

ABSTRACT

There are several methods for compressing data concerning digital image data. Among them two may be detached: the sampling of picture elements followed by reconstruction by interpolation, the transformation of a set of picture elements followed by the selection of the resultant coefficients with the picture reconstitution through the inverse transformation. In this paper LANDSAT images are used with a method combining these two.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>MÉTODOS DE COMPRESSÃO</u>	2
3 - <u>COMPRESSÃO POR INTERPOLAÇÃO</u>	3
3.1 - Tipos de amostragem	3
3.2 - Reconstituição	5
3.2.1 - Métodos não-lineares	7
4 - <u>COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO</u>	10
4.1 - Codificação dos coeficientes	14
5 - <u>COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO E INTERPOLAÇÃO</u>	16
6 - <u>RESULTADOS EXPERIMENTAIS</u>	17
7 - <u>COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES</u>	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

Pág.

21 - Classe 3 superposta à imagem comprimida	29
22 - Classe 4 superposta à imagem comprimida	29
23 - Classe 5 superposta à imagem comprimida	30

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Amostragem ortogonal 1:2	4
2 - Amostragem em "ziguezague"	4
3 - Reconstituição da imagem pelo vizinho mais próximo $\hat{Y} = A$..	5
4 - Reconstituição da imagem pela média horizontal $\hat{Y} = A+B/2$..	6
5 - Reconstituição da imagem pela média vertical $\hat{Y} = C+D/2$	6
6 - Configuração locais de bordas (CLB)	9
7 - Grade de elementos de imagem, com elementos de A a L	10
8 - Esquema geral de codificação por transformação	11
9 - Subimagens de base de uma transformação de Hadamard 4 x 4 .	13
10 - Codificação de coeficientes I:54 "bytes" por janela de 16 x 16, 1.6875 bits/elemento	15
11 - Codificação de coeficientes II:82 "bytes" por janela de 16 x 16, 2.5625 bits/elemento	16
12 - Esquema geral de compressão por transformação e interpola ção	17
13 - Imagem original, composição colorida	18
14 - Imagem comprimida por transformação (co-seno) e interpola ção, composição colorida, 0,85 bits por elemento	19
15 - Imagem comprimida por transformação (co-seno) e interpola ção, composição colorida, 1,28 bits por elemento	20
16 - Imagem classificada a partir da imagem original	26
17 - Imagem classificada a partir da imagem comprimida com 0,85 bits/elemento	26
18 - Imagem classificada a partir da imagem comprimida com 1,28 bits/elemento	27
19 - Classe 1 superposta à imagem comprimida	28
20 - Classe 2 superposta à imagem comprimida	28

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Imagem original	21
2 - Imagem comprimida com 0,85 bits/elemento	21
3 - Imagem comprimida com 1,28 bits/elemento	22
4 - Matriz de classificação - imagem original	23
5 - Matriz de classificação - imagem comprimida com 0,85 bits/elemento	24
6 - Matriz de classificação - imagem comprimida com 1,28 bits/elemento	25

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas encontrados em processamento de imagens digitais é a grande quantidade de dados envolvida. Pode-se ter uma idéia da ordem de grandeza, considerando uma imagem de 512 linhas com 512 elementos de imagem¹ cada linha e com 256 níveis de cinza ca da elemento, que é um caso bastante usual; esta imagem ocupará cerca de 260 "k bytes" de memória, o que é considerável. A situação se agrava, no caso de imagens LANDSAT-MSS, pois neste caso têm-se imagens com 4 faixas espectrais, cujo número de linhas é da ordem de 2300 a 3200 elementos e 256 níveis de cinza², o que significa cerca de 30 "M bytes"; daí a idéia de comprimir estas imagens.

Há duas classes fundamentais de compressão de dados: compressão sem que haja perda de informação durante o processo (compres são reversível) e com perda de parte da informação no decorrer do processo (compressão inversível). Certos tipos de dados, por exemplo, da dos relativos ao montante de uma conta bancária, não admitem irrever sibilidade por ocasião de uma eventual compressão. Já com imagens, con sidera-se o problema de maneira diferente. Uma perda de parte da in formação relaciona-se, em geral, com uma perda de resolução. Admitindo perda de resolução, aceita-se perda de informação e, conseqüentemente, métodos de compressão irreversíveis podem ser utilizados. Na verdade o problema é mais delicado, uma vez que não há uma correspondência di reta mensurável entre a perda de informação e a degradação observada (por exemplo: queda de resolução), ou seja, uma imagem bastante com primida pelo mesmo método, pode apresentar degradações muito sensi veis. Para tornar ainda mais delicado o problema, vale lembrar que a

¹ Muitas vezes denomina-se "pixel" um elemento de imagem, contração do inglês "picture element".

² Para maiores informações sobre imagens LANDSAT, sugere-se uma publicação específica como, por exemplo, NASA-GSFC Data users handbook, 1970.

questão de "qualidade visual" é bastante subjetiva, não havendo infelizmente um critério objetivo, definido e aceito universalmente. Deve-se levar em conta também que o observador humano nem sempre é quem decide, pois em alguns casos o resultado de um processamento (por exemplo: compressão) é apresentado a uma máquina, visando por exemplo a classificação de regiões pode mudar substancialmente. Neste caso, o critério de avaliação pode mudar substancialmente. Neste trabalho são considerados apenas métodos de compressão que introduzem perda de informação. Todos os algoritmos foram desenvolvidos no computador PDP 11/45 do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais do INPE, com visualização através do sistema GE/Image 100.

2. MÉTODOS DE COMPRESSÃO

Existem vários métodos de compressão de imagens, tais como: métodos preditivos, interpolativos, de codificação por transformação, de codificação hídrica por predição-transformação, por códigos de comprimento de correida ("run-length"), de aglomeração ("clustering"), etc. O trabalho de Netravali e Limb (1980) apresenta um breve histórico e algumas características de diversos métodos. Vale ressaltar que não existe um método ideal de compressão de imagens. Poder-se-ia dizer que a multiplicidade de métodos corrobora este fato. Por outro lado, a não existência de um método ideal pode ser explicada em parte pelo fato de que imagens de documentos (fac-símile), de televidusão, de radiografias, de satélites meteorológicos, ou de recursos naturais são bastante distintas entre si, não propriamente quanto à sua forma intrínseca, mas fundamentalmente quanto aos propósitos a que elas de destinam.

Considerando os métodos de compressão que introduzem alguma irreversibilidade, pode-se dizer que há duas tendências básicas: na primeira conservam-se todos os elementos da imagem e tenta-se obter compressão através de uma redução do número de bits por elemento, ou seja, armazena-se (ou transmite-se) uma informação para cada elemento da imagem (métodos preditivos, e de aglomeração). Nota-se que esta in

formação não se refere necessariamente ao valor (nível de cinza) do elemento de imagem, mas a uma diferença entre o valor predito e o valor real de um elemento ou, então, à classe a que ("cluster") pertence o elemento. No segundo caso, a informação retida pode referir-se a um conjunto de elementos de imagem (interpolação, transformação, comprimento de corrida).

