ).

A média entre estes valores seria:

$$m = \frac{(p_a - p_b)}{2}$$

A diferença entre estes valores seria:

$$d = (p_a - p_b)$$

Para estes valores ( $m$  e  $d$ ) serem úteis, é necessário que possamos resgatar os valores iniciais deles. Assim

$$pa = m + \frac{d}{2} \quad pb = m - \frac{d}{2}$$

Na Wavelet Haar, a média e a diferença são calculadas respectivamente por :

$$m_{\text{haar}} = \frac{(pa - pb)}{\sqrt{2}} \quad d_{\text{haar}} = \frac{(pa + pb)}{\sqrt{2}}$$

A recomposição dos valores originais pode ser feita da mesma maneira. Assim :

$$pa = \frac{(m_{\text{haar}} + d_{\text{haar}})}{\sqrt{2}} \quad pb = \frac{(m_{\text{haar}} - d_{\text{haar}})}{\sqrt{2}}$$

Esta simetria de cálculo é chamada ortogonalidade e é uma propriedade importante compartilhada por todas as Wavelets.

Generalizando para uma seqüência de n pixels de uma imagem

$$(P_0 P_1 P_2 \dots P_{n-1})$$

temos:

$$H_i = \frac{(P_i + P_{i+1})}{\sqrt{2}} \quad \text{onde } i = 0 \leq \left(\frac{n}{2}\right) - 1$$

para a componente média;

$$H_{\frac{n}{2}+i} = \frac{(P_i - P_{i+1})}{\sqrt{2}} \quad \text{onde } i = 0 \leq \left(\frac{n}{2}\right) - 1$$

para a componente diferença.

Aplicamos a Wavelet sobre a seqüência uma vez. Usando a componente diferença resultante da primeira aplicação da Wavelet podemos saber onde ocorreram mudanças significativas entre os pixels. Valores próximos de zero mostram que pixels adjacentes tem valores aproximados e portanto, sua resposta radiométrica é semelhante.

Reaplicando a Wavelet Haar sobre os componentes resultantes da primeira aplicação, podemos gerar novos componentes que exprimem as diferenças e médias de uma boa parte do sinal, pois neste estágio cada novo componente de média e diferença gerado representa o tratamento de quatro valores iniciais.

Teoricamente, podemos repetir o processo até obtermos a componente média e diferença de dois elementos somente. Simplificando, cada sucessiva aplicação da Wavelet revela as mudanças da informação sobre uma parte cada vez maior da seqüência.

A manutenção dos componentes de diferença e dos componentes de média da última utilização da Wavelet seriam suficientes para reconstruir a informação original. Devido a sua simplicidade, a Wavelet Harr introduz algumas simplificações excessivas nas respostas radiométricas e assim, não é recomendada para compressão de imagem.

As Wavelets apropriadas para compressão de imagem são muito mais sofisticadas e fogem do escopo deste trabalho. Normalmente se utiliza a sobreposição de funções Wavelet de forma que cada elemento inicial seja usado em mais de um componente média. Mas, em resumo, a idéia básica da aplicação de Wavelets na compressão de imagens é semelhante ao descrito para a Wavelet Haar.

## Como opera a Compressão Wavelet

A figura ilustra uma aplicação de algoritmo Wavelet que processa a imagem por aplicação de duas transformações uni-dimensionais.

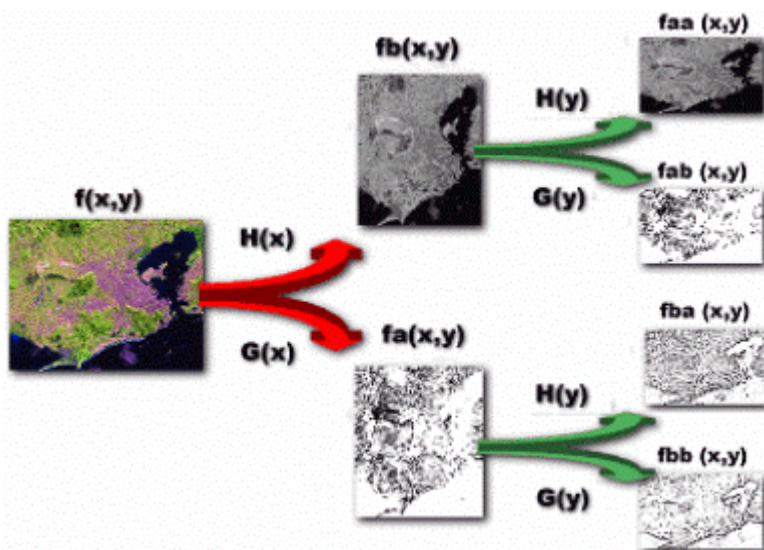


Fig 13 - Representação Esquemática do Algoritmo Wavelet

A imagem  $f(x,y)$  é filtrada primeiramente usando um filtro passa-baixa (low-pass) e um passa-alta (high-pass) ao longo da dimensão  $x$  e resulta em imagens  $fb(x,y)$  e  $fa(x,y)$ . A largura de banda de  $fb$  e  $fa$  ao longo da dimensão  $x$  é reduzida à metade de  $f$  (sub-amostragem), ou seja, podemos seguramente simplificar cada uma das imagens filtradas na dimensão  $x$  sem perda de informação.

A mesma filtragem passa-baixa e passa-alta são aplicados ao longo da dimensão  $y$  nas imagens anteriores  $fb(x,y)$  e  $fa(x,y)$  e resultam em quatro sub-imagens:  $fbb$ ,  $fba$ ,  $fab$  e  $faa$ . Mais uma vez, podemos simplificar as sub-imagens, agora ao longo da dimensão  $y$ .

A decomposição (filtragem) resulta em uma imagem de sinal comum ( $fbb$ ) e três sinais de detalhe que são direcionalmente sensíveis:  $fba$  enfatiza as características horizontais da imagem,  $fab$  as características verticais, e  $faa$  as características diagonais. A sensibilidade direcional dos sinais é o desmembramento das diversas frequências que a imagem contém.

### Por que a compressão Wavelet é considerada eficaz?

A decomposição da imagem original na técnica Wavelet é executada por meio da aplicação de filtros digitais Passa-Banda nesta imagem. Por conseguinte, diferentemente do algoritmo JPEG, as imagens digitais comprimidas usando Wavelets possuem poucos bits de representação para cada pixel e não apresentam blocos regulares de imagem. Isto significa que um sistema baseado na compressão Wavelet produz imagens reconstruídas mais naturais quando comparadas com sistemas DCT. Além disso, a compressão Wavelet supera a DCT em termos de eficiência de compressão.

A finalidade da compressão Wavelet é tirar proveito das deficiências do sistema visual humano. A visão humana é particularmente sensível a linhas verticais e horizontais. Assim, os valores obtidos de decomposição horizontal e vertical são muito mais marcantes que os diagonais. Mais significativas que diagonais, horizontais ou verticais são as informações correspondentes ao filtro passa-baixa.

Devido a este fenômeno fisiológico, a decisão de como descartar dados para compressão não é difícil. Geralmente, são descartados dados na decomposição diagonal, horizontal e vertical.

## Algoritmo Hierarchical Predictive Coding (HPC)

### Generalidades

O Hierarchical Predictive Coding (HPC) foi desenvolvido baseado em um esquema de compressão para vídeos digitais na Florida Atlantic University em 1992.

O algoritmo opera em uma imagem digital criando uma seqüência de níveis de apresentação. Cada nível é criado a partir de uma sub-amostragem de tons de cinza da imagem anterior com conseqüente diminuição da resolução. Por exemplo, uma imagem de  $1024 \times 1024$  pixels pode ser decomposta em cinco níveis:  $1024 \times 1024$ ,  $512 \times 512$ ,  $256 \times 256$ ,  $128 \times 128$ ,  $64 \times 64$ . Cada imagem desta "pirâmide" de imagens é obtida com a ação de um operador Gaussiano sobre a imagem anterior de resolução mais alta e com

respectiva redução (pela metade) do tamanho.

As diferenças radiométricas entre as imagens para todos os níveis são obtidas e armazenadas. Estas diferenças representam os componentes de alta frequência do nível prévio da "pirâmide" de imagem. A imagem original pode ser reconstruída de sua representação ao nível baixo (por exemplo 64 x 64 pixels) através da utilização dos coeficientes diferenciais.

O valor de pixel das imagens diferenciais é normalmente pequeno. Assim, eles podem ser codificados e podem ser armazenados com poucos bits de representação. Para alcançar taxas de compressão mais altas, os bits representativos das imagens diferenciais podem ser alterados (Quantization) levando a uma degradação de imagem e compressão com perdas.

Resumidamente, o algoritmo HPC pode ser descrito como abaixo :

- ⊕ A "pirâmide" de imagens é criada utilizando um operador Gaussiano de tamanho 3x3 pixels sobre a imagem original
- ⊕ As imagens diferenciais são obtidas para todos os níveis. Por exemplo, uma imagem original de 1024 x 1024 pixels é substituído por um imagem de 64 x 64 pixels e 4 imagens diferenciais.
- ⊕ Os valores da imagem mais alta (64 x 64) e a primeira imagem diferencial (128 x 128) é armazenada como inteiros de 8 bits.
- ⊕ Os valores da imagem 256x256 e a imagem diferencial 128x128 são codificados inteiros de 5 bits.
- ⊕ Os valores da imagem 512x512 e a imagem diferencial 256x256 são codificados inteiros de 3 bits.
- ⊕ Os valores da imagem 1024x1024 e a imagem diferencial 512x512 são codificados inteiros de 1 bit.

