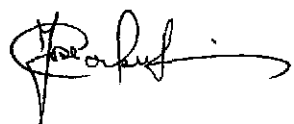
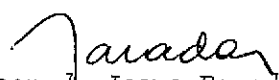


1. Publicação nº <i>INPE-3001-MD/024</i>	2. Versão	3. Data <i>Fev., 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DDS/DIM</i>	Programa <i>TRANSF</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>IMAGENS</i> <i>TRATAMENTO AUTOMÁTICO</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5</i>			
8. Título <i>TRATAMENTO AUTOMÁTICO DE IMAGENS</i>		10. Páginas: <i>56</i>	
		11. Última página: <i>47</i>	
9. Autoria <i>Marx Prestes Barbosa</i>		12. Revisada por  <i>José Carlos Moreira</i>	
Assinatura responsável <i>Marx Prestes Barbosa</i>		13. Autorizada por  <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <p><i>O tratamento automático de imagens digitais por computador tem o objetivo de auxiliar o elemento humano na interpretação das informações contidas nestas imagens. Contudo, para que se tenha uma boa razão custo/efetividade, o usuário precisa conhecer todo o sistema de aquisição de dados e seus produtos, pois o computador é um mero instrumento de trabalho, programado para manipular dados a partir de objetivos determinados pelo usuário. Conhecendo bem todo o sistema, o usuário poderá atingir resultados significativos na sua interpretação dos dados, desde que também tenha razoáveis conhecimentos de sua região de trabalho. Desta maneira, praticamente todo o trabalho do tratamento automático de imagens digitais por computador é interativo e a interpretação dos novos produtos, a avaliação e decisão dos resultados alcançados são realizados pelo usuário do sistema. Este trabalho visa dar aos usuários potenciais uma visão geral do tratamento automático.</i></p>			
15. Observações			

ABSTRACT

The objective of the automatic treatment of digital imageries by computer is to aid the human element in the interpretation of information from these imageries. However, in order to obtain a good ration cost/effectivity, the user needs to know all the data acquisition system and its products, because the computer is a mere instrument, programmed to manipulate data according to objectives fixed by the user. When the user has a good information about the system, he can attain significant results in his data interpretation, if he has also a good information about his region of work. In the automatic treatment of digital imageries by computational system, there is an interaction with the user, and the interpretation of the new products and the analysis and decision about the results are accomplished by the user of the system. This work aims to give the potential users a general view of the automatic treatment.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
LISTA DE TABELAS	<i>vii</i>
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS (L.T.I.D.)</u>	2
3. <u>VISÃO GERAL DO "SOFTWARE"</u>	9
3.1 - Sistemas	9
3.2 - Programa de Entrada e Saída (E/S)	11
3.3 - Programas especiais	11
4. <u>FILOSOFIA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA I-100</u>	15
4.1 - Exame e inspeção da imagem	17
4.2 - Opções de pré-processamento	17
4.2.1 - Programa ruído	17
4.2.2 - Programa correção radiométrica	18
4.2.3 - Programa correção atmosférica	19
4.2.4 - Aumento de contraste	19
4.2.5 - Filtragem digital	20
4.2.6 - Relação (razão) entre canais	22
4.2.7 - Realce de imagem	26
4.2.8 - Extração e seleção de atributos	31
4.3 - Classificação de padrões	32
4.3.1 - Método do paralelepípedo	33
4.3.2 - Divisão em intervalos de intensidade	37
4.3.3 - Sistema MAXVER	37
4.3.4 - Algoritmo de classificação Média-K	42
5. <u>CONCLUSÕES</u>	44
6. <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	45

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Reflectância espectral de alvos naturais e canais MSS/LANDSAT	1
2 - Fracionamento da luz branca em suas cores individuais	2
3 - Esquema dos componentes do Sistema IMAGE-100	8
4 - Configuração de um sistema típico de análise de imagens ...	12
5 - Esquema simplificado da Unidade Digitalizadora de Entrada .	13
6 - Imagem do LANDSAT dividida em oitavos	14
7 - Apresentação do fluxo funcional do Sistema IMAGE-100 (Pro cessamento geral 1)	15
8 - Processamento geral 2	16
9 - Processamento geral 3	16
10 - Aumento de contraste linear: (A) função de transferência; (B) histograma original (a) e histograma transformado (b)..	20
11 - Efeito do relacionamento sobre as assinaturas com erros mu ltiplicativos	25
12 - Superposição de assinatura de uma cela simples	28
13 - Rotação espectral	29
14 - Redução de dimensionalidade	29
15 - Rotação e translação espectral	30
16 - Método do paralelepípedo: Histograma de área urbana (a) e vegetação (b)	34
17 - Aquisição de assinatura de cela única	34
18 - Funções de probabilidade e densidade definidas pelo classi ficador baseado na regra de decisão por máxima verossim lhança	38
19 - Funções de densidade de probabilidade de três classes em uma dimensão	39

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Configuração dos filtros bidimensionais curtos	22
2 - Fatores gerais que produzem variações nos dados característicos dos alvos	23
3 - Parâmetros da aquisição de assinatura de cela única, obtida no I-100 do INPE em 1981	36
4 - Exemplo de uma matriz de classificação para área de treinamento	41
5 - Exemplo de uma matriz de classificação para a área teste ...	42

1. INTRODUÇÃO

Os alvos naturais possuem comportamentos espectrais característicos segundo suas capacidades de refletir a energia radiante incidente sobre eles. No caso das imagens MSS/LANDSAT, as características espectrais são as medidas da luz refletida em vários comprimentos de onda. O conjunto de medidas em um comprimento de onda é denominado canal. A Figura 1 mostra a relação entre a reflectância dos alvos água, vegetação e solos, em relação aos 4 canais do MSS/LANDSAT.

A reflectância é a razão da energia refletida pela energia incidente sobre o corpo e caracteriza espectralmente cada alvo.

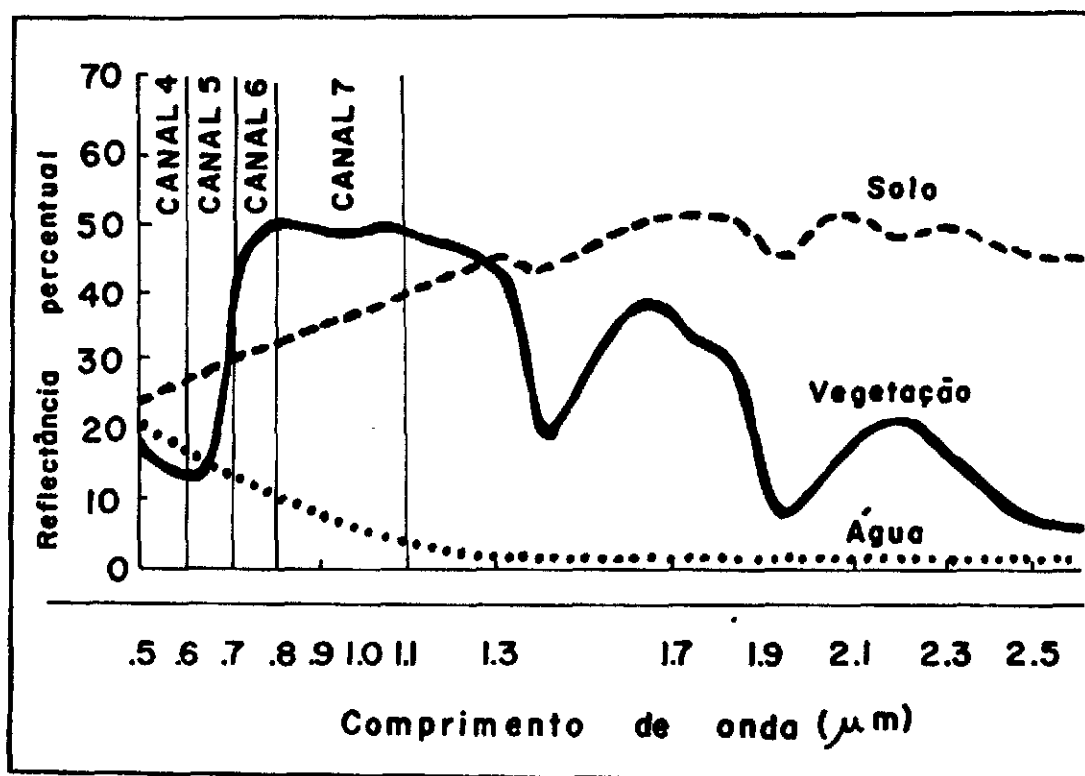


Fig. 1 - Reflectância espectral de alvos naturais e canais MSS-LANDSAT.

FORTE: Steffen e Souza (1980)

Os radiômetros imageadores registram não a reflectância mas a energia solar refletida (em valores absolutos) da superfície, abrangendo também as massas de ar entre o alvo e o sensor, i.e., eles registram a radiância dos alvos incluídos no seu campo de visada instantâneo (Steffen e Souza, 1980). Os sensores MSS/LANDSAT registram a radiância dos alvos na região dos comprimentos de onda que compõem a luz branca (Figura 2).