Neste trabalho consideram-se primordialmente os métodos de compressão por interpolação e por transformação, em uma tentativa de utilizar conjuntamente estas duas técnicas.

3. COMPRESSÃO POR INTERPOLAÇÃO

O princípio básico consiste em tomar convenientemente amostras na imagem, ou seja, preservar determinados elementos da imagem eliminando outros. No processo de reconstituição de imagem são utilizados apenas os elementos preservados, sendo os demais obtidos por alguma técnica de interpolação.

3.1. TIPOS DE AMOSTRAGEM

Existem duas técnicas básicas de amostragem de imagens invariantes no tempo e sem entrelaçamento entre as linhas, que é o caso das imagens a serem consideradas neste trabalho: amostragem ortogonal e amostragem ziguezague³.

Diz-se que uma amostragem é ortogonal (Figura 1) quando todas as amostras são geometricamente alinhadas, ou seja, as amostras encontram-se na mesma posição em todas as linhas consideradas.

³ *As vezes conhecida como amostragens em quincônio ou quinceunce.*

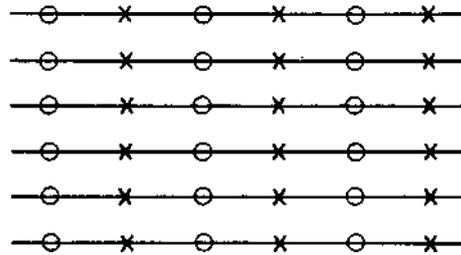


Fig. 1 - Amostragem ortogonal 1:2.

x - elementos preservados,
o - elementos suprimidos.

Jã no caso da amostragem em ziguezague (Figura 2), as amostras são deslocadas entre si segundo as linhas.

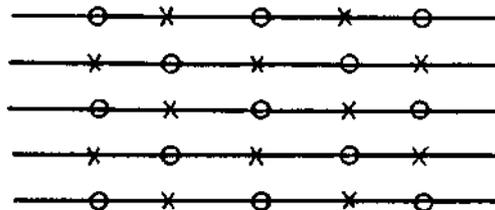


Fig. 2 - Amostragem "em ziguezague".

x - elementos preservados,
o - elementos suprimidos.

Intuitivamente, pode-se pensar que a amostragem em zi guezague ẽ mais adequada, dado o fato de que as amostras se encontram mais bem distribuĩdas espacialmente. Isto pode ser observado atravẽs de uma anãlise mais profunda das imagens no plano da transformada de Fourier (Kretz et Sabatier, 1981).

Neste trabalho consideram-se apenas as imagens amostradas à razão de 1:2, ou seja, a cada dois elementos de uma linha, um deles é preservado (tomado como amostra). Como as imagens utilizadas têm 8 bits por elementos e para sua representação conservam-se 8 bits, pode-se dizer que, em média, a imagem amostrada tem 4 bits por elemento.

3.2- RECONSTITUIÇÃO

A partir de elementos remanescentes, vários métodos de reconstituição dos elementos ausentes, são possíveis, tais como:

- a) Vizinho mais próximo - é o método de reconstituição mais simples que consiste em repetir o elemento precedente e corresponde a $\hat{Y} = A$ na Figura 3; pode ser utilizado tanto na amostragem ziguezague como na ortogonal. A região crítica, neste caso, é aquela em que há presença de bordas verticais, onde a imagem reconstituída pode apresentar bastante degradações em relação à original.



Fig. 3 - Reconstituição da imagem pelo vizinho mais próximo $\hat{Y} = A$.

a - amostragem ziguezague,

b - amostragem ortogonal.

- b) Média horizontal ou vertical - neste caso o elemento ausente é reconstituído pelo valor médio dos elementos vizinhos na mesma linha (média horizontal), ou alinhados verticalmente (méd

dia vertical) como ilustrado nas Figuras 4 e 5. Pode-se observar facilmente que a média vertical só é possível no caso de amostragem em ziguezague.



Fig. 4 - Reconstituição da imagem pela média horizontal $\hat{Y} = A+B/2$.

- a - amostragem em ziguezague,
- b - amostragem ortogonal.

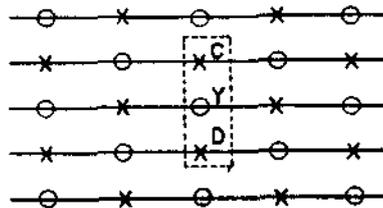


Fig. 5 - Reconstituição da imagem pela média vertical $\hat{Y} = C+D/2$.
(amostragem em ziguezague).

Em relação ao vizinho mais próximo, a média horizontal tende a suavizar as degradações decorrentes do processo de amostragem, mas não eliminá-las. A média vertical diminui sensivelmente estas de gradações; entretanto, introduz degradação em regiões de imagem onde há presença de bordas horizontais.

- c) Média dos quatro vizinhos - método aplicado apenas no caso de amostragem em zig-zague: o elemento ausente é determinado pelo valor médio dos quatro elementos vizinhos, ou seja: $Y = (A+B+C+D)/4$. Este método, por tratar de combinação da média vertical com média horizontal:

$$\left(\tilde{Y} = \frac{\frac{A+B}{2} + \frac{C+D}{2}}{2} \right),$$

tende a diminuir o efeito das degradações (notadamente em regiões mais uniformes), causando porém uma certa perda de resolução em regiões mais conturbadas. Pode-se tentar reduzir este efeito mediante métodos não-lineares (Lima, 1979), como são vistos a seguir.

3.2.1. MÉTODOS NÃO-LINEARES

Uma maneira bastante simples de reconstituir a imagem mediante uma adaptação às condições locais (presença ou não de bordas) é feita da seguinte forma:

- . Determinam-se as diferenças, em valor absoluto, dos valores dos elementos vizinhos horizontal e verticalmente ($|A-B|$ e $|C-D|$):

CLB1	-	$ A-B < L$	e	$ C-D < L$
CLB2	-	$ A-B > L$	e	$ C-D < L$
CLB3	-	$ A-B < L$	e	$ C-D > L$
CLB4	-	$ A-B > L$	e	$ C-D > L$

Quando uma das diferenças, em valor absoluto, for superior ao limiar, diz-se que existe um Elemento de Borda (EB) entre os elementos da imagem. Apresentam-se quatro configurações com seus respectivos EBs na Figura 6.