Com este procedimento, pode se obter taxas de compressão da ordem de 3.6:1. Para taxas de compressão mais altas, as imagens diferenciais são representadas por menos bits. Porém, a degradação nas imagens reconstruídas aumenta sensivelmente.

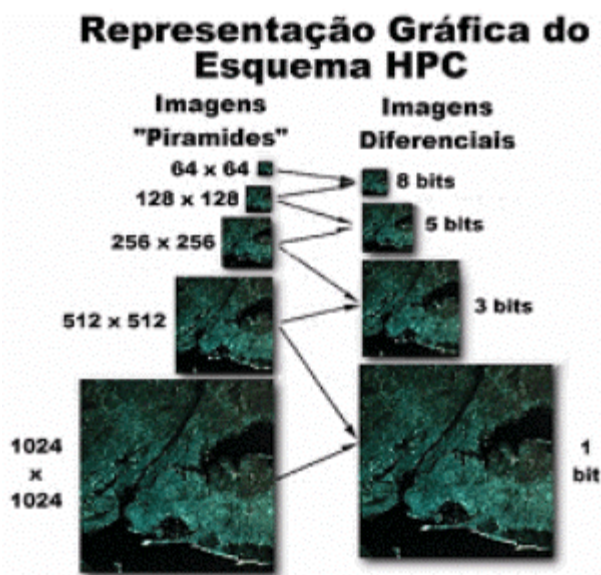


Fig 14 - Representação Gráfica do HPC

## Algoritmo FlashPix (Kodak)

### Generalidades

A Eastman Kodak Company em colaboração com a HP Company, Live Picture Inc. e Microsoft desenvolveram a arquitetura FlashPix e o formato de imagem que serve como seu núcleo. Todas as quatro companhias contribuíram com tecnologias de ponta para este desenvolvimento e receberam um valioso feedback técnico de outras grandes corporações como Apple, Canon e IBM.

A Kodak é proprietária do formato FlashPix e por isso, detém suas especificações e referências de implementação e interoperabilidade. Somente produtos que obedecem a especificação e passam pelo departamento de teste da Kodak podem usar o logo FlashPix. As especificações do formatam FlashPix estão disponíveis para desenvolvedores assim como bibliotecas (.DLL) prontas para incorporação em programas de tratamento de imagem no site da Kodak.

A arquitetura FlashPix não muda o fato que a representação de imagens digitais de alta qualidade gera arquivos de dados grandes. Mas reconhece que a boa parte dos usuários não precisa da maioria da informação (redundância).

A Kodak está comprometida em fazer com que a arquitetura FlashPix seja um padrão de imagem aceito pela comunidade digital. As companhias participantes assegurarão que o formato estará sempre disponível e só mudará por um processo de participação e colaboração de desenvolvedores. Os desenvolvedores podem adicionar informação à Estrutura de Armazenamento sem interferir na

compatibilidade de um arquivo FlashPix com qualquer tradutor-leitor FlashPix já existente.

## Estrutura

A tecnologia FlashPix incorpora muitas características de arquiteturas ou formatos já existentes e acrescenta alguns novos processos que a aperfeiçoaram. A tecnologia FlashPix suporta imagens de qualquer tamanho, capturadas em qualquer resolução.

As imagens são armazenadas em arquivos FlashPix em resoluções múltiplas independentes e cada resolução é sub-dividida em blocos quadrados. Estas características permitem que as aplicações selecionem a resolução apropriada para um determinado procedimento além de ter acesso às áreas específicas de uma imagem, necessária para a operação que é executada. Assim, não é necessário que a aplicação processe a imagem inteira para visualização de uma área pequena, nem o processamento completo de uma imagem de alta resolução para exibição da imagem em baixa resolução.

A edição só é aplicada nas imagens de alta resolução quando necessária. Um processo - como transformações espaciais ou ajustes de imagem - são parâmetros de visualização chamados Image View e são armazenados como um pequeno script separado dos dados de imagem. O script e os dados estão contidos no chamado container - como por exemplo, o Microsoft OLE (Object Linking & Embedding). Este arquivo é interoperável com arquiteturas de armazenamento estruturadas, como OLE II e OpenDoc, assim como JAVA e plug-ins para browsers. Para exibição ou impressão da versão editada, uma aplicação FlashPix aplica as mudanças descritas no script nos dados originais da imagem.

O FlashPix suporta as seguintes manipulações de imagem: área de interesse, filtragem, orientação espacial para rotação, escala e corte, matriz para correção de cor, ajuste de contraste e deformação por eixo. O uso de parâmetros de visualização reduz a quantidade de processamento e espaço necessário para manipulação de imagens.

Considerando uma operação simples como um corte de imagem, por exemplo. A maioria das aplicações hoje regrava todo o arquivo de imagem e exibe a porção selecionada na resolução desejada. Em aplicações FlashPix, o corte requer a aplicação de um parâmetro de visualização que define a área de interesse e o processamento dos pixels contidos nele.

Os parâmetros de visualização também reduzem exigências de armazenamento para usuários que queiram manter o arquivo de imagem original intato, junto com a versão editada. Na arquitetura FlashPix, os dados de imagem originais e os editados são parte do mesmo arquivo.

A arquitetura FlashPix reúne alguns conceitos de imagem digital e tecnologias computacionais. As seis características de chave são:

1. Resoluções múltiplas
2. Sub-imagens em blocos
3. Armazenamento estruturado
4. Compressão JPEG opcional
5. Múltiplas opções radiométricas
6. Informação descritiva

Combinando estas características em uma só arquitetura, o FlashPix serve como um padrão que satisfaz as necessidades de um número grande de aplicações de imageamento.

### 1. Resoluções múltiplas

Em vez de armazenar imagens em uma única resolução, o formato FlashPix cria uma hierarquia de múltiplas resoluções independentes. Esta característica permite aplicações inteligentes que selecionam o melhor nível de resolução para a atividade desejada.

A hierarquia é criada começando com o nível de resolução mais alto, determinado pelo dispositivo de captura. Para criar cada nível sucessivo na hierarquia, a imagem é reduzida pela metade (vertical e horizontalmente). A hierarquia cessa quando a imagem pode ser representada em um único bloco de 64 x 64 pixels.

### 2. Sub-imagens em blocos

O formato FlashPix divide a imagem em blocos (tiles) em vez de se agrupar os dados em linhas contíguas de pixels como a maioria dos formatos faça. O tamanho do bloco é fixo em 64 x 64 pixels.

Esta característica permite que aplicações acessem qualquer porção da imagem de maneira rápida e conveniente, com velocidade consistente e por conseguinte, com menos esforço computacional nas operações de leitura (I/O). Não há necessidade da leitura dos dados desde o início até a área selecionada da imagem. As aplicações FlashPix acessam diretamente acesso o(s) bloco(s) que contém a área selecionada de imagem. As operações de edição são vistas quase que instantaneamente, pois somente os blocos em trabalho são visualizados e processados.

### 3. Armazenamento estruturado

A característica de armazenamento estruturado do formato FlashPix se comporta muito como um sistema de arquivos dentro de um arquivo. Atua como um diretório virtual com arquivos virtuais dentro da estrutura da imagem.

O formato FlashPix emprega a estrutura OLE da Microsoft para tornar os arquivos interoperacionais com OLE II e com aplicações de OpenDoc. Ao contrário da maioria dos formatos de intercâmbio de dados, o armazenamento estruturado permite que o FlashPix opere como o formato nativo dentro de cada aplicação. Os desenvolvedores podem anexar as próprias extensões, funções específicas e características proprietárias no armazenamento estruturado.

Estes arquivos estendidos são interoperáveis com outros leitores FlashPix, enquanto os dados estendidos (contendo as características proprietárias) são utilizadas pelos produtos especialmente habilitados. A estrutura de armazenamento também permite extensões da Kodak que acrescentarão características novas, mantendo compatibilidade de núcleo com FlashPix original.

### 4. Compressão de JPEG opcional

O formato FlashPix Versão 1.0 permite três opções de compressão : compressão JPEG, sem compressão e compressão de cor. Para blocos de imagem que precisam de ser comprimidos, o FlashPix emprega a compressão JPEG standard com otimização de armazenamento. O método sem compressão é utilizado quando espaço é abundante, o dispositivo de armazenamento é rápido e a velocidade de processador é baixa. Para blocos com redundância de cor, a compressão de cor permite uma taxa extrema de compressão de 4096:1 e uma melhoria de desempenho significativa na leitura do arquivo.

### 5. Modelos de cor

O formato FlashPix suporta vários modelos de cor, assim os desenvolvedores de periféricos (hardware) e aplicações (software) podem adaptar os seus produtos para necessidades diferentes. Os modelos são os seguintes :

- ✦ Modelo RGB calibrado, NIFRGB, especificamente projetado para o formato,
- ✦ Photo YCC - é o padrão Kodak para fotografia digital e é o fundamento do Kodak Photo CD. YCC é uma estratégia de compressão para reduzir o tamanho do arquivo para imagens de alta resolução. A imagem é dividida em componentes de Luminância (tons de cinza onde o componente de luminância produz uma imagem de tons de cinza completa) e componentes de crominância (matz que adiciona o componente de cor.
- ✦ Modelo monocromático calibrado para imagens de tons de cinza (grayscale)

### 6. Informação descritiva

A arquitetura FlashPix permite armazenamento de dados descritivos junto com os dados de imagem em cada arquivo FlashPix. A informação descritiva contém a descrição da fonte de imagem (copyright) como também aplicações e dispositivos que usarão o arquivo.