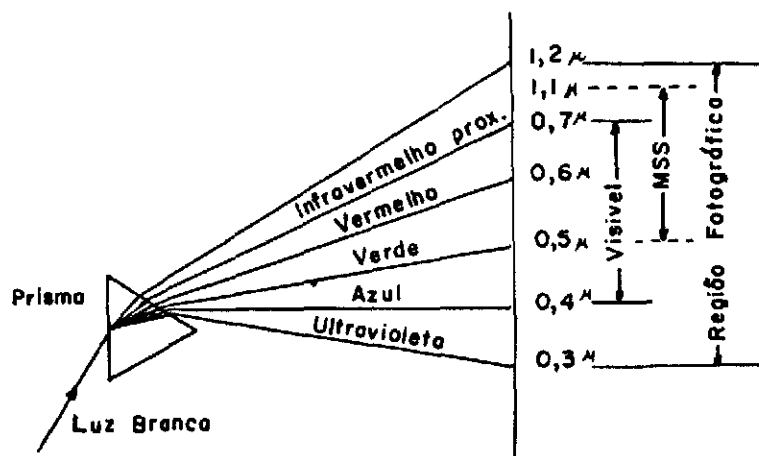


Fig. 2 - Fracionamento da luz branca em suas cores individuais.

- O espectro da luz branca corresponde a toda região fotográfica do espectro eletromagnético, a qual pode ser subdividida em três campos:
 - *Ultravioleta*: é um campo da luz branca não perceptível pelos órgãos de sentido.
 - *Visível*: é um campo da luz branca sensível ao olho humano. Os comprimentos de onda de aproximadamente 0,4 a 0,5 micrôn apresentam-se azuis; entre 0,5 e 0,6 micrôn, verdes; e entre 0,6 a 0,7 microns, vermelhos.
 - *Infra-vermelho próximo*: é um campo da luz branca sensível aos órgãos de sentido em forma de calor.
- O campo MSS indica a região da luz branca (ou a parte da região fotográfica) que é imageada pelo sensor multiespectral do satélite LANDSAT.

FONTES: Adaptado de Marchetti e Garcia (1978)

A radiância \hat{e} definida como fluxo radiante por unidade de \hat{a} rea projetada perpendicularmente ao rio (Marcarenhas Jr., 1974; Lapedes, 1978):

$$N = \frac{\rho E}{\pi}, \quad (1)$$

onde:

N = radiância ($w/m^2/sr$),

ρ = reflectância,

E = irradiância (w/m^2).

Por irradiância entende-se a energia total radiante incidente sobre uma superfície, por unidade de tempo, por unidade de \hat{a} rea irradiada (Mascarenhas Jr., 1974).

Segundo Steffen e Souza (1980) $\hat{n}\hat{o}$ \hat{e} dif \hat{c} il perceber que a radiância observada na imagem MSS/LANDSAT, sob a forma de n \hat{i} veis de cinza, pode apresentar varia $\hat{c}\hat{o}$ es devido \hat{a} s altera $\hat{c}\hat{o}$ es tanto na reflectância como na irradiância sobre o alvo, cujo valor depende entre outros fatores do \hat{a} ngulo (altura) solar.

Ainda segundo Steffen e Souza (1980) o n \hat{i} vel de cinza de cada ponto (pixel-picture element) da imagem MSS/LANDSAT corresponde ao valor da radiância do Elemento de Resolu $\hat{c}\hat{o}$ no Terreno (ERT* ou VIC-Vis \hat{o} Instant \hat{a} nea de Campo, segundo Garcia, 1982).

Para que um ponto se destaque dos demais \hat{e} necess \hat{a} rio que alguma caracter \hat{i} stica presente no ERT altere o valor em pelo menos

* O ERT possui o valor m \hat{e} dio 79 m \times 79 m.

uma unidade. Isto explica o fato de estradas e rios de dimensões menores que o ERT poderem ser detectados nas imagens MSS-LANDSAT.

Segundo Sabins Jr. (1978) as variações em intensidade da radiação eletromagnética em decorrência do terreno são comumente manifestadas como variações em brilho sobre as imagens em branco e preto, sendo que o brilho é uma grandeza da resposta produzida no olho humano pela luz e é uma sensação subjetiva que pode ser determinada somente por valores relativos. A luminescência é a medida quantitativa da intensidade de luz de uma fonte e é medida com o dispositivo chamado fotômetro. As variações de brilho podem ser calibradas através de uma escala de cinza.

Segundo Weiland (1979) a escala de cinza fornece a relação entre um nível de cinza sobre a imagem e a densidade do feixe de elétrons usada na exposição da imagem original. A densidade do feixe de elétrons é relacionada ao sinal do sensor e à voltagem, que por sua vez é relacionada à energia incidente sobre o sensor. O sinal analógico produzido pelos detetores MSS são digitalizados e formatados em um fluxo de dados de 15 "megabits" para a transmissão para a Terra (NASA, 1975; USGS, 1979).

Assim, pode-se definir uma imagem digital MSS como uma função bidimensional de intensidade luminosa $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas espaciais e f em qualquer ponto (x,y) é proporcional ao brilho ou ao nível de cinza da imagem naquele ponto. Uma imagem digital é uma imagem $f(x,y)$ discretizada tanto nas coordenadas espaciais quanto no brilho, ou seja, estas grandezas são assumem valores inteiros (Rosenfeld, 1969; Duda and Hart, 1973; Dutra et alii, 1981) e não-negativos, sendo razoável supor um limite superior M :

$$0 \leq f(x,y) \leq M. \quad (2)$$

Assim, considera-se que a função f tem somente uma série finita de valores, ou seja, que os níveis de cinza são quantificados.

Se se considerar a imagem digital como uma matriz, cada elemento da imagem será um elemento desta matriz, ou seja, os índices de linhas e colunas identificam especialmente um ponto, e o valor do elemento correspondente na matriz identifica seu nível de cinza. Embora o tamanho desta matriz possa variar, geralmente ela possui 512 linhas x 512 colunas, podendo cada elemento assumir 256 níveis de cinza (Dutra et alii, 1981).

Desta maneira, uma imagem digital pode ser representada por:

$$0 \leq x, y \leq N-1, \quad (3)$$

$$0 \leq f(x, y) \leq M-1, \quad (4)$$

onde:

N = Número de pontos (pixel) numa linha

M = Número de níveis de cinza possível.

Cada ponto (pixel) é representado por um "número digital" (ND) com altos valores que indicam os altos valores de reflectância do terreno.

No processamento digital as imagens MSS/LANDSAT são representadas por 3240 (pontos) x 2340 (linhas) elementos de imagem (uma única cena LANDSAT (composta de 4 canais) é representada por cerca de 30 milhões de pontos) e cada um destes elementos é um número entre 0 e 255, denominado nível de cinza que representa a reflectância de uma área "pixel" no terreno, que no caso do MSS/LANDSAT é de aproximadamente 56 m x 79 m (Sheffield, 1977).

Segundo Leberl et alii (1978) o processamento digital é realizado para:

- 1) a preparação, por computador, de imagens para a fotointerpretação visual;
- 2) a extração automática de informações usando imagens multiespectrais (MSS);
- 3) o reconhecimento automático de padrões.

Os métodos de processamento de imagem digital podem ser subdivididos em vários grupos. Goetz em 1975 (in Leberl et alii, 1978) usa os seguintes métodos:

- 1) retificação: eliminação de erros sistemáticos radiométricos e geométricos;
- 2) cosméticos: eliminação de ruídos ocasionais e defeitos;
- 3) análise de dados: extração de dados;
- 4) exibição: demonstração dos dados.

Um grupo similar de técnicas de processamento é usado por Pratt em 1978 (in Leberl et alii, 1978):

- 1) restauração;
- 2) realce;
- 3) análise;
- 4) codificação de imagem.

Assim, neste contexto, a classificação de imagens multiespectrais (MSS) é uma entre muitas técnicas de análise (Leberl et alii, 1978).

Segundo Leberl et alii (1978) é óbvio que os *agrônomos* tenham uma aspiração muito grande para a automatização das interpretações de rotina (principalmente pela classificação de padrões), pois eles se preocupam com fenômenos dinâmicos em intervalos frequentes de tempo. Já os *geólogos/planetólogos* estudam essencialmente fenômenos estáticos, onde a necessidade de automatização é obviamente menor e onde os resultados esperados podem ser mais difíceis de ser alcançados.

Segundo Holter et alii (1970) são quatro as principais características da radiação eletromagnética que podem ser empregadas no procedimento de classificação ou discriminação remota:

- 1) variação espectral: variação na radiação eletromagnética imageada, como função do comprimento de onda;
- 2) variação espectral: sombra, textura;
- 3) variações de polarização: diferentes e importantes características de polarização introduzidas pelos materiais na radiação refletida ou emitida;
- 4) variações temporais: existem 2 tipos de variações:
 - variações rápidas - podem causar o efeito Doppler;
 - variações lentas - diurnas, semanais, mensais, sazonais, anuais, etc.

Segundo Landgrebe em 1976 (in Simonetti and Lintz Jr., 1976) um grande esforço tem sido gasto na pesquisa básica e poucos métodos têm sido encontrados para a análise das cenas, de maneira que pudessem ser obtidos uma alta eficiência e um baixo custo do tratamento automático. Ainda segundo Landgrebe somente a variação espectral mostrou-se e mostra-se mais viável para a análise automática, tornando-se base do que hoje é chamado abordagem ou tratamento multispectral. A prática utilizada pelo tratamento numérico dos dados de sensoriamento

remoto tem sido o uso de variações espectrais como fator fundamental nas análises e posteriormente a adição de informações espaciais e temporais, como um procedimento desejável e permitido.

2. LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS (L.T.I.D.)

No Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) encontra-se em funcionamento um Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais IMAGE-100 (I-100) (Figura 3), produzido pela General Electric Co. (GE) e planejado para atender as necessidades do usuário com relação à extração de informações úteis de dados fornecidos por satélites ou aeronaves (Figura 2).

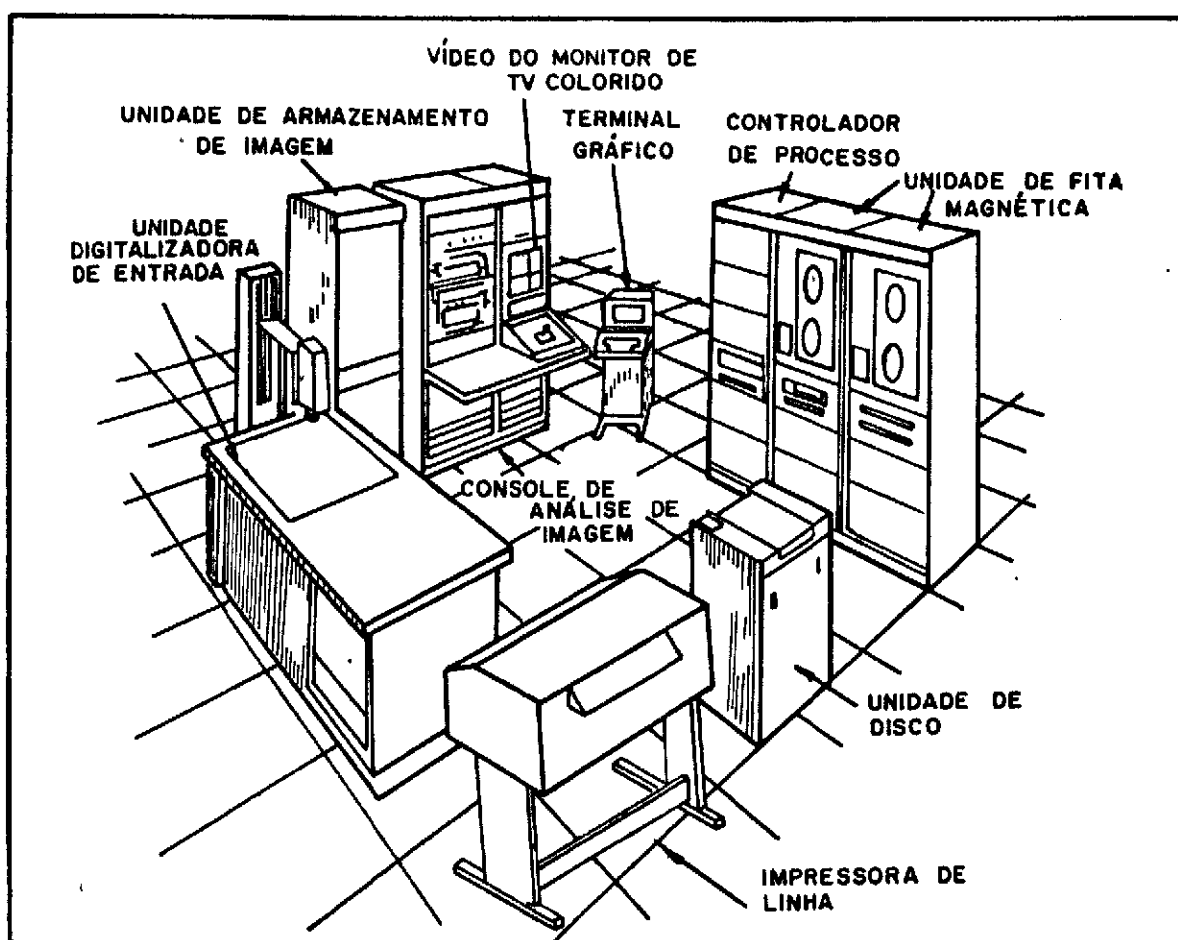


Fig. 3 - Esquema dos componentes do Sistema IMAGE-100.

FONTE: Ribeiro et alii (1980)

Segundo a GE (1975) a principal função do I-100 é a extração de informações temáticas de imagens multiespectrais e secundariamente operações de realce.

O I-100 opera baseado no princípio de que todos os objetos possuem características espectrais únicas, ou assinaturas. Ele utiliza esta qualidade particular dos diferentes objetos para analisar simultaneamente as assinaturas em várias faixas de frequência, ou comprimento de onda, e identificar áreas similares na imagem (Ribeiro et alii, 1980).

3. VISÃO GERAL DO "SOFTWARE"

No INPE o "software" utilizado no tratamento automático é composto por:

- Sistemas: conjuntos de programas - aplicação geral.
ex: IMAGE MAXVER
- Programas de entrada e saída (E/S) - interligação dos diversos elementos do I-100.
ex: DICOMED
- Programas especiais - aplicações específicas.

3.1 - SISTEMAS

Os sistemas são conjuntos de algoritmos que permitem as operações de realce e a extração de informações temáticas das imagens multiespectrais. São eles:

a) IMAGE

- Programas originais do I-100.
- Método do paralelepípedo (assinatura de cela única).

- Divisão em intervalos de intensidade (fatiamento).
- Aumento de contraste.
- Histograma.
- Ruído.
- Adições realizadas pelas equipes da Divisão de Processamento de Imagens e L.T.I.D. do INPE.
 - Área.
 - Escala.
 - Correção radiométrica.

b) MAXVER

- Classificação por máxima verossimilhança (Média K - agregamento).
- Procedimentos para:
 - aquisição de amostras,
 - classificação,
 - projeção de elipses, etc.
- Subsistema de 2 canais - para processamento mais rápido (2 canais - 64 níveis) - classificação por "table look-up".

c) SELATR

- Seleção e extração de atributos - a partir de N canais achar o melhor subconjunto de K canais.

d) REALCE

- Realce visual de imagens MSS/LANDSAT.
- Principais componentes.
- Análise canônica.
- Realce de contraste logarítmico.

e) FILTRO

- Filtros digitais a duas dimensões.

3.2 - PROGRAMA DE ENTRADA E SAÍDA (E/S)

São programas destinados à interligação dos diversos elementos do I-100.

- Rotina de entrada e saída.
- SMSQQ - carrega a imagem MSS/LANDSAT.
- TIROSN - carrega a imagem TIROS-N.
- E3DQIO - carrega a fita MSS/LANDSAT.
- DICOMED - é a interface entre o I-100 e o Dicomed.

3.3 - PROGRAMAS ESPECIAIS

São programas de aplicações específicas:

- Aplicações especiais:
 - ATMCOR - correção atmosférica.
 - GERCOR - geração de "cores falsas".
 - UNITEMAS - uniformização de temas.

Um sistema típico de análise de imagem pode ter a seguinte configuração (Figura 4).

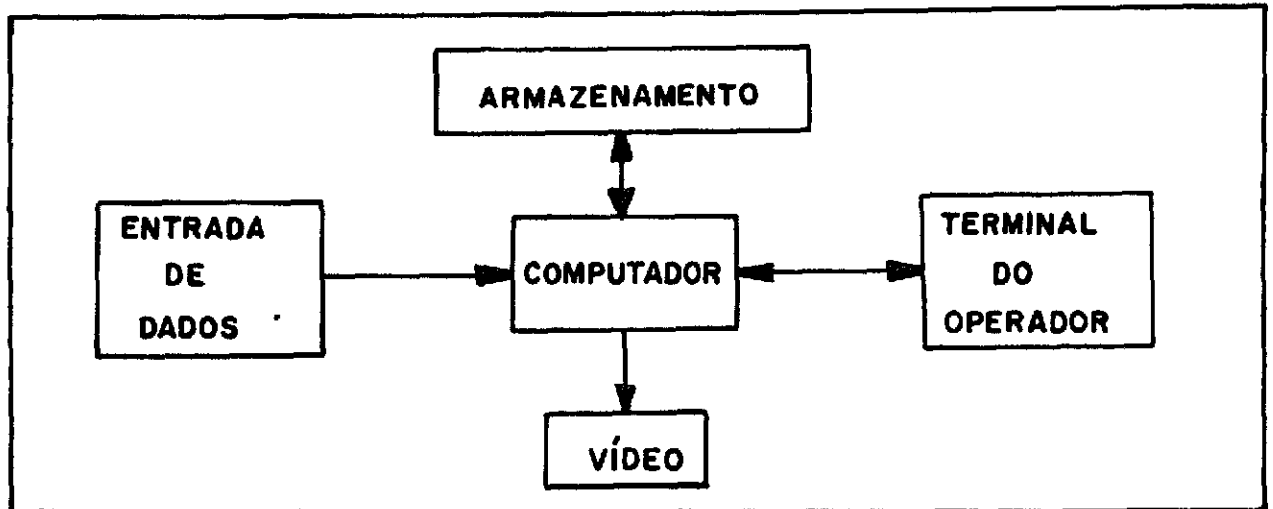


Fig. 4 - Configuração de um sistema típico de análise de imagens.

FONTE: Dutra et alii (1981)

A entrada de dados pode ser feita através de um digitalizador (Figura 5) ou então através de uma unidade de fita magnética (Figura 2).

Um digitalizador é um dispositivo que transforma a imagem fotográfica em uma sequência de números inteiros, cujos valores estão diretamente relacionados com a intensidade de luz naquele ponto da imagem. Este processo é chamado conversão de um sinal analógico para digital (Dugra et alii, 1981).