O elemento de imagem ausente, Y , é reconstituído da seguinte maneira:

$$\hat{Y} = \frac{C + D}{2} \quad , \text{ no caso de CLB2;}$$

$$\hat{Y} = \frac{A + B}{2} \quad , \text{ no caso de CLB3;}$$

$$\hat{Y} = \frac{A + B + C + D}{4} \quad , \text{ nos casos de CLB1 e CLB4.}$$

Pode-se dizer que, de maneira geral, este método apresenta resultados, visualmente superiores em relação aos outros métodos vistos anteriormente. Entretanto, uma ligeira melhora, em alguns casos, pode ser obtida através de outro método chamado "teste 2", descrito a seguir (Lima, 1979).

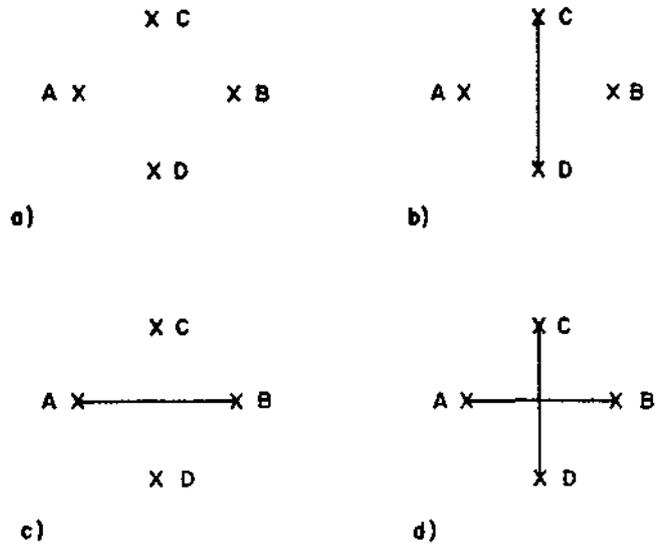


Fig. 6 - Configuração locais de bordas (CLB).

- a) CLB1 - "zona uniforme"
- b) CLB2 - "borda vertical"
- c) CLB3 - "borda horizontal"
- d) CLB4 - "zona conturbada"

- . Consideram-se os elementos de A a L, conforme assinalado na Figura 7.
- . Determinam-se os elementos de borda verticais (EBV) e horizontais (EBH) entre os elementos de imagens de A a L, do mesmo modo que no caso anterior; nota-se que há um máximo de 7 EBV ou EBH para cada grade considerada.
- . O elemento ausente \hat{Y} é reconstituído por:

$$\hat{Y} = \frac{A + B}{2}$$

, se a somatória dos EBHs for maior que a somatória dos EBVs;

$$\hat{Y} = \frac{C + D}{2}$$

, se a somat6ria dos EBHs for menor que a dos EBVs;

$$\hat{Y} = \frac{A + B + C + D}{4}$$

, se a somat6ria dos EBHs for igual 6 somat6ria dos EBVs.

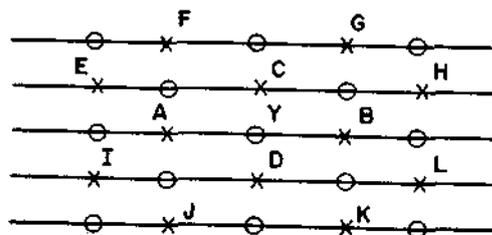


Fig. 7 - Grade de elementos de imagem, com elementos de A a L.

4. COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO

O princ6pio b6sico consiste em aplicar uma transformac6o linear 6 imagem, ou ent6o a uma janela⁴ da imagem, de maneira a deixar os coeficientes mais importantes da imagem transformada concen

⁴ Em geral as janelas utilizadas t6m dimens6es $N \times N$, onde $N=2^q$ e q inteiro >1 .

trados próximos a um ponto definido (por exemplo: centro da imagem transformada). A transformação deve ser tal que, uma vez aplicada sua inversa, a imagem original possa ser reconstituída. A transformação em si não representa compressão da imagem, mas pode-se obter compressão devido ao fato de os coeficientes menos significativos da imagem transformada conterem pouca informação, sendo portanto necessário um menor número de bits por coeficientes e, em alguns casos, ser possível a eliminação de alguns coeficientes. A Figura 8 mostra um esquema geral de codificação por transformação.

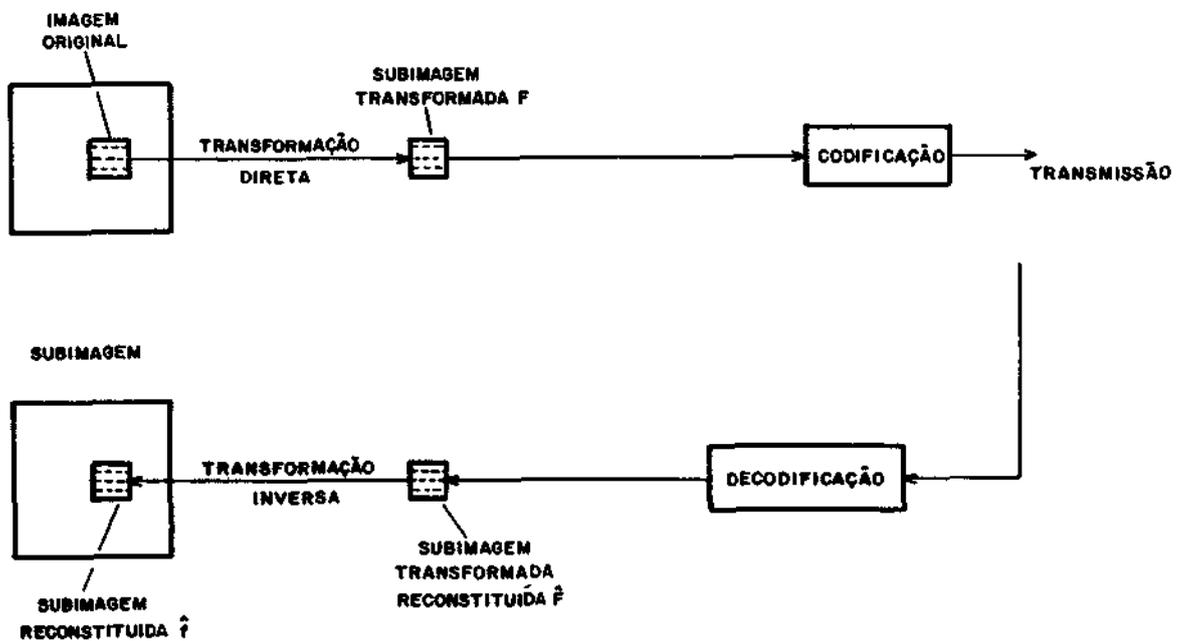


Fig. 8 - Esquema geral de codificação por transformação.