### Metodologia

Para avaliar a influência da compressão nos produtos derivados de uma imagem digital, foi realizado um experimento sobre alguns arquivos digitais de imagens aéreas representativas. A intenção era avaliar o grau de confiabilidade dos produtos obtidos face a deterioração na qualidade das imagens. Os procedimentos e resultados principais estão descritos a seguir.

### Imagens Originais

As imagens do estudo foram escolhidas com a intenção de representar situações radiométricas distintas (imagens coloridas - 24 bits e tons de cinza - 8 bits) e entropias também distintas (área rural e área urbana) [INV94]. Para estudo dos casos foram utilizados produtos resultantes das seguintes coberturas aerofotogramétricas realizadas na área de Curitiba e região metropolitana nos últimos 2 anos :

	Urbana		Rural	
	P&B	Colorida	P&B	Colorida
<b>Região</b>	Curitiba	Curitiba	Ribeirão Branco	Ribeirão Branco
<b>Câmara / focal</b>	ZEISS RMK A 15/23 D.Focal 153,528 mm	ZEISS RMK A 15/23 D.Focal 153,528 mm	ZEISS RMK TOP D.Focal 152,790 mm	ZEISS RMK TOP D.Focal 152,790 mm
<b>Escala</b>	1 / 8.000	1 / 20.000	1 / 8.000	1 / 8.000
<b>Tipo Terreno</b>	Ondulado Inclinação > 20o	Ondulado Inclinação > 20o	Movimentado Inclinação > 30o	Movimentado Inclinação > 30o

Tabela 3 - Especificações das Aerofotos Utilizadas para o Estudo

## Escanerização

Os diapositivos foram escanerizados em scanner de alta resolução DSW 100 da LH Systems (Leyca Helava). Foi utilizada a resolução de trabalho de 25 $\mu$  que corresponde a 1016 dpi. Na escanerização original, o formato original é o VIT (VITEC - formato utilizado no scanner DSW 100). Ao ser passado para a estação fotogramétrica DPW 770, o formato VIT foi transformado para o formato TIF sem compressão (TIFF uncompressed).

Os tamanhos de arquivos conseguidos para escanerização sem compressão foram:

	Urbana		Rural	
	P&B	Colorida	P&B	Colorida
<b>TIFF uncompressed</b>	83 MB (8 bits)	247 MB (24 bits)	83 MB (8 bits)	247 MB (24 bits)

Tabela 4 - Tamanho dos Arquivos após Escanerização

Com o sistema SOCET SET da própria LH, as imagens foram comprimidas usando o formato JPEG usando três fatores Q bem distintos (75, 50 e 1). As taxas de compressão alcançadas estão demonstrados na tabela abaixo:

	Urbana		Rural	
	P&B	Colorida	P&B	Colorida
<b>JPEG Q 75</b>	13 MB	35 MB	13 MB	35 MB
<b>JPEG Q 50</b>	8,5 MB	23.7 MB	8,5 MB	23.7 MB
<b>JPEG Q 1</b>	5,5 MB	15 MB	5,5 MB	15 MB

Tabela 5 - Tamanho dos Arquivos após Compressão

## Histogramas

O histograma de cada imagem é apresentado em forma gráfica através de uma curva estatística onde o eixo y representa a ocorrência de cada tom de cinza ou RGB (DN - digital number) na imagem toda e o eixo x representa os valores de 0 a 255 possíveis para os DNs.



Fig 15 - Histogramas de Imagem Rural P&B

Uma curva em forma de sino (normal) representa uma boa distribuição dos DNs, o que está associado a uma boa qualidade visual da imagem. No caso da comparação dos histogramas das fotos com tamanho normal e comprimida a semelhança dos valores simplesmente mostra que a qualidade visual da foto original não foi alterada.

As imagens usadas neste experimento têm uma entropia muito grande devido a grande variação da informação representada. Podemos observar isto pelo histograma bem distribuído. Por conseguinte, a redundância nestas imagens é muito pequena.

	Urbana				Rural			
	P&B		Colorida		P&B		Colorida	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
<b>TIF unc</b>	127,22	40,41	80,52	52,71	107,03	28,79	86,99	29,62
<b>JPEG Q 75</b>	126,68	43,92	80,60	55,88	107,76	29,33	86,10	30,63
<b>JPEG Q 50</b>	126,68	43,91	80,60	55,87	107,76	29,31	86,12	30,64
<b>JPEG Q 1</b>	126,68	43,91	80,56	52,96	107,22	28,77	86,85	31,18

*Tabela 6 - Médias e Desvio Padrão dos Histogramas*

### Orientação

O processo de orientação absoluta de modelos é realizado por meio do conjunto de programas existentes no sistema SOCET SET da LH Systems que operam na estação fotogramétrica digital DPW 770. O hardware principal da estação é o computador SUN SparcStation que utiliza o sistema operacional Solaris vr. 2.4 com 128 MBytes de memória principal e 55 GBytes de memória de disco.



*Fig 16 - Exemplo de Ponto Perfurado Usado na Orientação do Modelo Aerofotogramétrico*

Os procedimentos de orientação interior e relativa das imagens normais e comprimidas eram os mesmos, reforçando a intenção de demonstrar os efeitos da compressão de imagem (com sua perda de qualidade) sobre a orientação absoluta.

O Erro Médio Quadrático (RMS) na orientação absoluta é expresso em metros e é resultante do resíduo encontrado no ajuste de 10 a 15 pontos de orientação do modelo estereoscópico.

	Urbana					
	P & B			Colorida		
	X	Y	Z	X	Y	Z
<b>TIF unc</b>	0.003	0.004	0.001	0.518	0.753	0.461
<b>JPEG Q 75</b>	0.033	0.028	0.025	0.481	0.510	0.700
<b>JPEG Q 50</b>	0.003	0.004	0.000	0.610	0.610	0.800
<b>JPEG Q 1</b>	0.005	0.003	0.001	0.760	0.482	0.653

*Tabela 7 - Resultados de Orientação - RMS em X, Y, Z - expresso em metros - Área Urbana*

	Rural					
	P & B			Colorida		
	X	Y	Z	X	Y	Z
TIF unc	0.008	0.008	0.005	0.006	0.006	0.003
JPEG Q 75	0.000	0.000	0.000	0.007	0.006	0.005
JPEG Q 50	0.007	0.006	0.004	0.006	0.005	0.004
JPEG Q 1	0.008	0.007	0.005	0.006	0.010	0.004

*Tabela 8 - Resultados de Orientação - RMS em X, Y, Z - expresso em metros - Área Rural*

### Geração Automática do Modelo Digital do Terreno (MDTa)

Foi utilizada o módulo Automatic Terrain Extraction (ATE) do sistema SOCET SET para processamento dos MDTa's que são extraídos de modelos fotogramétricos digitais através da correlação de imagens. Tomou-se a precaução de não utilizar Break Lines ou Skeleton Lines no processamento do MDTa. Este procedimento tinha o propósito de evitar qualquer influência do operador no processo. Foi utilizado um espaçamento entre pontos da malha regular de 50 m para a área rural e 3 m para área urbana. As áreas escolhidas para geração do MDTa possibilitaram as amostras de pontos exposta na tabela abaixo :

	Urbana		Rural	
	P&B	Colorida	P&B	Colorida
No. pontos na malha regular	28.171	2.303	2.303	2.303

*Tabela 9 - Número de Pontos na Malha MDT Original*

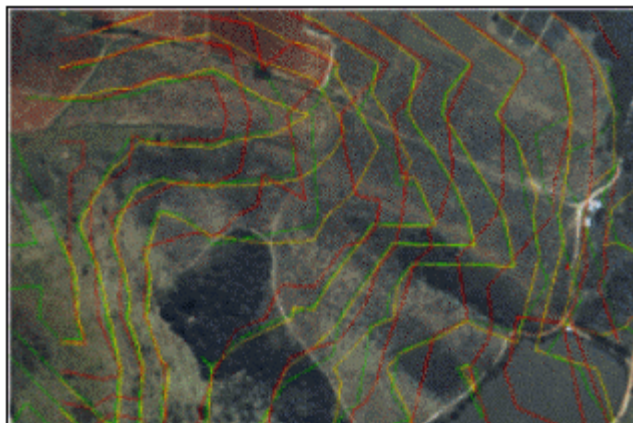
Os resultados foram comparados de maneira analítica e visual. De maneira analítica foi utilizado o módulo Quality Statistic do Sistema SOCET SET para comparação dos pontos da malha. A comparação estatística sempre foi feita considerando o DTM gerado a partir da imagem sem compressão como correto. Os resultados de Média e Desvio Padrão encontrados estão expostos na tabela abaixo, em metros :

	Urbana				Rural			
	P&B		Colorida		P&B		Colorida	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
JPEG Q 75	2,02	1,90	2,16	2,14	0,47	0,46	0,80	0,80
JPEG Q 50	2,10	2,08	2,25	2,23	1,08	1,05	3,22	3,21
JPEG Q 1	5,42	4,28	2,27	2,26	3,38	3,29	3,21	3,21

*Tabela 10 - Médias e Desvio Padrão da Análise Estatística dos MDTa*

Com os MDTa criados foi possível a geração automática de curvas de nível o que salientou as diferenças de altitude entre os pontos da malha regular já que os mesmos são obtidos através da correlação de imagens e as imagens estão influenciadas pela compressão.