As fitas magnéticas, ou fitas CCT (fitas compatíveis com o computador), usadas pelo INPE, são gravadas no formato de 8 bits (0 a 255, ou seja, $2^8 = 256$ níveis diferentes de cinza, bits unidade de estado binário).

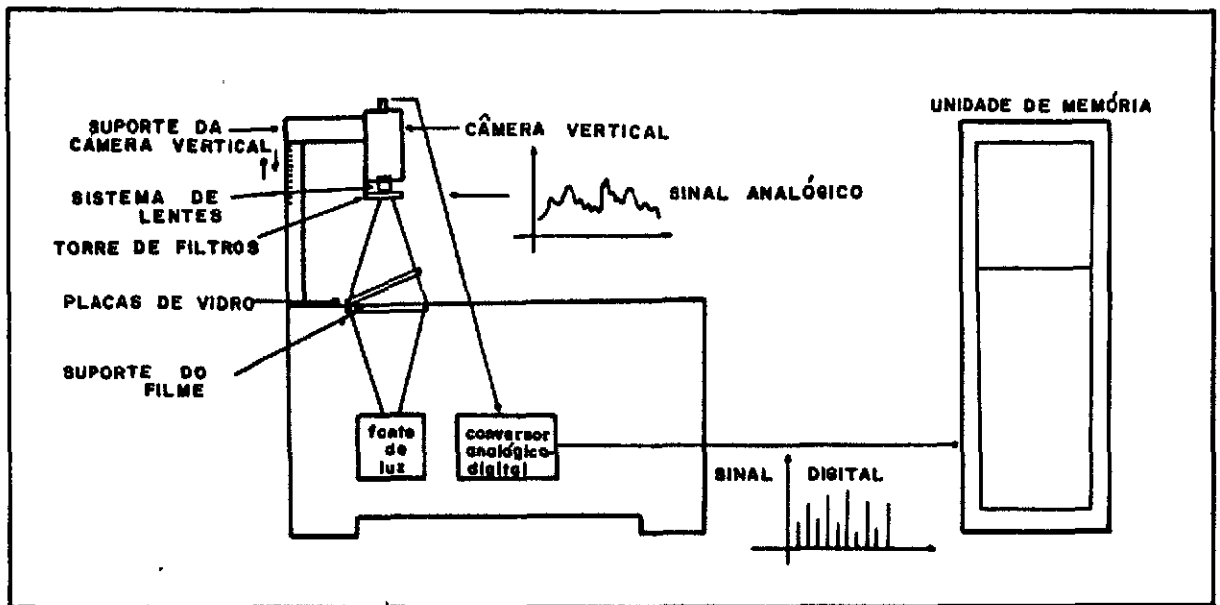


Fig. 5 - Esquema simplificado da Unidade Digitalizadora de Entrada.

FONTE: GE (1975)

Para efeito de armazenamento em fita pode-se dividir uma imagem em 8 partes, chamadas oitavos ou arquivo (Figura 6). Cada oitavo possui 432 pontos e tem uma área de sobreposição com o anterior de 34 pontos, ou seja, os últimos 34 pontos do oitavo de ordem n são iguais aos primeiros 34 pontos do oitavo $n+1$ (para $n \leq 7$), (Palestino, 1976).

Os oitavos são distribuídos em duas fitas magnéticas, de 1/2 polegada de largura, de 7 ou 9 trilhas, segundo a seguinte disposição:

- 1) Os oitavos 1, 3, 5 e 7 na fita nº 1 e os oitavos 2, 4, 6 e 8 na fita nº 2 (esta é a disposição mais frequente).
- 2) Os oitavos 1, 2, 3 e 4 na fita nº 1 e os oitavos 5, 6, 7 e 8 na fita nº 2.

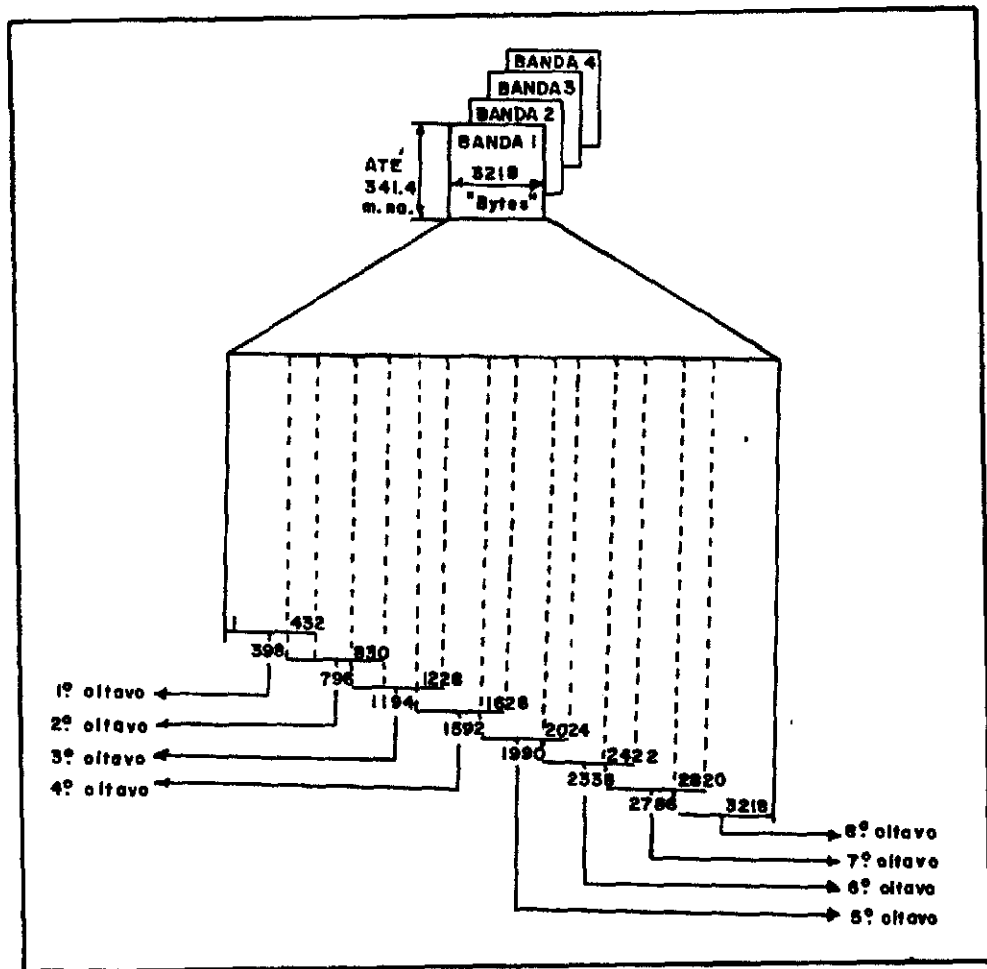


Fig. 6 - Imagem do LANDSAT dividida em oitavos.

FONTE: Palestino (1976)

Os oitavos, dentro de cada fita, constituem vários arquivos independentes:

- 1) Um registro de identificação de 40 "bytes".
- 2) Um registro de anotação de 340 "bytes".
- 3) Um registro de dados (n máximo = 2340) de 1784 "bytes".
- 4) Um registro de calibração de 56 "bytes".

O processamento é feito por um computador, auxiliado por seus periféricos, tais como um disco magnético para armazenamento de dados e um terminal ou console que permite a conversação com o sistema e seu controle (Dutra et alii, 1981).

O vídeo é constituído por um monitor de TV colorido, onde se pode observar a imagem sendo analisada.

4. FILOSOFIA DE OPERAÇÃO DO SISTEMA I-100

Dependendo da natureza da pesquisa a ser realizada as diversas fases do fluxo funcional do sistema I-100, que estão intimamente relacionadas, podem ter suas posições relativas alteradas ou mesmo omitidas. As Figuras 7, 8 e 9 mostram 3 tipos de processamento de trabalhos no I-100.

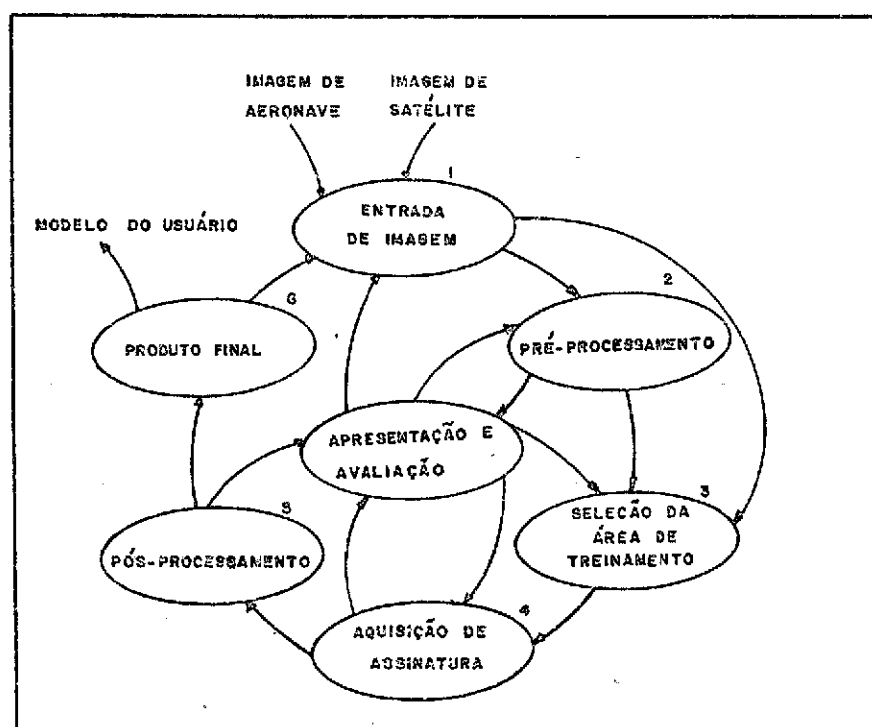


Fig. 7 - Apresentação do fluxo funcional do sistema IMAGE-100. (Processamento geral 1).