Para explorar satisfatoriamente as correlações espaciais e segundo conceito estatístico, é desejável que o tamanho da janela seja grande (Netravali and Limb, 1980); entretanto, para facilitar a implementação e minimizar o tempo de processamento e armazenamento dos dados na memória, no caso de processamento por computador, é conveniente que o tamanho da janela seja pequeno. Uma solução razoável é ter, por exemplo, uma janela de dimensão 16×16 elementos (Pratt, 1978).

Dentre as possíveis transformações, apenas as separáveis simétricas e as ortogonais são apresentadas.

Dada uma transformação:

$$R(u,v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) a(x,y,u,v) \quad (1)$$

ela é considerada separável se $a(x,y,u,v) = a'(x,u) \cdot a''(y,v)$ e, em particular, se $a'(x,u) = a''(y,v)$ então chamada separável simétrica. Observa-se que, neste caso, a transformada $F(u,v)$ pode ser obtida por duas aplicações sucessivas da transformação unidimensional sobre as linhas da subimagem e, em seguida, sobre as colunas(ou vice-versa).

Escrevendo a Equação 1 sob a forma matricial, obtêm-se:

$$F_{N \times N} = A_{N \times N} \cdot f_{N \times N} \cdot A_{N \times N}$$

Uma transformação é chamada ortogonal se sua matriz de transformação A é ortogonal, ou seja, se $A^{-1} = cA^T$, onde c é uma constante; é o caso das transformações vistas rapidamente a seguir.

1) Transformação de Hadamard.

A transformação de Hadamard é definida pela expressão:

$$H(u,v) = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} [b_i(x)p_i(u) + b_i(y)p_i(v)]}$$

onde $n = \log_2 N$; $b_i(z)$ representa o i -ésimo bit na representação binária de z ; e os $p_i(z)$ são obtidos a partir dos $b_i(z)$ da seguinte forma:

$$p_0(z) = b_{n-1}(z), p_1(z) = b_{n-1}(z) + b_{n-2}(z), \dots, p_{n-1}(z) = b_1(z) + b_0(z).$$

Embora a definição pareça complicada, a matriz de transformação é obtida de maneira simples, e os coeficientes de $a_p(x, y, u, v) = 1/N^2 a(x, y, u, v)$ valem sempre +1 ou -1. Este fato significa que as operações matemáticas reduzem-se a adições e subtrações (Pratt and Andrews, 1969), A Figura 9 apresenta a decomposição de uma subimagem sobre uma base de subimagens elementares para uma transformação de Hadamard 4 x 4 elementos.

A subimagem será recuperada pela transformação inversa:

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} H(u,v) (-1)^{i=0} \sum_{i=0}^{n-1} [b_i(x)p_i(u) + b_i(y)p_i(v)]$$

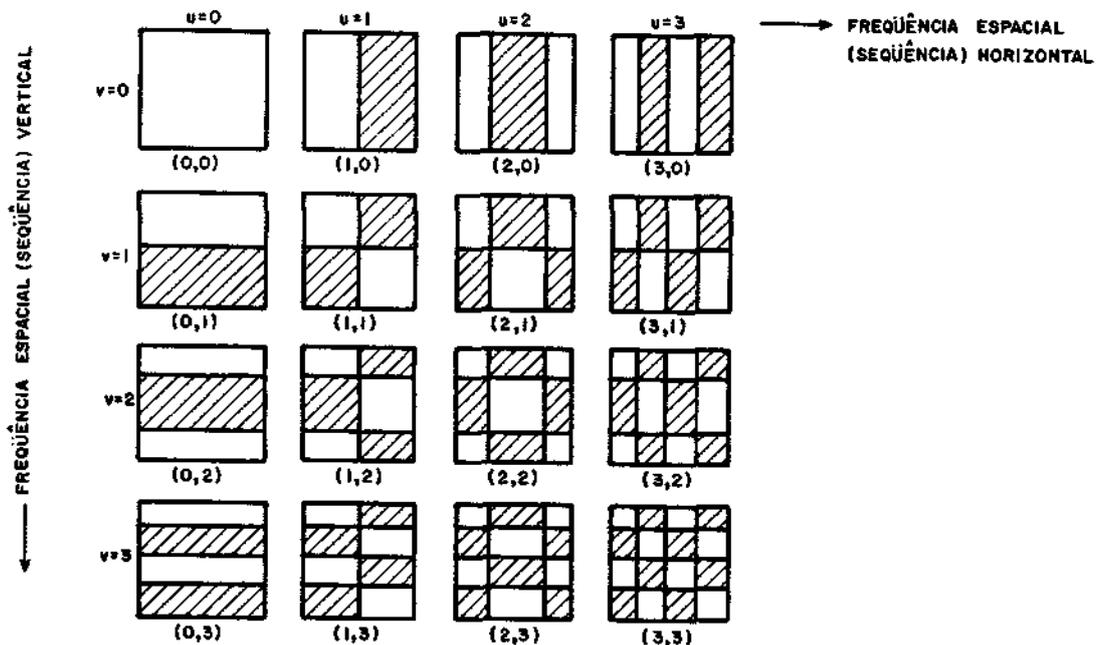


Fig. 9 - Subimagens de base de uma transformação de Hadamard 4x4 elementos.
(branco=+1, hachurado=-1)

2) Transformação co-seno discreta.

A transformação co-seno discreta tem o corpo unidimensional definido por:

$$a'(x,u) = \frac{1}{N}, u=0,$$

$$a'(x,u) = \frac{\sqrt{2}}{N} \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right], u \neq 0.$$

Em relação à transformada de Hadamard, a transformada co-seno apresenta uma complexidade um pouco maior devido às operações matemáticas que, no caso, envolvem multiplicações de co-seno em vez de simples adições e multiplicações (Ahmed et alii, 1974; Chen and Smith, 1977). Entretanto, a transformada co-seno concentra melhor os coeficientes mais significativos em torno da imagem.

4.1. CODIFICAÇÃO DOS COEFICIENTES

Uma das maneiras de selecionar os coeficientes a serem transmitidos consiste em:

- a) determinar, inicialmente, as propriedades características da imagem a ser transmitida através de um conjunto de imagens com características próximas às dela e;
- b) determinar os coeficientes que, em média, são os mais significativos.

O procedimento seguinte é transmitir (ou armazenar) apenas os coeficientes mais significativos desprezando os outros que, na recepção, são substituídos por zeros para a reconstituição da imagem. Isto corresponde a determinar uma zona no plano transformado, dentro da qual os coeficientes são transmitidos e, fora dela, eles são descartados. Pode-se verificar facilmente que este método não é ótimo, pois subimagens particulares podem ter coeficientes de grande valor

fora da zona escolhida a priori. Este método é conhecido como *filtragem por zona*.