Esta variação é sensível para tarefas realizadas sobre as curvas de nível como perfilagens e estudos volumétricos.



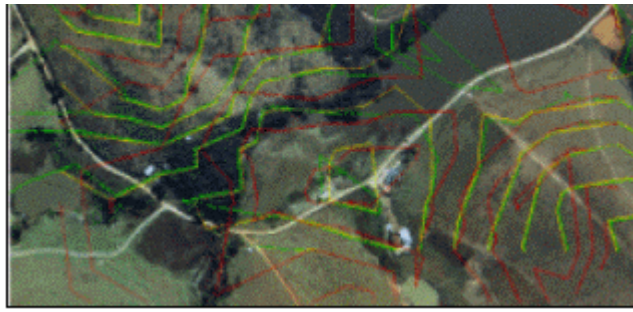


Fig 17 - Curvas de Nível Geradas a partir dos Diversos MDTa - original, Q 75, Q 50 e Q 1

### Variação de volume dos MDTs

O cálculo dos volumes dos MDTa gerados foi realizado com o módulo Earthworks do programa Civil da Softdesk Inc. (adquirida recentemente pela Autodesk Inc.).

O módulo Earthworks permite várias maneiras de cálculo de volumes : SECTION AVERAGE END AREA GRID LINES, SECTION PRISMOIDAL METHOD e GRID METHOD. Todos os métodos são aproximações do volume real baseados em um espaçamento do grid do DTMa. Por isso, os resultados podem variar se as superfícies tiverem uma malha de pontos muito ou pouco espaçada. A descrição detalhada dos três método pode ser encontrada em [SOF96].

Foram criados quatro MDTa e determinados os seus volumes. A área de trabalho ficou compreendida no quadrilátero formado pelas coordenadas E1=724.944,059 m, N1 = 7.320.880,089 m e E2 = 7.254.44,059 m, Y2 = 7.321.380,089 m e a referência vertical estabelecida foi a cota 840,00 m na imagem P&B Rural .

Rural			
P & B			
	End Area (m <sup>2</sup> )	Prismoidal (m <sup>3</sup> )	Grid (m <sup>3</sup> )
TIF unc	6.437.412,50	6.437.343,71	6.437.469,37
JPEG Q 75	6.423.095,61	6.423.029,29	6.423.260,26
JPEG Q 50	6.381.006,72	6.380.931,15	6.381.054,58
JPEG Q 1	6.353.796,73	6.353.729,89	6.353.858,88

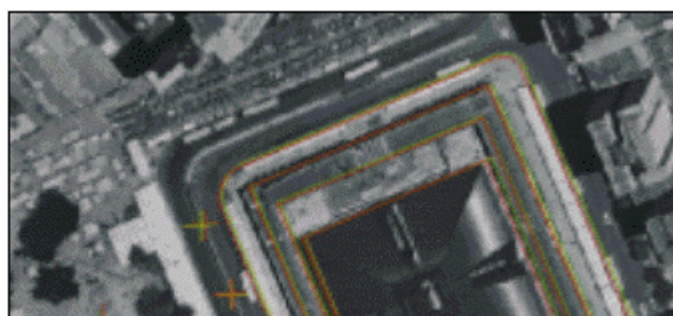
Tabela 11 - Volumes dos MDTa pelos 3 Métodos Estudados em m3

Os resultados encontrados mostram que a deterioração nas imagens após a compressão pode levar a discrepância não só visual mas também analítica no DTMa resultante. No caso dos volumes calculados com base nos DTMa obteve-se variações na ordem de 2% que no exemplo equivalem a 85.000 m3.

### Captação Fotogramétrica

Quanto à captação fotogramétrica, foram realizadas repetidas captações fotogramétricas nas imagens comprimidas de elementos pontuais, lineares e de área que foram comparados de maneira visual e analítica com os mesmos elementos obtidos da imagem sem compressão.

A comparação entre as feições restituídas nos diversos níveis de compressão de imagens mostrou que as diferenças foram menores do que as observadas em captações repetidas em um mesmo nível de compressão, ou seja, restituiu-se diversas vezes os mesmos elementos com a imagem original e observou-se diferenças de até 0,50 m entre uma e outra. As diferenças entre as restituições com diferentes níveis de compressão foram da mesma ordem.



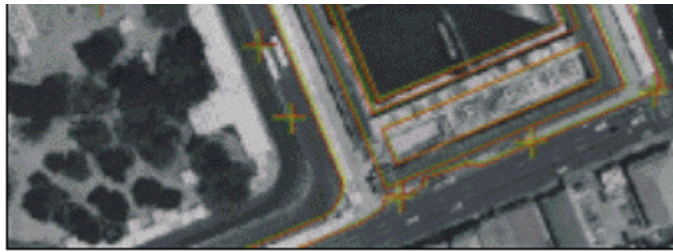


Fig 18 - Detalhe da Captação Fotogramétrica

## Tempos

A maior vantagem da compressão é a quantidade de espaço de armazenamento que é economizada e por conseguinte, os benefícios de operações com arquivos digitais menores.

A existência de mais imagens disponíveis em um determinado espaço de disco faz com que o operador focalize sua atenção nas operações fotogramétricas e não na manipulação de arquivos.

No entanto, existem diferenças sensíveis de tempo se a operação de compressão / descompressão for por software ou dependente de hardware. Neste estudo, o algoritmo JPEG era operado por software o que fez com que os tempos de manipulação do arquivo inviabilizem o seu uso em quantidades grandes de imagem a serem trabalhadas mesmo levando em conta o grande benefício em espaço necessário (armazenamento temporário, back-up) e tráfego na rede.

O tempo de escaneração dos diapositivos coloridos é maior pelo fato de que o scanner DSW 100 opera com três passagens capturando distintamente os canais R (Red), G (Green) e B (Blue) em cada uma das passagens. Scanner mais atuais como o DSW 200, DSW 300 e DSW 500 operam com tempos bem inferiores (3 a 5 minutos por fotograma) além de possibilitar a escaneração direto do negativo (filme aéreo).

Os tempos necessários (expressos em minutos) para escaneração (TIF uncompressed) e compressão (JPEG) estão demonstrados na tabela abaixo :

	Urbana		Rural	
	P&B	Colorida	P&B	Colorida
TIF unc	30m	90m	30m	90m
JPEG Q 75	6m	10m	6m	10m
JPEG Q 50	6m	10m	6m	10m
JPEG Q 1	6m	10m	6m	10m

Tabela 12 - Tempos de Escaneração em minutos

## Resultados

### O formato NITFS JPEG das imagens usadas no estudo

O National Imagery Transmission Format Standard (NITFS) é o padrão para formatação de imagens digitais e sub-produtos usados para intercâmbio entre membros da Intelligence Community (IC), como definido pelo Department of Defense (DoD) e agências do Governo dos Estados Unidos [MIL97].

O NITFS é usado como referência para compressão de dados por assegurar a interoperabilidade de arquivos de imagem entre as agências governamentais americanas. Como novas tecnologias de compressão eram estabelecidas dentro das comunidades comerciais e governamentais, eles foram unificados dentro do DoD usando Padrões Militares, ou fora (comercial) como padrões de ISO. Um exemplo disto é JPEG que é regulado pela ISO/JTC 1/SC 29.

Como o padrão comercial foi concebido para apoiar uma grande variedade de usos (imagens comerciais, médicas, máquinas fotográficas digitais, etc.) e contém uma série de capacidades que tratadas especificamente não eram necessárias ou úteis ao usuário de NITFS. Uma variante deste padrão JPEG foi elaborada (documentada em MIL-STD-198-199A) minimizando algumas opções, focando parâmetros e excluindo características que não eram necessárias para desempenho ou interoperabilidade. Esta variante ficou conhecida como NITFS JPEG e é a variante utilizada neste estudo.

## Escanerização

Como já exposto o fator Q não corresponde a um percentual de compressão da imagem propriamente dito. Neste ensaio, quanto mais baixo o fator Q, maior a deterioração na imagem comprimida. O fator Q 1 significa um alto grau de blocagem e, por conseguinte, alteração na imagem quando comparada com a original. Observamos, na tabela a seguir, as taxas reais de compressão obtidas para cada fator Q escolhido.

	Urbana		Rural	
	P&B	Colorida	P&B	Colorida
<b>JPEG Q 75</b>	85 %	86 %	85 %	86 %
<b>JPEG Q 50</b>	90 %	91 %	90 %	91 %
<b>JPEG Q 1</b>	93 %	94 %	93 %	94 %

*Tabela 13 - Porcentagem de Compressão*

As taxas de compressão são altas mesmo considerando fatores Q elevados que não proporcionam um grau alto de deterioração na imagem. Observa-se que não existe grande variação nas taxas de compressão entre as imagens rural e urbana ou colorida e tons de cinza.