FONTE: GE (1975)

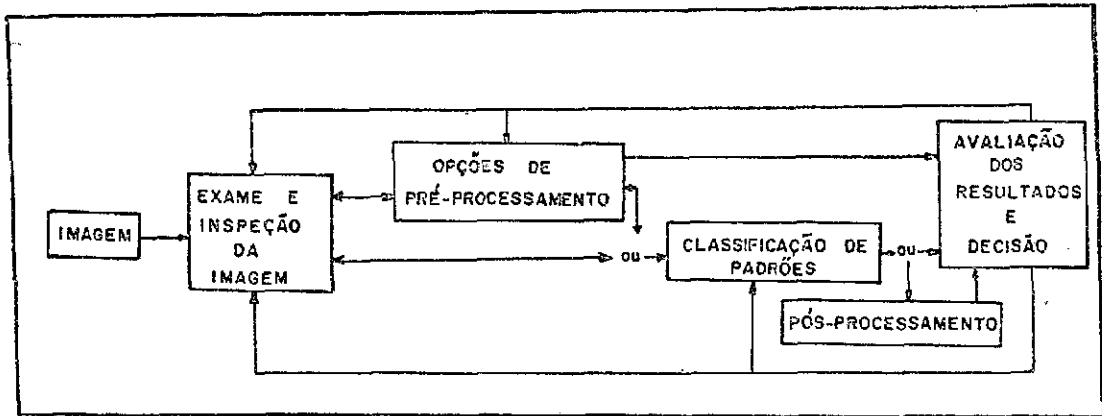


Fig. 8 - Processamento geral 2.

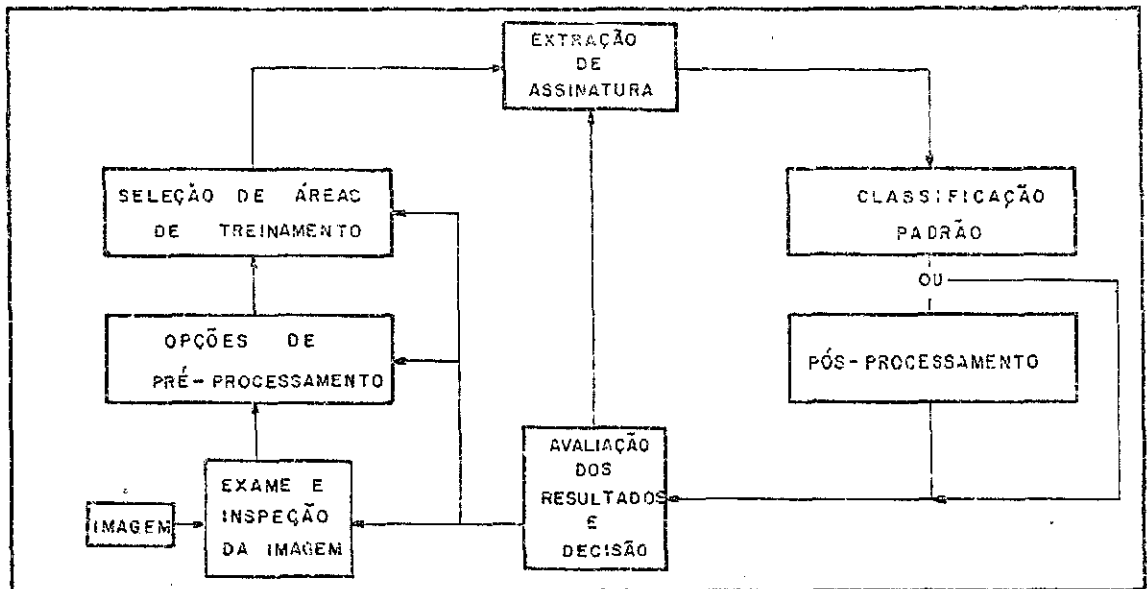


Fig. 9 - Processamento geral 3.

4.1 - EXAME E INSPEÇÃO DA IMAGEM

Nesta etapa faz-se um exame visual de imagem que está sendo apresentada no vídeo do I-100, com vistas em detectar possíveis defeitos (ruídos, erros).

Os pontos ruidosos têm nível de cinza muito acima ou muito abaixo do nível médio de sua vizinhança e decorrem de disfunções momentâneas nos equipamentos de aquisição de imagem. As ocorrências mais comuns são o ponto ruidoso e a linha ruidosa, quando se tem um trecho de linha claro ou muito escuro (Dutra et alii, 1981).

4.2 - OPÇÕES DE PRÉ-PROCESSAMENTO

Pré-processamento é uma atividade que permite manipular as informações para que se possa utilizá-las. Segundo a GE (1975) este procedimento é particularmente desejável, dado que não existe nenhum sistema de sensoriamento remoto que possa ser considerado completamente ótimo para todos os propósitos de análise de dados. Normalmente as funções de pré-processamento servem a mais de um propósito, ou seja, elas não se limitam a apenas transformar os dados brutos, contidos na imagem original, em uma forma que permite a exploração de todas as suas potencialidades, mas também melhoram a visualização da imagem para o usuário.

4.2.1 - PROGRAMA RUÍDO

Tem a finalidade de retirar o ruído pontual resultante de diferenças entre detetores. O LANDSAT varre com 6 detetores por canal, obtendo-se 6 linhas (uma linha por detetor). Se por exemplo houver um ganho maior ou menor no detetor 4, a linha 4 será defeituosa.

4.2.2 - PROGRAMA CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Corrige erros, ruídos, sem propagação de erro na imagem. A correção é feita através da média em torno de 5 pontos de uma linha, tomando-se a linha superior e a inferior:

$$\begin{array}{c} M_{ij-1} \\ \text{xxxxxOxxxxx} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} M_{ij} \\ \text{xxxxx\textcircled{0}xxxxx} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} M_{ij+1} \\ \text{xxxxxGxxxxx} \end{array}$$

onde:

\textcircled{0} - ponto central a ser corrigido,

M_{ij-1} - média da linha superior,

M_{ij} - média da linha do meio,

M_{ij+1} - média da linha inferior.

Assim, têm-se:

$$D_1 = M_{ij-1} - M_{ij} , \tag{5}$$

$$D_2 = M_{ij} - M_{ij+1} , \tag{6}$$

onde D_1 e D_2 são as diferenças das médias. Se D_1 ou D_2 for menor que um dado limiar, por exemplo 8, então o ponto ij novo será:

$$M_{ij}(\text{antigo}) (+) D .$$

O programa corrige "offsets" entre os detectores e corrige a linha toda ponto a ponto.

Outro tipo de correção efetuado pelo programa é a "remoção de bruma", ou seja, ele tenta eliminar os efeitos causados pela influência das massas de ar entre o alvo e o sensor no imageamento.

4.2.3 - PROGRAMA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Este programa corrige efeitos de "bruma" causados pelo espalhamento atmosférico, que é um efeito aditivo sobre o brilho da cena, através da transformação das radiâncias para condições padrão.

4.2.4 - AUMENTO DE CONTRASTE

Tem a finalidade de aumentar o contraste de uma imagem, fazendo-a ocupar toda a faixa possível de níveis de cinza do visualizador (estica os níveis de cinza de uma imagem, pois para obter uma imagem ótima é necessário utilizar toda a escala de nível de cinza: (0-255)). Existem três opções de uso:

- *Linear* - (comumente a mais usada) - o nível mínimo de cinza é levado ao extremo escuro, nível 0, e o nível máximo de cinza ao extremo claro, nível 255; todos os outros níveis da imagem são distribuídos linearmente entre 0 e 255 (Figura 10).

Sendo $f(x,y)$ a imagem original e $g(x,y)$ a imagem transformada, então têm-se:

$$g(x,y) = 0 \quad \text{para} \quad f(x,y) = a \quad (7)$$

$$g(x,y) = 255 \quad \text{para} \quad f(x,y) = b \quad (8)$$

$$g(x,y) = \frac{255}{a-b} \times (f(x,y) - a) \quad \text{para} \quad a < f(x,y) < b \quad (9)$$

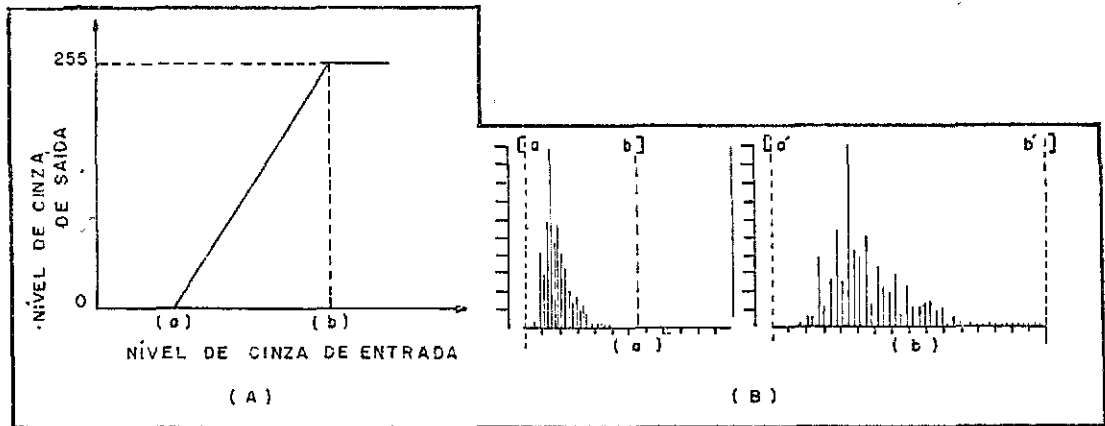


Fig. 10 - Aumento de contraste linear: (A) função de transferência; (B) histograma original (a) e histograma transformado (b).