Neste trabalho foram utilizadas duas codificações nas quais se tentou explorar as características gerais de imagens (definição da zona no plano transformado) procurando minimizar o efeito do erro de arredondamento (Lima, 1983). A disposição dos bits, associados aos coeficientes da transformada, apresenta-se nas Figuras 10 e 11. Em todos os casos tem-se 1 bit para o sinal de coeficiente, 2 bits para a parte fracionária (que pode assumir portanto quatro valores: 0; 0,25; 0,5 e 0,75) e o restante para a parte inteira. Os demais coeficientes são descartados.

10	10	8	8	8	8	8	8	5	5	5	5	5	5	5	5
10	8	8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	8	6	6	4	4	4	4								
8	6	6	4	4	4	4									
8	6	4	4	4	4										
8	4	4	4	4											
8	4	4	4												
8	4	4													
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														

Fig. 10 - Codificação de coeficientes I: 54 "bytes" por janela de 16 x 16 elementos, com 1,6875 bits/elemento.

10	10	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6
10	8	8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	6	4	4	4	4	4	4	4	4						
8	4	4	4	4	4	4	4	4	4						
8	4	4	4	4	4	4	4								
8	4	4	4	4	4	4									
6	4	4	4	4	4										
6	4	4	4	4											
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												

Fig. 11 - Codificação de coeficientes II: 82 "bytes" por janela de 16 x 16 elementos, com 2,5625 bits/elemento.

5. COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO E INTERPOLAÇÃO

Neste caso, a idéia é combinar as duas técnicas apresentadas, de maneira a obter maior compressão. Para tal, na Figura 12 adota-se a seguinte estratégia: tomam-se amostras na imagem original, na razão de 2:1 e, em seguida, adota-se o mesmo procedimento da compressão por transformação. Na reconstrução da imagem, após a transformação inversa, utiliza-se um método de reconstituição (vizinho mais próximo, "teste 2", ou outro).

Observa-se que neste caso a taxa final de bits por elemento é igual à metade da compressão por transformação simples. Para exemplificar, toma-se uma imagem 512 x 512 elementos. No caso de transformação simples, a imagem é subdividida em 1024 subimagens de 16 x 16 elementos (32 subimagens por bloco de 16 linhas). No caso de transformação após amostragem, obtêm-se 512 subimagens (16 subimagens por bloco de 16 linhas). Pode-se observar também que o tempo de processamen

to é consideravelmente reduzido, pois a parte mais custosa (transformação e transformação inversa) é reduzida à metade.

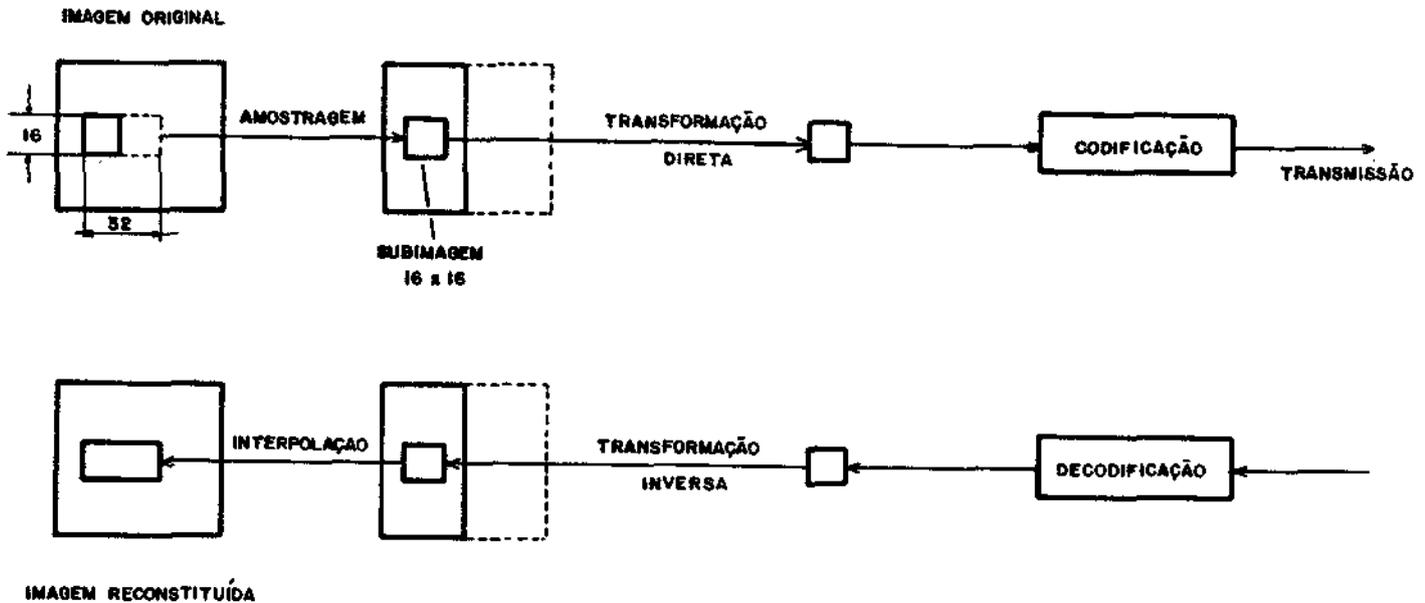


Fig.12 - Esquema geral de compressão por transformação e interpolação.

6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram efetuados utilizando uma imagem LANDSAT, órbita 234, ponto 26, passagem de 27 de julho de 1978 sobre a fazenda Mutum no Mato Grosso do Sul, imagem esta já utilizada em experimentos anteriores no INPE (Hernandez Filho et alii, 1981).

Em todos os casos as imagens foram comprimidas através da utilização conjunta de transformação e interpolação. Vale lembrar que as imagens MSS-LANDSAT têm quatro bandas espectrais, chamadas bandas 4, 5, 6 e 7, ou seja, uma *imagem* na verdade é representada por quatro imagens (componentes). Portanto, para a compressão das imagens comprime-se cada uma de suas componentes. Por uma questão de praticidade não são mostradas neste trabalho todos os componente mas a *compo*

sição colorida onde se faz a associação da banda 4 com a cor azul (como ponente B do monitor RGB), banda 5 com verde (G) e banda 7 com verme lho (R).

A composição colorida correspondente à imagem tomada como padrão é apresentada na Figura 13 (8 bits por elemento).