Isto se deve ao fato que as imagens apesar de distintas (representando locais com texturas complexas e diferentes) apresentam um histograma bem distribuído e muito parecido. Isto faz com que o algoritmo compactador haja de maneira semelhante proporcionando as taxas de compressão muito parecidas.

Poderíamos esperar que um fator Q 100 corresponderia a nenhuma compactação ou nenhuma deterioração da imagem. Na prática, isto não acontece. Mesmo utilizando o fator Q 100, existe deterioração e compactação obtida pelo algoritmo Huffman ou RLE existente no final do processo JPEG.

A maioria dos usuários de sistemas de compressão JPEG consideram o fator Q 75 como ponto ótimo. Fatores Q maiores que 75 corresponderiam a pouco ganho na qualidade de imagem em relação à diminuição da taxa de compressão. Fatores Q menores que 75 corresponderiam a pouco ganho na taxa de compressão em relação a uma deterioração muito mais acentuada na imagem.

### Orientação

O tamanho do pixel no terreno (GSD - Ground Sampled Distance) é expresso por :

$$GSD = \frac{\text{Denominador Escala} \times 0,0254}{\text{Resolução Escanização}}$$

Assim, para as escalas 1:8.000 e 1:20.000, os tamanhos no terreno do pixel são 0,20 m e 0,50 m, respectivamente.

Na escala 1:8.000, os resultados de orientações obtidas nos modelos compostos pelas imagens sem compressão ou com compressão com fatores Q muito baixos (grande deterioração) se apresentaram mais que satisfatórios. Alguns eixos apresentaram resíduos baixíssimos equivalentes a 1/50 do pixel.

Isto é explicado pela capacidade que o operador possui em promover ampliações de até 30 vezes sobre a região que contém o ponto de orientação. Mesmo com a deterioração visível na imagem, a região perfurada ("pugada") apresenta detalhamento suficiente para que o operador proceda uma leitura de excelente qualidade. Além disso, foram eliminados na orientação os pontos que apresentavam mais resíduo fazendo com que o ajuste final fosse melhorado substancialmente.

Na escala 1:20.000, os resultados de orientações obtidas nos modelos compostos pelas imagens sem compressão ou com compressão continuam satisfatórios. Contudo, observa-se que os resíduos são mais altos, da ordem de 1 a 1,5 pixels. Continuam sendo resultados aceitáveis, mas mostram que a identificação de detalhes (pontos de orientação) em escalas menores é uma tarefa muito mais árdua e mais sujeita a dúvidas de interpretação.

No entanto, o importante é salientar que novamente a perda de qualidade devido a fatores de compressão elevados não nos levou a diferenças significativas na orientação quando comparada com os resultados obtidos na orientação do modelo sem compressão e portanto, sem perda de qualidade na imagem.

### Modelo Digital do Terreno automático (MDTa)

O espaçamento entre pontos da malha regular escolhido para a área rural (50m) não se mostrou como valor apropriado para os

estudos realizados.

A compressão JPEG cria blocos de imagem de tamanho 8 x 8 pixels como já vimos anteriormente. Partindo desta condição e de que cada pixel na escala 1:8.000 tem 0,20 m, cada bloco criado pela compressão JPEG terá 1,6 x 16 m. Assim, dentro de uma malha regular 50 x 50 m existirão mais de 900 blocos JPEG (artifacts).

Em próximos estudos, serão usados intervalos de malha menores para tornar mais sensível a deterioração do MDTa efetuada pela compressão.

A quantidade de pontos utilizados pelo MDTa também é um fator de influência nos resultados. O módulo Quality Statistic faz uma filtragem automática nos pontos dos MDTa comparados para estabelecer uma comparação mais segura. Uma boa parte destes pontos são descartados na filtragem. Isto diminui a amostra consideravelmente podendo comprometer os resultados. Observou-se que o MDTa da área Urbana Colorida cuja amostra inicial era de ~2.300 pontos após a filtragem possuía ~700 pontos, ou seja, 30% da amostra original.

Na comparação destes MDTa, verificou-se que a Média e o Desvio Padrão para todos os fatores de compressão praticamente foi constante. Seria indicado a escolha de uma área maior para comparação, evitando assim a filtragem excessiva de pontos.

Contudo, o aspecto mais importante é a modificação do formato das curvas de nível geradas a partir dos MDTa. As diferenças posicionais foram sensíveis e isto com certeza acarretaria resultados imprevisíveis na execução de um perfil.

## Tendências

Há atualmente uma prerrogativa na concepção de novos algoritmos de compressão que é : junte diversos algoritmos e componentes de algoritmos e organize-os em um único padrão estruturado. Um padrão assim tem o potencial de evoluir e integrar componentes de algoritmo novos sem requerer uma nova definição de padrões a cada mudança.

Alguns exigências adicionais são necessárias :

- ✦ Desempenho melhorado (maior taxa de compressão);
- ✦ Qualidade de imagem melhorada;
- ✦ Flexibilidade para apoiar tipos diferentes de imagem (espectro visível, IR, Multicomponent, etc.);
- ✦ Habilidade para apoiar mosaicagem e imagem de tamanhos muito pequeno ou muito grande.

## JPEG-LS e JPEG-2000

Uma variação do algoritmo JPEG sem perda (ou com muita pouca perda), conhecido como JPEG-LS (JPEG lossless), apresenta um aumento de performance em média de 29% sobre os algoritmos JPEG atuais baseados nos métodos Huffman, chegando com até 80% de melhoria em alguns casos. Este novo algoritmo está baseado em extensões ISO desenvolvidas pela Hewlett-Packard LOCO-I e o Mitsubishi MELCODE.

Os detalhes do novo padrão JPEG-2000, chamado dessa maneira devido a sua data prevista de publicação (março de 2000), foram apresentados a programadores e desenvolvedores a cerca de dois anos. Dentre as principais características, destacam-se :

- ✦ O padrão JPEG-2000 abrangerá as imagens P&B (1 bit), tons de cinza (8 bits) e coloridas - True color (24 bits);
- ✦ As imagens após compressão terão um menor grau de deterioração e, por conseguinte, apresentarão uma melhor qualidade de imagem quando analisada subjetivamente (análise visual);
- ✦ O novo padrão poderá processar imagens maiores que 64K x 64K pixels sem ter que usar desmembramento em sub-imagens, e usará um único algoritmo de descompressão para todas as imagens evitando os problemas de incompatibilidade encontrados com algumas imagens;
- ✦ O esquema de codificação será projetado para operar satisfatoriamente em transmissões via rede sujeitas a "ruídos";
- ✦ O padrão JPEG-2000 suportará a mistura de imagens P&B e de tons de cinza no manuseio e/ou armazenamento de documentos combinados como parte de sistemas GED (Gerenciamento Eletrônico de Documentos);
- ✦ O padrão JPEG-2000 permitirá transmissão progressiva de imagens permitindo a reconstrução de imagens com bastante precisão (resolução espacial);
- ✦ Imagens serão transmitidas em tempo real usando uma pequena largura de banda para dispositivos com espaço de memória limitado (por exemplo, um buffer de impressora);
- ✦ O padrão JPEG-2000 permitirá a compressão de áreas específicas de uma imagem com diferentes distorções de qualidade para cada uma das áreas escolhidas;
- ✦ Serão permitidas descrições de informativas de conteúdo que farão parte do arquivo de imagem, assim como, mecanismos de marca d'água, rotulação e senha para proteção do arquivo imagem.

O calendário simplificado de atividades para JPEG 2000 está exposto abaixo:

- ⊕ Apresentação de contribuições de algoritmo - Setembro-97
- ⊕ Apresentação de contribuições de arquitetura - Outubro-97
- ⊕ Resultados experimentais e ajustes - Março-98
- ⊕ Rascunho do padrão - Julho-98
- ⊕ Submeter Rascunho como Draft International Standard (DIS) para o Comitê indicado- Novembro-99
- ⊕ DIS submetido como International Standard (IS) - Março-00
- ⊕ Publicação oficial do padrão - Novembro-00

## JPEG ePIC

O sistema ePIC da Pegasus Inc. é um sistema compressão de imagem de alto desempenho combina o codec patenteado ELS com as bibliotecas JPEG da Pegasus Inc. O resultado é uma tecnologia de compressão nova e muito versátil.

A compressão ePIC tem vantagens significantes sobre o JPEG padrão. Produz arquivos comprimidos menores e descomprime muito mais depressa. as imagens ePIC podem ser codificadas com senha e podem receber comentários que são incorporados ao arquivo. Estas imagens também podem ser ampliadas (Zoom).