FONTE: Dutra et alii (1981)

- *Raiz Quadrada* - São realçados os pontos ("pixel") de níveis mais baixos:

$$P_n = 10 \sqrt{P}, \quad (10)$$

onde: P_n = ponto (pixel) novo,

P = ponto (pixel) original,

Exemplo: Se $P = 4$, $P_n = 20$

Se $P = 100$, $P_n = 100$

- *Equidistribuição* - Tenta colocar um mesmo número de pontos ("pixels") em intervalos iguais do histograma.

4.2.5 - FILTRAGEM DIGITAL

É utilizada para ressaltar aspectos da imagem caracterizados pela existência de bordas, assim como o relevo que é caracterizado pelas transições de áreas sombreadas para áreas iluminadas, devido

ao ângulo do Sol, ou então às transições naturais como limites entre culturas agrícolas (Dutra et alii, 1981).

Operadores chamados filtros passa-altas e passa-baixas são aplicados às imagens para que as altas ou baixas frequências, respectivamente, sejam reforçadas, causando, nas imagens, efeitos que as tornam mais convenientes para suas interpretações visuais.

- *Filtro passa-baixas* – suaviza a imagem, ou seja, atenua as influências de processos ruidosos, tais como detetores defeituosos, erros de transmissão, pois o ruído é caracterizado por suas componentes de alta frequência, ou seja, sempre existe uma transição brusca num ponto de ruído.
- *Filtro passa-altas* – realça e detecta bordas. Os filtros de realce de borda chamados "bidimensionais curtos" são utilizados para realçar limites entre culturas, formas de relevo, estruturas geológicas como falhas, fraturas, lineamentos. Estes filtros são de três tipos (configurações diferentes) (Tabela 1) e realizam o realce da cena no sentido vertical (NS), horizontal (E-W), pelas diagonais (NE-NO) e isotropicamente. Segundo Dutra et alii (1981) deve-se ter cuidado em sua aplicação pois, quando a filtragem é forte e/ou quando em cima de uma filtragem são aplicadas técnicas de aumento de contraste, podem surgir, nas imagens, distorções que numa fotointerpretação podem influenciar negativamente no resultado.

TABELA 1

CONFIGURAÇÃO DOS FILTROS BIDIMENSIONAIS CURTOS

TIPO I	TIPO II	TIPO III
A B	D	D
A D B	A A A	A D A
D C D	B B B C B B B	B B B C B B B
B D A	A A A	A D A
B A	D	D

O Tipo I fornece realces pelas diagonais (NE e NO).

O Tipo II fornece realces vertical (NS) e horizontal (EW).

O Tipo III fornece realce isotrópico, vertical (NS) e horizontal (EW).

C - ponto ("pixel") central;

A,B,D - pontos ("pixels") conjuntos.

Os realces são efetuados através de atribuições de pesos: pesos positivos homogeneizam e pesos negativos realçam, por exemplo, para se obter um realce isotrópico com o filtro Tipo III devem-se atribuir valores positivos e baixos a A (A=1); valores negativos e baixos a B (B = -2); valores positivos a C (C=28); e valores negativos e baixos a D (D=-2).

4.2.6 - RELAÇÃO (RAZÃO) ENTRE CANAIS

A razão (divisão) de canais é feita para cada ponto ("pixel") através da divisão do número digital em uma banda pelo seu correspondente em outra banda:

$$R_c = \frac{c_k \cdot R_i}{c_k (R_i + 1)} = \frac{R_i}{R_i + 1} \quad (11)$$

onde:

R_c - valor corrigido da resposta espectral de um determinado alvo;

i - canal espectral (1, 2, 3, 4);

c_k - efeito multiplicativo (por exemplo: influência das condições de iluminação).

Este procedimento é um dos processos utilizados para a eliminação de fatores multiplicativos sobre dados característicos do alvo, quando os dados não apresentam fatores aditivos significativos (Tabela 2).

TABELA 2

FATORES GERAIS QUE PRODUZEM VARIAÇÕES NOS DADOS
CARACTERÍSTICOS DOS ALVOS

FATOR VARIÁVEL	CAUSAS E DEPENDÊNCIAS	TIPO DE FATOR	
		MULTIPLICATIVO	ADITIVO
Iluminação	Sombras, hora do dia, nuvens, etc.	X	
Transmitância	Altitude, nevoeiro, ângulo de varredura	X	
Reflectância	Ângulo de varredura, ângulo do Sol, espécies, maturidade, vigor	X	
Espalhamento atmosférico	Altitude, nevoeiro, aerossóis, ângulo do Sol		X
Ganho do sensor	Diferentes posições e composições, diferentes dias	X	
Ruído	Componente do sistema		X (principalmente)

FONTE: GE (1975)

Segundo a GE (1975) o motivo de utilizar os canais adjacentes, e não quaisquer canais para esta relação, é que os canais próximos espectralmente tendem a ser correlacionados, ou seja, as influências sofridas por eles tendem a ser semelhantes, permitindo a sua eliminação. Por exemplo, os canais 6 e 7 do infravermelho do LANDSAT são frequentemente bem correlacionados, o que não acontece quando se relacionam os canais 4 e 7, dado que o efeito sobre o canal 4 é muito diferente do efeito sobre o canal 7, não permitindo, portanto, a sua eliminação.

Na Figura 11 é apresentada uma interpretação geométrica deste procedimento segundo a GE (1975). A figura mostra que um material qualquer hipotético, com boa correlação entre os canais adjacentes R_1 e R_2 , pode ser definido por 3 assinaturas espectrais diferentes, devido à variação das condições e iluminação (desde o material iluminado diretamente pelo Sol até o material colocado na sombra). A aplicação dos dois canais pode transformar a assinatura original num conjunto de linhas retas a partir da origem com a inclinação de R_1/R_2 , descrevendo uma seção cônica. Nota-se que a magnitude ou intensidade do sinal foi eliminada. Neste caso, pode-se dizer que uma variação de tonalidade foi definida, sem restrição do conjunto de dados, sobre o brilho. Uma das vantagens deste procedimento é a redução do número de dimensões a ser trabalhadas, ou seja, uma imagem composta por 4 canais é reduzida para 3, diminuindo desta forma a sua dimensionalidade. Assim, sobra espaço para uma imagem adicional e/ou reduz-se o subsequente tempo de processamento (GE, 1975).

Uma das desvantagens deste procedimento é que, para dados não bem correlacionados, a seção cônica obtida pode cobrir grandes regiões do espaço de assinatura, aumentando desta forma a probabilidade de sobreposição de assinaturas entre materiais não-similares.

Uma outra finalidade é realçar alvos com comportamentos espectrais semelhantes em canais não-correlacionados, aumentando o contraste através do "ratio".