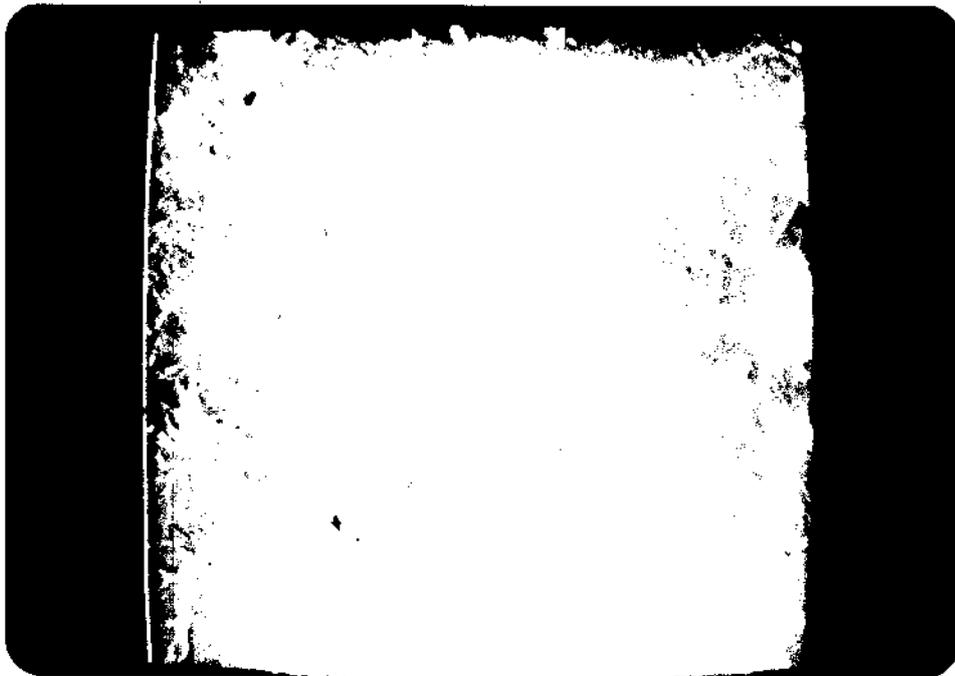


Fig. 13 - Imagem original, composição colorida.

De acordo com os métodos propostos optou-se para a com pressão, pela transformada co-seno com as codificações sugeridas nas Figuras 10 e 11 e pela interpolação, segundo o método "teste 2". O li miar escolhido foi de 18. As imagens resultantes apresentam:

$$\frac{54 \times 8 \text{ (bits/janela)} \times 512 \text{ (janelas)}}{512 \times 512 \text{ (elementos)}} \approx 0,85 \text{ bits/elemento}$$

e

$$\frac{82 \times 8 \text{ (bits/janela)} \times 512 \text{ (janelas)}}{512 \times 512 \text{ (elementos)}} \approx 1,28 \text{ bits/elemento}$$

segundo as configurações das Figuras 10 e 11, respectivamente. As imagens comprimidas são apresentadas nas Figuras 14 e 15.

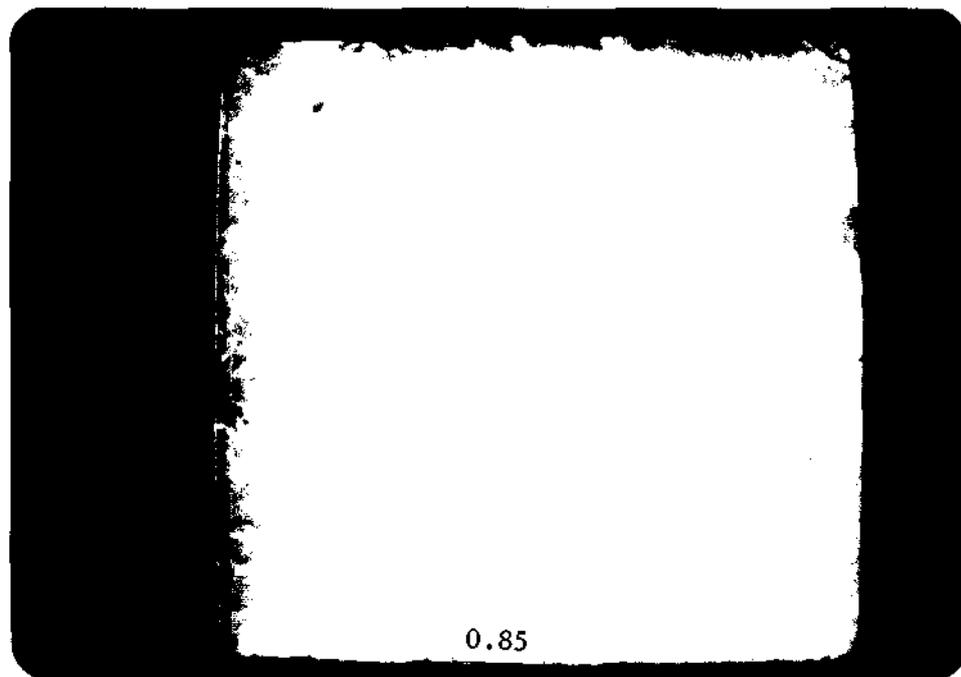


Fig. 14 - Imagem comprimida por transformação (co-seno) e interpolação, composição colorida, 0,85 bits por elemento.

Através das fotografias apresentadas pode-se fazer uma análise visual das imagens comprimidas. Entretanto, procurou-se utilizar as imagens comprimidas para classificação por algoritmo de máxima verossimilhança (Velasco et alii 1979), com o intuito de comparar as

classificações obtidas a partir de imagens comprimidas com a classificação obtida com base na imagem original. No método de classificação por máxima verossimilhança tomam-se amostras em regiões da imagem onde há algum conhecimento a respeito das *classes* que compõem a imagem (áreas de treinamento). Tomaram-se amostras em cinco classes: eucalipto, eucalipto novo, solo preparado, solo exposto, cerrado (Hernandez et alii, 1981). Os dados sobre as classes nas imagens original e comprimidas são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.



Fig. 15 - Imagem comprimida por transformação (co-seno) e interpolação, composição colorida, 1,28 bits por elemento.

TABELA 1

IMAGEM ORIGINAL

NÚMERO DE CLASSE	CLASSE	NÚMERO DE PONTOS	NÍVEL DE CINZA MÉDIO DAS AMOSTRAS			
			BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
1	Eucalipto	720	18,81	15,23	48,88	58,00
2	Eucalipto novo	252	24,03	30,79	53,62	55,35
3	Solo Preparado	504	24,29	35,54	39,80	37,79
4	Solo Exposto	572	22,71	24,84	42,42	44,92
5	Cerrado	1144	20,25	16,96	33,18	38,11

TABELA 2

IMAGEM COMPRIMIDA COM 0,85 BITS/ELEMENTO

NÚMERO DA CLASSE	CLASSE	NÚMERO DE PONTOS	NÍVEL DE CINZA MÉDIO DAS AMOSTRAS			
			BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
1	Eucalipto	720	18,86	15,09	48,69	57,75
2	Eucalipto Novo	252	24,00	30,36	53,61	55,38
3	Solo Preparado	504	24,35	35,47	40,39	38,33
4	Solo Exposto	572	22,76	24,84	42,30	45,14
5	Cerrado	1144	20,13	17,07	33,13	38,13