- ⊕ Descompressão otimizada - realiza a remoção do aspecto de blocos do JPEG (artifacts) e incrementa a atuação das DCTs. Os codecs da Pegasus Inc. removerão muitos blocos JPEG sem dano adicional (obscurecimento da imagem). O atual estágio de pesquisa da Pegasus Inc. não procura um filtro para remover os blocos JPEG, mas em como reconstruir o arquivo comprimido tão próximo do original quanto possível.
- ⊕ Compressão otimizada - técnicas novas evitam a perda recursiva na sucessiva compressão de imagens.
- ⊕ Descomprimir regiões de interesse - permite decodificar rapidamente e ver uma determinada área dentro de um arquivo JPEG sem decodificar o resto da imagem. Isto é muito útil para visualização de partes de arquivos JPEG muito grandes.
- ⊕ Salvar regiões de interesse - permite decodificar rapidamente e salvar uma determinada área em um arquivo JPEG sem perda de qualidade.
- ⊕ Rotação sem perda de qualidade - permite girar ou refletir imagens de JPEG sem descompressão.
- ⊕ Sobreposição de arquivos JPEG - permite superpor um arquivo de JPEG em outro JPEG com controle da luminância.
- ⊕ Junção de arquivos JPEG - permite unir arquivos JPEG com outros arquivos JPEG da mesma altura ou largura sem ter que comprimir ou descomprimir qualquer uma das imagens. JPEG Mago aplicação.
- ⊕ Região de compressão - permite selecionar regiões múltiplas dentro da imagem original para arquivar e comprimir cada uma dessas regiões com qualidades diferentes. Útil por selecionar partes da imagem onde a qualidade é importante e deixar o resto da imagem degradada economizando tamanho de arquivo
- ⊕ Compressão adicional - usando o codec proprietário ELS no lugar do algoritmo Huffman do JPEG padrão, o ePIC da Pegasus Inc. consegue 8 a 15 % de compressão adicional sem perda.

## Arquivos de Imagem Wavelet (WIF - Wavelet Image Files)

Os arquivos WIF são criados utilizando o método de compressão chamado Wavelet desenvolvidos no Houston Advanced Research Center (HARC™). A Compression Engines LLC, baseada em Houston-TX, é uma companhia privada que possui os direitos de desenvolvimento e comercialização da tecnologia de compressão de imagem digital (HARC-C).

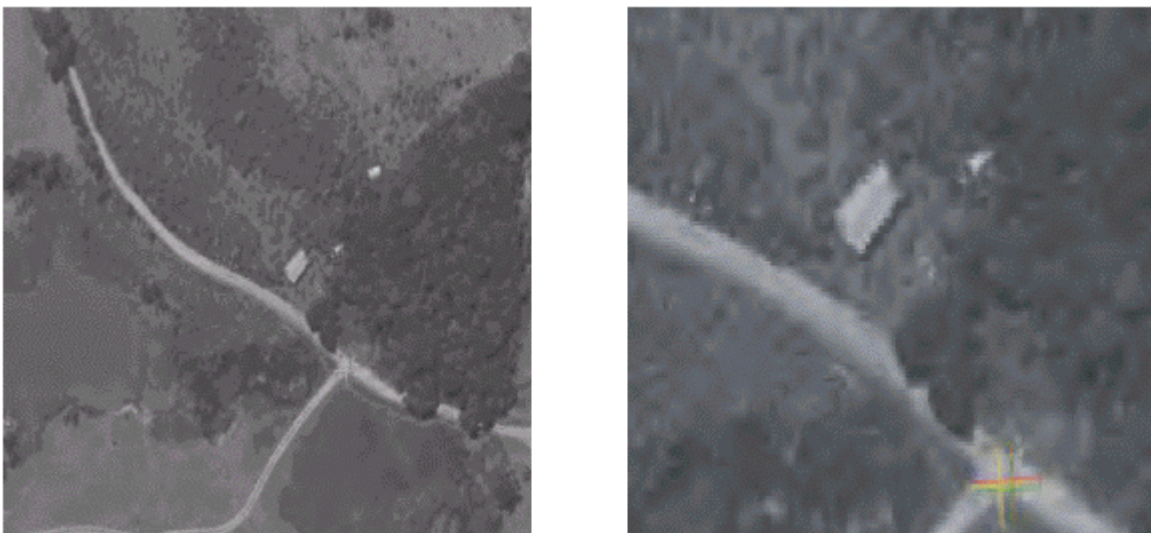


Fig 19 - Imagem Wavelet e Detalhe

A Compression Engines LLC possui os direitos mundiais para o HARC-C™ e é habilitada para comercializar a tecnologia internacionalmente, especialmente na Europa e Ásia. A Compression Engines LLC melhorou algoritmos de compressão Wavelet

usando Spline Wavelets. Estas Wavelets são superiores a outras tecnologias conhecidas e superam outros compressores Wavelet e o padrão JPEG atual em termos de relação de compressão e qualidade de imagem restabelecida.

A tecnologia WIF pode ser usada em vários sistemas operacionais (Windows NT, 98 & 95, UNIX) e para várias aplicações que envolvam armazenamento ou transmissão de dados de imagem digital. A Compression Engines também comercializa um SDK (Software Development Kit) que pode ser usado por desenvolvedores de sistema.

A Boeing Co. comercializa um software de compressão de imagem baseado em Wavelet. O algoritmo está implementado em ANSI C e foi estado em PCs e workstations UNIX. O algoritmo foi desenvolvido para várias aplicações de defesa e pode ser utilizado em aplicações comerciais como multimídia, sistemas de comunicação, sensoriamento remoto, documentos e outras aplicações.

## Redes Neurais

Uma arquitetura de rede neural pode ser satisfatória para resolver o problema de compressão de imagem. Este tipo de estrutura - uma grande quantidade de informação radiométrica que alimenta um nível virtual que então alimenta um nível de saída - chamada rede tipo de "gargalo de garrafa" é ideal para este tratamento.

A idéia é que a rede neural tenha sido "treinada" para implementar o mapa de identidade. Então, uma imagem minúscula apresentada à rede como entrada poderia reconstruir exatamente a informação original. Maiores detalhes em [BCK96].

## AxionImage(Axion Spatial Imaging)

A Compressão AxionImage é uma ferramenta para redução do tamanho de imagens digitais que utiliza a combinação específica das tecnologias Wavelet e Fractal. A idéia não é só a compressão, mas melhorar grandemente administração, velocidade de acesso e distribuição de imagens com perda mínima de qualidade.

AxionImage é uma ferramenta desenvolvida para administrar e exibir conjuntos dinâmicos de imagem. A compressão não funde todas as imagens de um mosaico em uma imagem única. Ao contrário, armazena cada imagem separadamente e unindo-as no instante da visualização. Esta aproximação dá uma maior flexibilidade permitindo controle de como são combinadas as imagens na visualização. Por exemplo, imagens detalhadas podem ser sobrepostas de outras menos detalhadas ou a localização de alterações pode ser obtida pela visualização de imagens de épocas distintas abrindo janelas adicionais. As imagens podem ser adicionadas ou removidas do mosaico a qualquer momento.

A maior vantagem que se apresenta é que as imagens podem ser armazenadas em um banco de dados. Comandos específicos podem resgatar as imagens baseado em atributos como data, tempo, resolução, versão, fonte, etc.

AxionImage usa a informação de georeferenciamento armazenada com cada imagem para localizar sua posição. Isto é independente de tamanho, forma ou resolução. Isto significa que qualquer número de imagens pode ser mosaicado, contanto que eles sejam georeferenciado, e as imagens não precisam ser do mesmo conjunto, tipo ou escala.

Existem visualizadores disponíveis para a maioria dos SIG's e CAD's além de um kit de desenvolvimento completo com bibliotecas e DLL's para incorporação do visualizador aos aplicativos.

AxionImage suporta os formatos mais comuns de imagem como TIFF, GEOTIFF, BMP, RAW, e TIF com TFW. Não há nenhum limite prefixado no número ou tamanho dos arquivos que podem ser comprimidos usando AxionImage. Recomenda-se comprimir imagens individualmente. Uma vez comprimidas, qualquer número de imagens pode ser mosaicado e pode ser visto em qualquer combinação.

O fabricante recomenda taxas de compressão entre 10:1 e 15:1 para imagens digitais. Com taxas de 10:1, não há quase nenhuma diferença visível entre a imagem comprimida e a original. Com taxas de 15:1, a qualidade da imagem é afetada. Em imagens uniformes, como mapas originais em papelescanerizados, uma taxa de compressão mais alta pode ser aplicada (15:1 a 30:1). Um das exigências no desenvolvimento do AxionImage era operar adequadamente nas bordas com maior contraste em resoluções múltiplas (fatores de zoom). Por isso, este algoritmo não atinge taxas de compressão mais altas.

## MrSID (Multiresolution Seamless Image Database)

Desenvolvido originalmente pelo grupo de tecnologia de imagem do Los Alamos National Laboratories, MrSID (Multiresolution Seamless Image Database) é uma tecnologia projetada por armazenar e resgatar eficazmente imagens digitais. Devido a negociações de transferência de tecnologia, MrSID está disponível para comercialização exclusiva da LizardTech Inc. O primeiro produto MrSID foi apresentado ao usuário de imagens digitais no final de 1997. Em menos de um ano, o produto já havia sido integrado em mais de 60 aplicações de SIG [GIA98].

A tecnologia de compressão de imagem MrSID é baseada em Wavelet. MrSID comprime imagens de qualquer tamanho. Isto permite acesso a qualquer porção de uma imagem composta por imagens mosaicadas sem a necessidade de carregar arquivos múltiplos.

O formato .SID foi projetado para abranger o mercado da imagem digital incluindo SIG, mapeamento, administração de documento, medicina, transferência de imagens pela Internet, etc. Sua tecnologia permite :

- ⊗ Qualidade de imagem com redução global em tamanho de arquivo;
- ⊗ Um banco de dados de imagem sofisticado com integridade de dados;
- ⊗ Recuperação imediata de imagem comprimida;
- ⊗ Facilidade de uso.