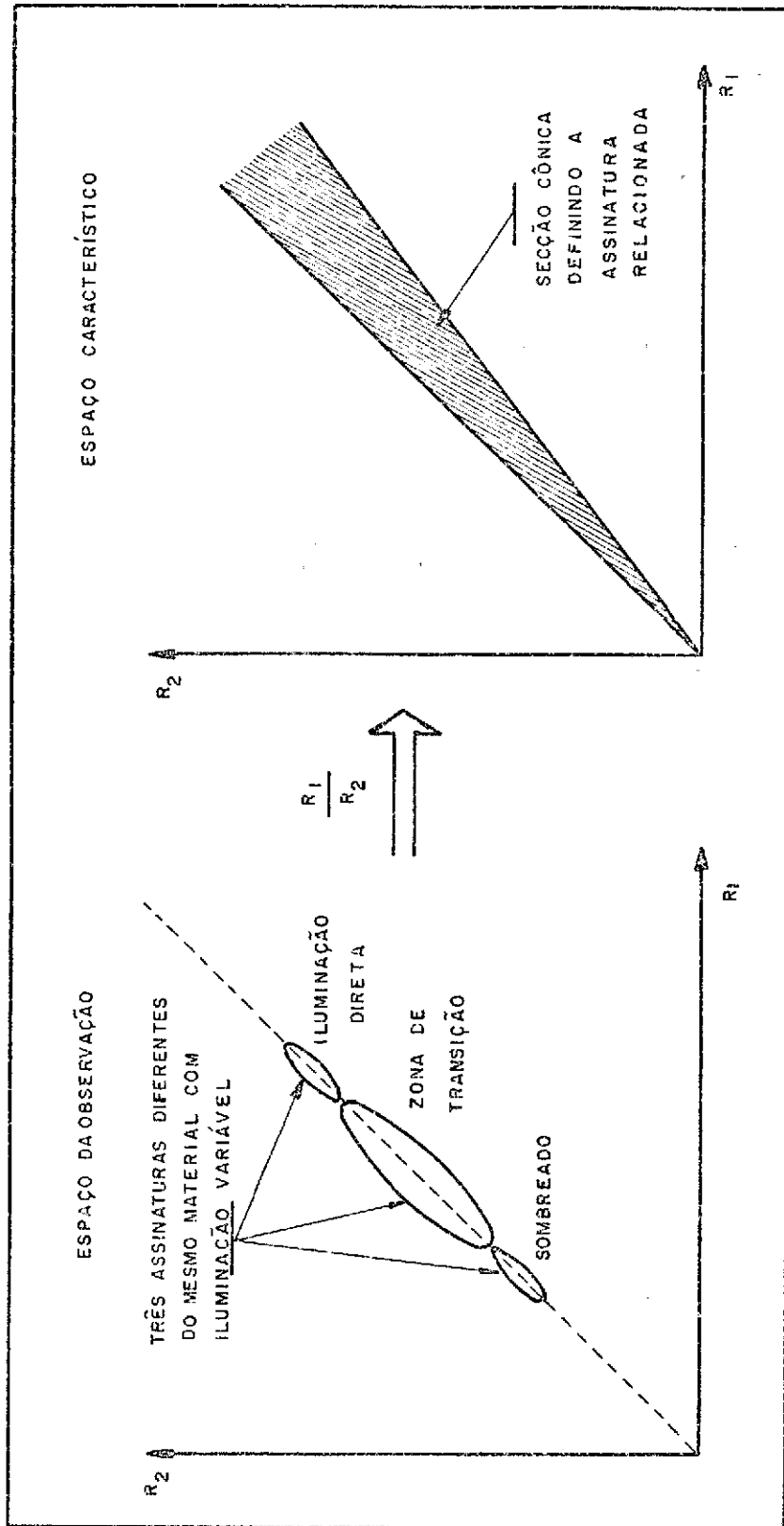


Fig. 11 - Efeito do relacionamento sobre as assinaturas com erros multiplicativos.

FONTE: GE (1975)

Além da divisão de canais adjacentes, existem ainda duas outras técnicas de relacionamento:

- Diferença de canais adjacentes pela sua soma (DIFF/SUM):

$$\frac{R_i - R_{i-1}}{R_i + R_{i-1}} + k, \quad (12)$$

onde k é um fator de polarização para que a expressão não gere valores negativos, conservando-os na faixa de 0 a 255, pois o sistema não pode admitir valores negativos.

- Razão de cada canal para a soma de todos os canais (este procedimento também é denominado normalização):

$$\frac{R_i}{\sum_{i=0}^R R_i} \cdot k \quad (13)$$

Estas duas técnicas oferecem capacidades adicionais para reduzir efeitos aditivos, mas são computacionalmente limitadas, pois seus valores variam de 0 a 1 (GE, 1975).

4.2.7 - REALCE DE IMAGEM

O Sistema Realce (ou rotação) utiliza transformações lineares e não-lineares para auxiliar a interpretação visual de dados MSS/LANDSAT, através dos seguintes programas:

- componentes principais,
- análise canônica,
- realce de contraste logarítmico.

- *Componentes principais* - Basicamente consiste na obtenção de novos canais sem informação redundante (não-correlacionáveis). Estes novos canais são obtidos por certas combinações lineares dos canais originais (transformação de Karhunen-Loeve ou análise de autovetores, ou ainda análise de fatores). Diversas razões motivam o usuário a utilizar esta capacidade de transformação:
 - a) aumento da separabilidade dos grupos de assinaturas pela aproximação da cela única;
 - b) redução da dimensionalidade;
 - c) melhoramento visual da imagem.

A rotação espectral procura resolver o problema da superposição de assinatura. (Figura 12), criando novos eixos que sejam aproximadamente ortogonais aos eixos principais e secundários (Figura 13).

Este aumento de capacidade de discriminar é particularmente eficiente quando os agrupamentos de assinaturas espectrais tendem a ser distribuídos radialmente, (isto é, ao longo de uma linha reta a partir da origem) e apresentam a forma elíptica (isto é, estatística gaussiana), o que normalmente ocorre. Em outras situações, em que estes aspectos não são característicos dos alvos, este aumento de capacidade pode não ocorrer ao se utilizar a rotação espectral (GE, 1975).

A rotação espectral pode também proporcionar uma redução no número de canais (dimensão) a ser utilizados para a discriminação de uma assinatura multiespectral. Um exemplo deste resultado pode ser observado na Figura 14, onde uma assinatura de forma elíptica para cuja descrição eram necessários dois canais, foi reduzida para um canal somente com a aplicação desta técnica.

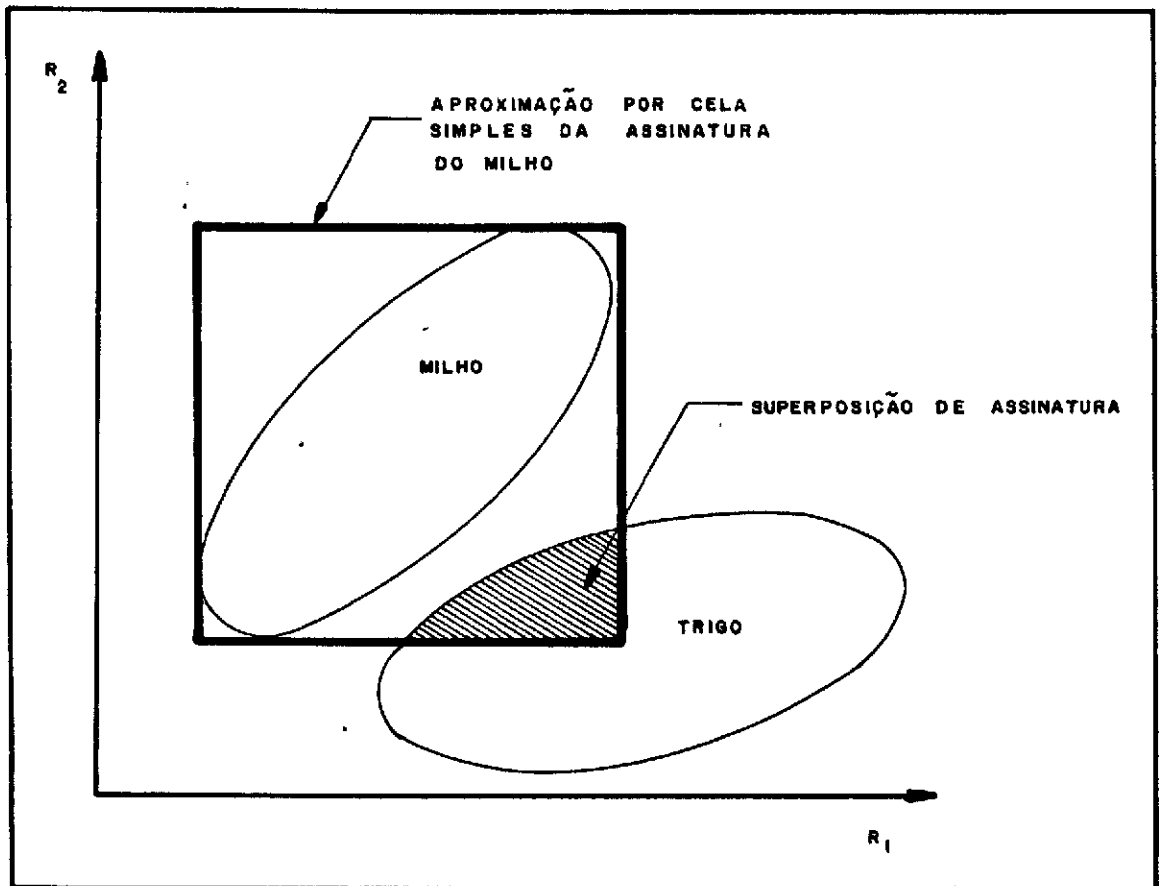


Fig. 12 - Superposição de assinatura de uma cela simples.

FONTE: GE (1975)

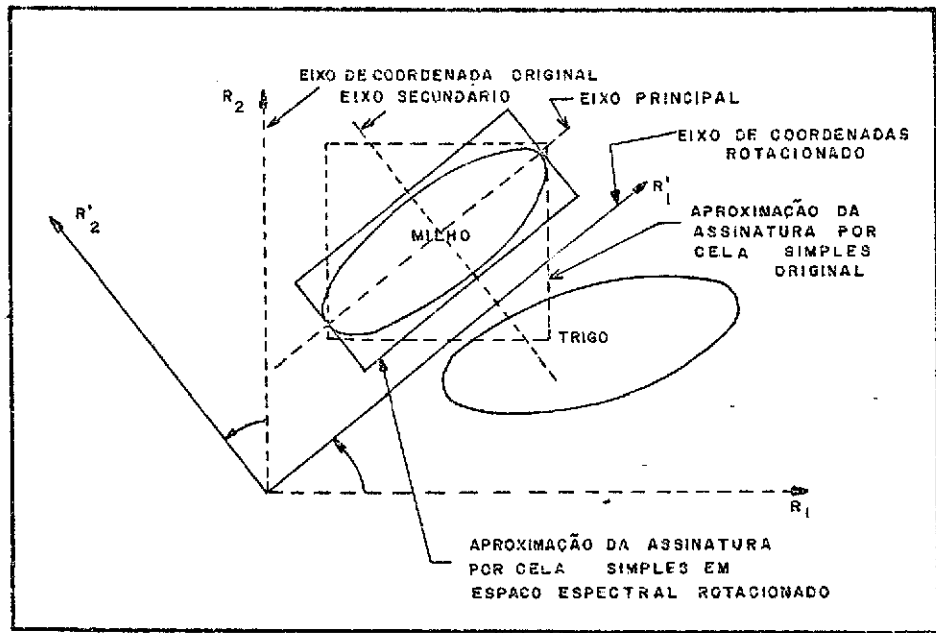


Fig. 13 - Rotação espectral.