TABELA 3

IMAGEM COMPRIMIDA COM 1,28 BITS/ELEMENTO

NÚMERO DA CLASSE	CLASSE	NÚMERO DE PONTOS	NÍVEL DE CINZA MÉDIO DAS AMOSTRAS			
			BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6	BANDA 7
1	Eucalipto	720	18,90	15,13	48,83	57,98
2	Eucalipto Novo	252	24,08	30,32	53,66	55,42
3	Solo Preparado	504	24,36	35,91	40,15	37,99
4	Solo Exposto	572	22,77	24,88	42,36	45,10
5	Cerrado	1144	20,07	16,99	33,23	38,15

A partir das amostras escolhidas foram obtidas as matrizes de classificação para as áreas de treinamento. Estas matrizes apresentam de forma sucinta o resultado da classificação de áreas conhecidas. Os erros cometidos ao classificar incorretamente pontos de identidade conhecida permite estimar os erros de classificação da imagem total. Nas Tabelas 4, 5 e 6 são apresentadas as matrizes de classificação para a imagem original e para as imagens comprimidas. Os valores indicam a porcentagem de elementos pertencentes às classes predeterminadas (áreas de treinamento) segundo a classificação feita pelo algoritmo de máxima verossimilhança. N indica a porcentagem de elementos não-classificados como pertencentes às classes escolhidas.

As fotos com os resultados visuais das classificações são apresentadas nas Figuras 16, 17 e 8. A classe 1 (eucalipto) aparece em verde, a classe 2 (eucalipto novo) em laranja, a classe 3 (solo preparado) em azul, a classe 4 (solo exposto) em amarelo, a classe 5 (cerrado) em roxo e os elementos não classificados em preto. Foi utilizado o limiar de classificação 5 (Velasco et alii, 1979).

TABELA 4

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO - IMAGEM ORIGINAL

RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO CLASSE DA AMOSTRA	N	1	2	3	4	5
1. Eucalipto	0,1	98,5	0,6	0,0	0,8	0,0
2. Eucalipto Novo	0,0	0,0	99,6	0,0	0,4	0,0
3. Solo Preparado	0,2	0,0	0,2	98,8	0,0	0,8
4. Solo Exposto	0,2	0,3	1,6	0,5	97,2	0,2
5. Cerrado	0,1	0,0	0,0	0,3	0,9	98,8

Desempenho médio: 98,5 %

Abstenção média : 0,1 %

Confusão média : 1,4 %

TABELA 5

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO - IMAGEM COMPRIMIDA COM 0,85 BITS/ELEMENTO

RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO CLASSE DA AMOSTRA	N	1	2	3	4	5
1. Eucalipto	0,0	98,9	0,6	0,0	0,6	0,0
2. Eucalipto Novo	0,0	0,0	98,8	1,2	0,0	0,0
3. Solo Preparado	0,2	1,2	0,0	97,4	0,0	1,2
4. Solo Exposto	0,0	0,0	0,0	3,5	96,5	0,0
5. Cerrado	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	99,4

Desempenho médio : 98,4 %

Abstenção média : 0,1 %

Confusão média : 1,5 %

TABELA 6

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO - IMAGEM COMPRIMIDA COM 1,28 BITS/ELEMENTO

RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO CLASSE DA AMOSTRA	N	1	2	3	4	5
1. Eucalipto	0,6	98,8	0,3	0,0	0,4	0,0
2. Eucalipto Novo	0,0	0,0	99,2	0,8	0,0	0,0
3. Solo Preparado	0,2	0,0	0,0	99,0	0,2	0,6
4. Solo Exposto	0,0	0,0	0,3	0,0	98,7	0,0
5. Cerrado	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	99,1

Desempenho médio: 99,1 %

Abstenção média : 0,2 %

Confusão média : 0,7 %

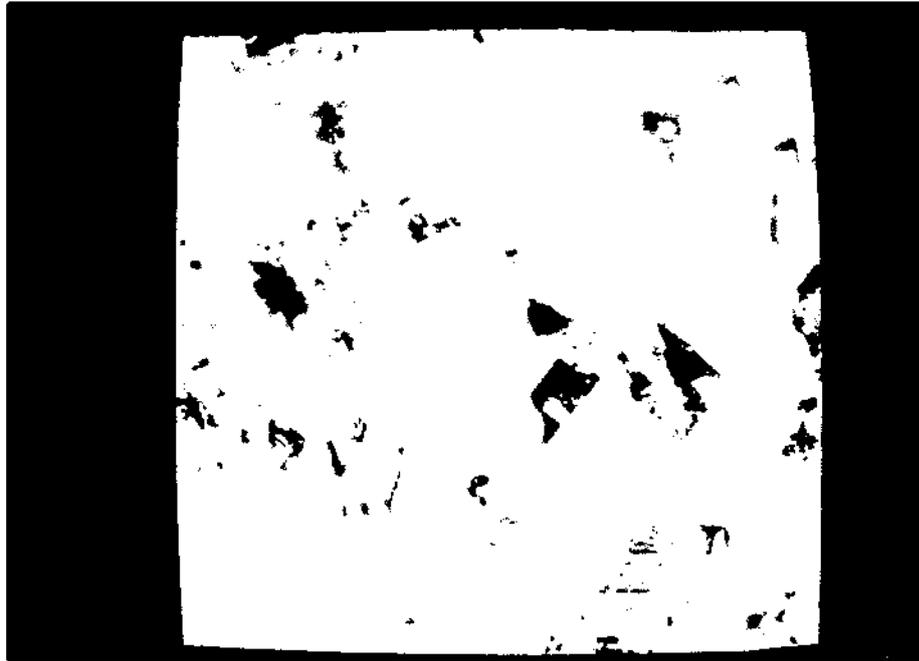


Fig. 16 - Imagem classificada a partir da imagem original.



Fig. 17 - Imagem classificada a partir da imagem comprimida com 0,85 bits/elementos.



Fig. 18 - Imagem classificada a partir da imagem comprimida com 1,28 bits/elemento.

Nas Figuras 19, 20, 21, 22 e 23 apresentam-se as classificações em superposição à imagem comprimida. As regiões assinaladas em laranja foram classificadas como pertencentes a uma dada classe (classe 1 na Figura 19, classe 2 na Figura 20, classe 3 na Figura 21, classe 4 na Figura 22 e classe 5 na Figura 23), tanto na classificação feita a partir da imagem original como na classificação feita a partir da imagem comprimida com 1,28 bits/elementos, e os pontos em branco ou em cyan representam elementos classificados diferentemente nas duas imagens.



Fig. 19 - Classe 1 superposta à imagem comprimida.



Fig. 20 - Classe 2 superposta à imagem comprimida.