A meta de desenvolvimento do MrSID era poder comprimir imagens substancialmente sem que nenhum dano à qualidade da imagem fosse percebido. Com MrSID, há pouca degradação em qualidade de imagem até mesmo em taxas de compressão muito altas. A relação atual alcançada varia e depende de conteúdo de imagem e resolução radiométrica, mas em geral é ao redor 15:1 para tons de cinza (8 bits) e 50:1 para coloridas (true color - 24 bits).

Em testes realizados com uma imagem deste trabalho (Original TIF uncompressed com 8,4 MBytes) foram alcançados os seguintes tamanhos de arquivo e as seguintes taxas de compressão com perdas (visuais) não significativas :

- ⊗ MrSID compressão 100:1,8 níveis de zoom, tamanho do arquivo = 87 Kbytes
- ⊗ MrSID compressão 60:1,8 níveis de zoom, tamanho do arquivo = 137 Kbytes

A compressão JPEG com perda visual semelhante (MrSID 100:1) alcançou a taxa de compressão de 27:1 com tamanho de arquivo de 310 Kbytes.

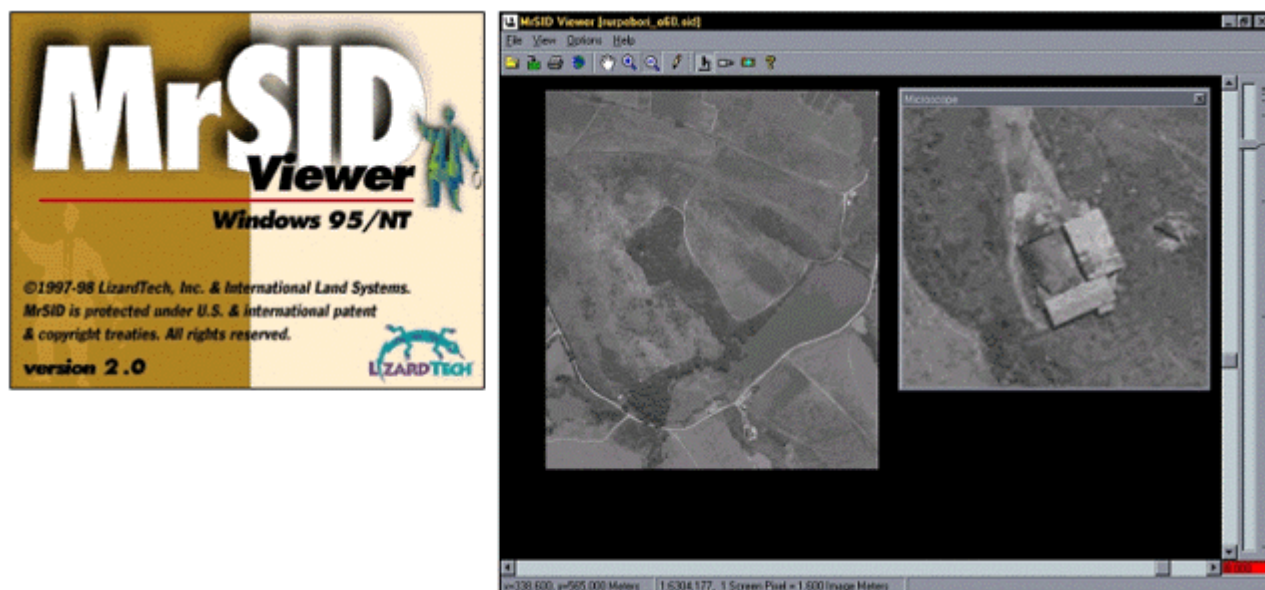


Fig 20 - Imagem MrSID

Um dos problemas associado com arquivos de imagem é o tempo exigido para abrir imagens muito grandes. Por exemplo, uma imagem TIF com 50 MBytes pode levar alguns minutos para carregar. MrSID exige para menos de um minuto para abrir o mesmo arquivo (no formato .SID) permitindo uma visualização preliminar em baixa resolução.

A tecnologia MrSID opera integrando resoluções múltiplas de uma imagem dentro do espaço de compressão de um único arquivo. Isto não significa a necessidade de armazenamento adicional para adquirir uma imagem de múltipla resolução. Na descompressão, MrSID constrói cada nível de resolução sucessiva já usando os dados descomprimidos dando acesso imediato para qualquer localização na imagem a qualquer resolução.

Um das características principais da tecnologia MrSID é sua habilidade para comprimir imagens múltiplas em única imagem (mosaicagem). Para isto, a imagens parciais comprimidas devem ter associados dados de georeferenciamento. Estes dados podem ser armazenados no próprio arquivo de imagem ou pode ser arquivos ASCII separados, geralmente chamados World Files ( por exemplo .TFW para arquivos TIF).

Há três versões de compressores MrSID: Limited, Professional e Publisher. Com o MrSID Limited, imagens de até 100 MBytes podem ser comprimidas isoladamente ou em batch. MrSID Professional permite compressão de imagens de até 500 MBytes. Adicionalmente, MrSID Professional permite mosaicar imagens georeferenciadas em uma única imagem. No MrSID Publisher não existe limite no tamanho das imagens.

Por meio de uma parceria com ESRI, LizardTech integrou a tecnologia MrSID no ArcView (a partir da versão 3.1). A mais recente versão da extensão, embutido no ArcView 3.1, oferece suporte nativo de imagem MrSID, com georeferenciamento preciso para qualquer imagem de .SID com um .SDW correspondente (.SID World File). A tecnologia MrSID está programada para ser incluída em outros aplicativos SIG como ERMapper, Intergraph, ERDAS e Autodesk. Atualmente já existe visualizador MrSID para o Microstation da Bentley Inc.

Para permitir a integração da tecnologia MrSID em uma variedade de aplicativos, LizardTech disponibiliza o kit de desenvolvimento de software para imagem MrSID (MrSID Decompress SDK) para um período de demonstração limitado a 30 dias. O kit inclui o MrSID Decompress .dlls, exemplo de programação e documentação necessária. A versão de demonstração do MrSID Decompress SDK está disponível no site da LizardTech.

Também estão disponíveis na Internet, o plug-in visualizador de imagens .SID para browser (Internet Explorer ou Netscape Navigator) e o visualizador MrSID. O visualizador MrSID é um programa Windows 95/NT que exibe imagens no formato .SID da LizardTech. Ele tem as capacidades seguintes:

- ✦ Abre e exibe imagens .SID em resoluções 8-bit, 16-bit, ou 24-bit;
- ✦ Zoom em tempo real;
- ✦ Exporta imagem .SID para o formato TIFF com referenciamento (.TFW);
- ✦ Plotagem;
- ✦ Mostra coordenadas de posicionamento do cursor na imagem;
- ✦ Seleciona sistema de coordenada e escala;
- ✦ Zoom para avaliação da imagem completa;
- ✦ Ferramenta para medir distâncias;
- ✦ "Microscópio" para visualização na resolução original de uma área pequena ao redor do cursor;
- ✦ "Telescópio" para visualização da imagem inteira;
- ✦ Ajuda On-line.

## Conclusões e Recomendações

- ✦ Técnicas de compressão digital são extremamente necessárias para tratamento de arquivos digitais justificados pela questão do espaço para armazenamento, tempo de manipulação e transmissões via rede (corporativa ou Internet);
- ✦ Algoritmos de compressão com perda devem ser usados com cautela para determinadas operações com a imagem digital. A compressão mesmo com taxas altas e por conseguinte, com perda de qualidade tem pouca influência nos resultados de Orientação e Captação Fotogramétrica. Já na operação de MDT por correlação de imagem, a taxa de compressão elevada tem bastante influência nos resultados pelo simples fato que alterações radiométricas significativas efetuadas na imagem proporcionam um tratamento diferenciado pelo algoritmo de geração do MDT;
- ✦ A implementação de algoritmos de compressão em hardware é essencial para que se diminua (ou elimine) o agravante do tempo de processamento para as tarefas de compressão / decompressão por software;
- ✦ Os desenvolvedores, programadores, usuários de algoritmos de compressão necessitam de uma maneira fácil, precisa e padronizada de computar a medida de erro ou distorção entre imagens comprimidas evitando a impressão subjetiva de espectadores humanos não recomendada para julgamentos técnicos;
- ✦ As técnicas Hierarchic Predictive Code HPC e outras combinações Wavelet e Fractal, são rápidas e mantêm uma boa qualidade geométrica e radiométrica de imagem. Porém, as taxas de compressão são muito pequenas;
- ✦ As técnicas Wavelet mostram uma imagem reconstruída com qualidade visual superior ao JPEG. No entanto, sua utilização em correlação de imagem é tão comprometedora quanto o JPEG, pois a deterioração é sensível quando analisada pixel a pixel;
- ✦ Até certos fatores Q (Quantization), a compressão pode ser utilizada sem comprometimento substancial na qualidade dos subprodutos extraídos da imagem;
- ✦ Mais estudos investigativos devem ser realizados utilizando as novas tecnologias de compressão que estão sendo ofertadas comercialmente.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Engenheiros Cartógrafos Roger e Silas (Dep. Tratamento Digital de Imagem) e ao Técnico Paulleto (Dep. de Engenharia) da Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A. pelos valiosos préstimos na geração dos produtos e ensaios realizados para comprovação dos resultados deste experimento.