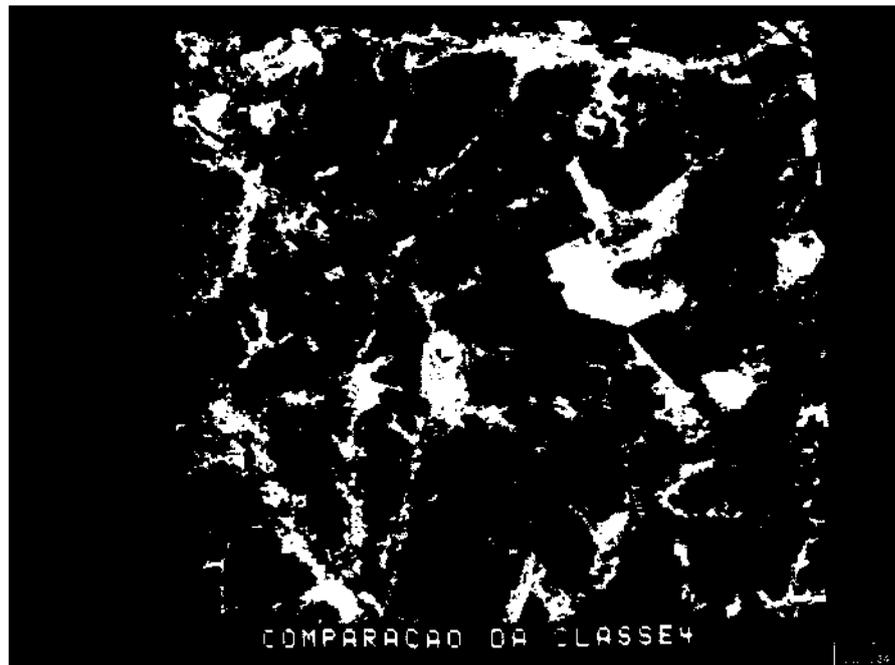


Fig. 21 - Classe 3 superposta à imagem comprimida.



Fig. 22 - Classe 4 superposta à imagem comprimida.



Fig. 23 - Classe 5 superposta à imagem comprimida.

7. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Neste trabalho visou-se a implementação de um método de compressão definido a partir de princípios distintos (transformação e interpolação) e sua utilização em imagens do tipo LANDSAT. Uma análise visual das imagens comprimidas permite dizer que os resultados são aceitáveis (visualmente) no caso de imagens com 1,28 bits por elemento, enquanto no caso de 0,85 bits por elemento as imagens apresentam degradações mais sensíveis, particularmente nas altas frequências espaciais (casos de rios, estradas, fronteiras de regiões, etc.).

Quanto às imagens classificadas, observa-se que o desempenho médio das classificações sobre as áreas de treinamento são bons. Convém lembrar que este desempenho quando a classificação é feita sobre áreas teste pode cair bastante (Dutra, 1982). observando as

Figuras 16, 17 e 18 nota-se que há um aumento da confusão entre as classes 2, 3 e 4. Entretanto, admitiu-se isto quando a imagem original foi utilizada em um estudo anterior (Hernandez Filho et alii, 1981). Se for feita uma análise das matrizes de classificação sobre as áreas de treinamento das imagens original e comprimida com 1,28 bits/elemento (Tabelas 4 e 6), observar-se-á que o desempenho da imagem comprimida é melhor que o da imagem original. Isto poderia levar a um questionamento do uso de imagem classificada a partir da original como padrão de comparação com classificações feitas a partir de imagens comprimidas.

Analisando as Figuras 19 a 23 observa-se que o maior número de classificações diferentes situam-se em fronteiras de regiões, o que era esperado por se tratar de altas frequências espaciais. Convém lembrar que não foi feito um estudo mais detalhado da codificação de coeficientes no caso específico de imagens amostradas em ziguezague. Isto talvez pudesse diminuir um pouco esse efeito.

Outro problema a ser considerado é o de limiar usado no teste 2. Em estudos anteriores, Lima (1979) utilizou um limiar que representava 10% do máximo valor do nível de cinza da imagem (Keskes et alii, 1979). Entretanto, obtiveram-se melhores resultados com o limiar 18 do que com o 25 (10% de 255). Isto certamente é devido ao fato de que as imagens LANDSAT em geral não cobrem a faixa completa de níveis de cinza. Assim, um estudo mais detalhado sobre o limiar, levando em conta histogramas, típicos de imagens LANDSAT, deveria ser feito até mesmo no caso do limiar de classificação do algoritmo de máxima verossimilhança.

Concluindo, este trabalho mostrou a viabilidade da utilização de imagens LANDSAT comprimidas, ainda que alguns estudos mais conclusivos devam ser feitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, N.; NATARAJAN, T.; RAO, K.R. On image processing and a discrete cosine transform. *IEEE Transactions on Computers*, C-23(1): 90,93, Jan. 1974.
- CHEN, W.H.; SMITH, C.H. Adaptive coding of monochrome and color images. *IEEE Transactions on Communications*, COM-25(11): 1285-1339, Nov. 1977.
- DUTRA, L.V. *Extração de atributos espaciais em imagens multiespectrais*. São José dos Campos, INPE, Fev. 1982 (INPE-2315-TDL/078).
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; MEDEIROS, J.S.; SANTANA, C.C.; ALVES, E.C.M. *Relatório das atividades do projeto IBDF/INPE (subprojeto reflorestamento) durante o ano de 1979*. São José dos Campos INPE, Ago. 1981. (INPE-2196-PRE/005).
- KESKES, N.; KRETZ, F.; MAITRE, H. Statistical study of edges in TV pictures. *IEEE Transactions on Communications*, COM-27(8): 1239-1247, Aug. 1979.
- KRETZ, F.; SABATIER, J. Echantillonnage des images de télévision: analyse dans le domaine spatio-temporel et dans le domaine de Fourier. *Annales des Télécommunications*, 36(3-4): 231-273; mai / avr 1981.
- LIMA, U.M.B., *Sous-échantillonnage d'images de télévision et reconstitution*. Thèse de Docteur Ingénieur. Rennes, Université de Rennes, 1979.
- *Compressão de imagens digitais por transformação*. São José dos Campos, INPE, set. 1983 (INPE-2893-PRE/412).
- NASA. GSFC - *Data users handbook*, Greenbelt, 1970.
- NETRAVALI, A.N.; LIMB, J.O. Picture coding: a review. *Proceedings of the IEEE*, 68 (3): 366-496, Mar. 1980.
- PRATT, W.K. *Digital image processing*. New York, Wiley, 1978.

PRATT, W.K.; ANDREWS, H.C. Hadamard transform image coding.

Proceedings of the IEEE, 57(1): 58-68, Jan. 1969.

VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: manual de descrição de programas*. São José dos Campos, INPE, Jun. 1979. (INPE-1499-RPI/004).