## Marcas Registradas

Todos as marcas, programas e produtos mencionados neste trabalho são marcas registradas de seus fabricantes. Não existe neste trabalho nenhum apelo comercial, mas sim, a concatenação e apreciação de informações que são de domínio público. As imagens apresentadas foram extraídas dos programas de distribuição para demonstração.

## Bibliografia

Livros, Artigos, "Papers", Normas

- [BCK96] "Image Compression using Backprop" - Paul Watta, Brijesh Desai, Norman Dannug, Mohamad Hassoun - 1996
- [FRA97] "Fractal Image Compression" - Kyle Doerksen and Oleg Lavrovsky - 1997
- [FRB98] "Introduction to Fractal Compression" - John Kominek - 1998
- [GEO99] "Image Compression Eases Network Demand" - Frederick Limp - Software Reviews - GeoEurope - 1999
- [GIA98] "The World Just Got Smaller ..." - GIM Magazine - December 98
- [GIB97] "Softcopy Photogrammetry with JPEG" - Rob Reeves, Kurt Kubik, Yi Hui Lu - GIM Magazine - December 97
- [GIC97] "Image Compression in Digital Photogrammetry" - Tong Qiu - GIM Magazine - August 97
- [GID98] "Change Detection Service" - John Boland - GIM Magazine - September 98
- [INT96] "Introduction to Image Compression" - Agustin J. Gonzalez - Multimedia Systems Class, Spring 1996
- [INV94] "An Investigation Into The Use of JPEG Image Compression for Digital Photogrammetry: Does the Compression of Images Affect Measurement Accuracy?" - Philip F. Kern, James D. Carswell - Intergraph European Headquarters - 1994
- [MIL97] "MIL-STD-188-198A - Joint Photographic Experts Group (JPEG) Image Compression for the National Imagery Transmission Format Standard" - Department of Defense - USA Government - 1993, 1994 and 1997
- [MMA96] "Plotting and Scheming with Wavelets" - Colm Mulcahy - Mathematics Magazine - 1996
- [MPA96] "Image Compression in Photogrammetric Practice : An Overview" - Charles K. Toth - Manual of Photogrammetry Addendum - Chapter 4 : Storage and Compression - 1996
- [MPB96] "Wavelets and Their Applications in Photogrammetry and Remote Sensing Imagery" - Pallavi Shah - Manual of Photogrammetry Addendum - Chapter 4 : Storage and Compression - 1996
- [NAS96] "Progressive Wavelet Image Compression" - Research supported by NASA's Office of Space Science Applied Information Systems Research Program - Principal Investigator: Dr. Aaron Kiely - 1996
- [PCD95] "PHOTO CD: Digital Aerial Photo Scanning System" - Brian Huberty - USDA-Soil Conservation Service - 1995
- [PHA97] "Efficient Handling of Large Digital Images in Geographic Information Systems" - Fayed S. Shahin - Photogrammetric Engineering & Remote Sensing - October 97
- [PHB98] "Wavelets for SAR Image Smoothing" - Graham Horgan - Photogrammetric Engineering & Remote Sensing - December 98
- [PHC98] "A New Algorithm for Surface Determination Based on Wavelets and its Practical Application" - Jaan-Rong Tsay, Bernhard P. Wrobel - Photogrammetric Engineering & Remote Sensing - December 98
- [SOF96] "Softdesk Earthworks Reference Manual" - Chapter 4 - Volume Calculation Methods
- [SSJ96] "Image Compression using Harr Wavelet" - Colm Mulcahy - Spelman Science and Math Journal - 1996
- [WAV94] "Wavelets for Kids - 1 & 2" - B. Vidaković - 1994

## Internet

### FLASHPIX:

Kodak Technology.

Textos explicativos sobre o formato FlashPix patenteado pela Kodak.

[www.kodak.com/US/en/digital/dlc/book2/chapter4/](http://www.kodak.com/US/en/digital/dlc/book2/chapter4/)

### COMPRESSÃO:

Vision Group Publications

Metadados para artigos sobre compressão de imagens.

[vision.arc.nasa.gov/publications/publications.html#ImageCompression](http://vision.arc.nasa.gov/publications/publications.html#ImageCompression)

### RACTAL:

Andreas Kassler's Home Page

Disponibiliza o programa de sua autoria – FracComp – que é um programa de compressão de imagens utilizando a teoria fractal com alguns adicionais para processamento de imagem. Pode exportar e importar alguns formatos típicos : TIFF, GIF, JPEG, BMP, usar filtros passa-baixa e passa-alta, reduzir cores, etc.

[www-vs.informatik.uni-ulm.de/Mitarbeiter/Kassler/fractals.htm](http://www-vs.informatik.uni-ulm.de/Mitarbeiter/Kassler/fractals.htm)

Fractal Image Compression

Tutorial introdutório sobre a teoria de Compressão de Imagens por Fractais.

[www.cwi.nl/~bens/](http://www.cwi.nl/~bens/)

Fractal Image Encoding

Metadados com Livros, "Papers", programas, conferências e bibliografia sobre Fractais.

[inls.ucsd.edu/Research/Fisher/Fractals/index.html](http://inls.ucsd.edu/Research/Fisher/Fractals/index.html)

JPEG:

NIFTS JPEG

O National Imagery Transmission Format Standard (NITFS) é o site que contém as descrições de padrões de formatação de imagens digitais e produtos relacionados do Department of Defense (DOD) e outras agências governamentais americanas. Esta página contém três datas importantes do NITFS : 1994, 1998, e 2003. Estas datas são datas limite para os usuários migrarem dos Military Standard (MIL-STD) para os padrões aceitos internacionalmente -, International Standards (IS).

[164.214.2.51/ntb/baseline/compression.html](http://164.214.2.51/ntb/baseline/compression.html)

JPEG

Este site é usado para discussão e distribuição de documentos pelos grupos internacionais JPEG e JBIG, que representam uma grande variedade de companhias e instituições acadêmicas pelo mundo. Possui links para outros sites que contenham assuntos de interesse ou relevância para a comunidade JPEG.

[www.jpeg.org/](http://www.jpeg.org/)

LOCO-I-JPEG-LS Software

Implementações da HP Laboratories para compressão usando JPEG-LS (LOW COMPLEXITY LOSSLESS COMPRESSION for Images – LOCO-I)

[www.hpl.hp.com/loco/](http://www.hpl.hp.com/loco/)

Pegasus Imaging Corporation

Empresa que implementou o algoritmo JPEG trazendo novas funcionalidades ao mesmo. Demo para download.

[www.pegasusimaging.com/index.html](http://www.pegasusimaging.com/index.html)

WAVELET:

Axion Spatial Imaging -

Internet Plug-in e Demo sobre compressão Wavelet na Internet.

[www.axionspatial.com](http://www.axionspatial.com)

Compression Engines - Wavelet Image Compression

Internet Plug-in e Demo sobre compressão Wavelet na Internet.

[www.engines.com/cehome.htm](http://www.engines.com/cehome.htm)

LizardTech Inc - MrSID

Internet Plug-in e Demo sobre compressão Wavelet na Internet.

[www.lizardtech.com](http://www.lizardtech.com)

Progressive Wavelet Image Compression

Uso de compressão Wavelet pela NASA (Jet Propulsion Laboratories) para transmissão de imagem via rede de maneira progressiva consumindo assim pouca largura de banda.

[www331.jpl.nasa.gov/public/wave.html](http://www331.jpl.nasa.gov/public/wave.html)

RMA-ELEC Research on image compression

Compressão Wavelet utilizada para imagens de satélites meteorológicos e IR.

[www.rma.ac.be/~jma/compression.html](http://www.rma.ac.be/~jma/compression.html)

Wavelet Compression

Meta dados para diversos trabalhos e links referentes a tecnologia Wavelet. Alguns desativados.

[www-cse.ucsd.edu/users/ssantni/cse228f/wavelet/ref.html](http://www-cse.ucsd.edu/users/ssantni/cse228f/wavelet/ref.html)

#### Wavelet Resources

Um dos mais completos sites de metadados sobre Wavelets. Contém links para as mais diversas aplicações sobre Wavelets incluindo a compressão de imagens.

[www.mathsoft.com/wavelets.html](http://www.mathsoft.com/wavelets.html)

#### Wavelet Sources

Outro metasite com referências diversas para Wavelets. Muitos links estão desativados.

[www-ocean.tamu.edu/~baum/wavelets.html](http://www-ocean.tamu.edu/~baum/wavelets.html)

#### Wavelet Wading Pool

Este trabalho permite a compreensão do algoritmo Wavelet, por aplicação prática das técnicas de Wavelet para compressão de imagem. O trabalho baseia-se na aplicação da Wavelet Haar na compressão de imagens e análise de dificuldades encontradas. Na tentativa de eliminar o efeito bloco que a decomposição de Haar apresenta, uma proposta de uso da Wavelet Circle of Eight (COE - Richard Bartels) é aplicada. Ambas as Wavelets introduzem deformações (artifacts) como o JPEG, mas a COE produz resultados melhores que a Haar.

[www.cgl.uwaterloo.ca/~anicolao/wadingpool/WaveletWadingPool.html](http://www.cgl.uwaterloo.ca/~anicolao/wadingpool/WaveletWadingPool.html)

Direitos Autorais Reservados