FONTA: GE (1975)

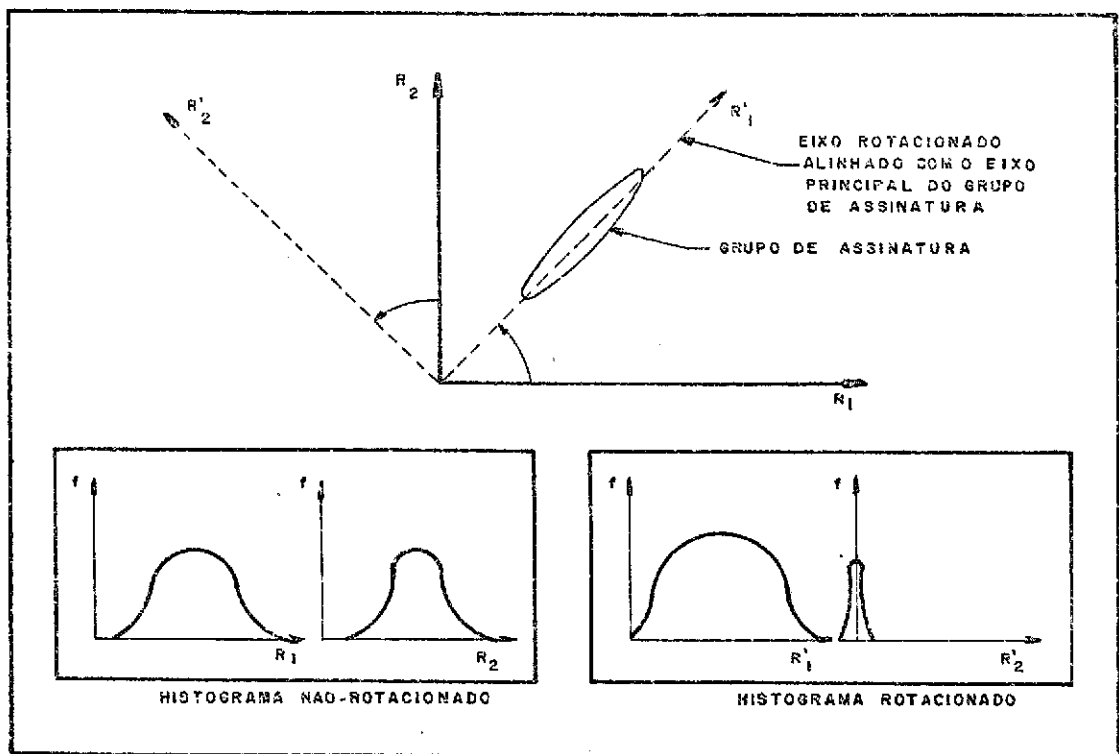


Fig. 14 - Redução de dimensionalidade.

FONTA: GE (1975)

No caso do MSS/LANDSAT, a redução de canais mostra que sua dimensionalidade intrínseca pode ser considerada 2, visto que nas duas principais componentes estão mais de 95 por cento das informações contidas nas quatro bandas originais.

O processo completo de transformação consiste em uma rotação espectral, como visto acima, seguido de uma translação espectral que permite o não aparecimento de valores negativos (Figura 15).

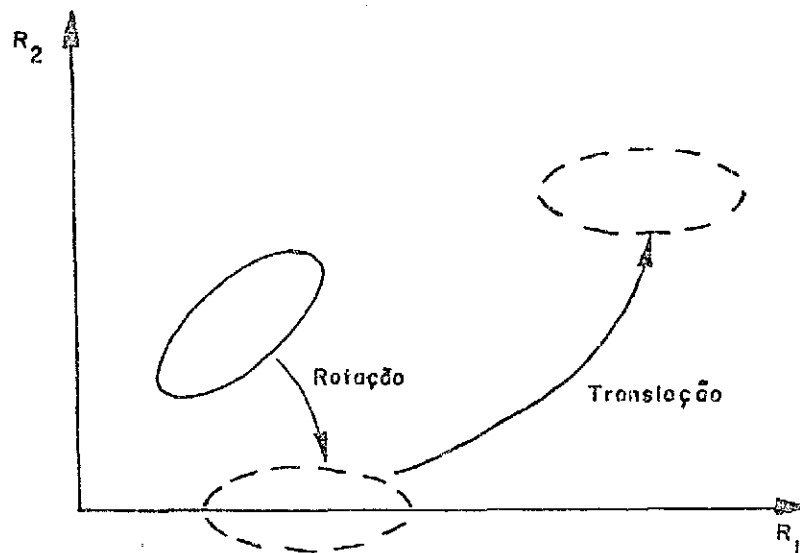


Fig. 15 - Rotação e translação espectral.

- *Análise canônica* - Determina a combinação linear dos quatro canais originais que forneça a melhor separação entre as classes de uma imagem. A análise canônica não garante a maximização da separação.
- *Realce de contraste logarítmico* - Realça as imagens levando em conta as propriedades do sistema visual humano, que tem uma resposta não-linear. Não separa as classes, mas melhora a imagem visualmente.

4.2.8 - EXTRAÇÃO E SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

Dado um conjunto de N canais achar o melhor subconjunto de k canais a ser utilizados para a classificação, os quais provêm de um compromisso ótimo entre precisão na classificação e tempo/custo computacional (Dutra et alii, 1981; Dutra, 1982).

Um atributo de imagem é uma propriedade que pode ser medida e divide-se em:

- a) atributos naturais que derivam de aparência visual da imagem como o nível de cinza, as bordas e a textura;
- b) atributos artificiais que são obtidos por manipulação e medidas na imagem, como o histograma e a frequência espacial (Dutra, 1982).

Em síntese, o algoritmo cria 12 novos canais a partir dos 4 canais originais do LANDSAT e são escolhidos os 4 "melhores" segundo a capacidade máxima de manipulação do analisador automático I-100 do L.T.I.D./INPE (Santos et alii, 1982).

No processo de extração de informação temática em muitos casos a separação de classes só é possível quando se leva em consideração a "textura" da imagem ou atributos espaciais (Dutra e Marcarenhas, 1980).

Uma das normas de extração de atributos espaciais é através de filtros espaciais (lineares e não-lineares), já que o conteúdo de frequência de uma imagem é uma forma de expressão do relacionamento espacial entre pontos ("pixel"), e os filtros podem ressaltar um ou outro aspecto desse relacionamento.

A seleção dos atributos dentre um grande número deles é necessária para diminuir os custos computacionais e garantir boa estimativa (Dutra e Mascarenhas, 1980).

Assim, o critério natural é a escolha do conjunto com a menor probabilidade de erro na classificação.

Todos os algoritmos utilizados no I-100 podem ser aplicados sobre as imagens isoladamente ou em conjuntos, mas sempre observando suas limitações. Por exemplo, pode-se aplicar um filtro digital e a seguir sobre a nova imagem o programa de aumento de contraste, e assim por diante.

4.3 - CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES

Tem a finalidade de classificar objetos da superfície terrestre que possuem padrões espectrais similares.

A extração de informações temáticas implementadas no I-100 do INPE pode ser realizada de duas formas: supervisionada e não-supervisionada.

A forma supervisionada difere da não-supervisionada pelo fato de as áreas de treinamento ser definidas pelo analista (Santos et alii, 1982).

Na forma supervisionada utilizam-se algoritmos de classificação do tipo:

- *Determinístico* - Método de Paralelepípedo (Dutra et alii, 1981) ou Aquisição de Assinatura de Cella Única (GE, 1975) e o Método de Divisão em Intervalos de Intensidade (Dutra et alii, 1981) ou "Grey Level Slicer" (GE, 1975).

- *Estatístico* - Classificador Bayesiano (Dutra et alii, 1981) ou Sistema MAXVER (Velasco et alii, 1979).

Na forma não-supervisionada é utilizado o algoritmo de agregamento Média-K (Hartigan, 1975); sua primeira fase de execução é do tipo determinístico e a segunda do tipo estatístico.

4.3.1 - MÉTODO DO PARALELEPÍPEDO

Consiste na aquisição de assinatura de cela espectral única (simples) que é realizada através de áreas de treinamento fornecidas pelo analista e identificadas pelo cursor da tela do I-100. A finalidade de utilização deste algoritmo é verificar o comportamento espectral de cada alvo de interesse contido em uma imagem em relação a seus vizinhos. O algoritmo fornece os histogramas do canal, com a possibilidade de modificar o limite inferior e/ou superior. Em princípio todos os pontos ("pixels") amostrados de uma determinada área de treinamento definem uma classe. Assim, os níveis de cinza compreendidos em um histograma caracterizam a classe através da assinatura espectral da cela única (Santos et alii, 1982). As Figuras 16 e 17 mostram a representação da assinatura em um histograma em 3 dimensões. Segundo Dutra et alii (1981) geralmente é válido supor que o histograma tenha uma distribuição gaussiana e, então, podem-se determinar alguns parâmetros estatísticos como média e variância, as quais identificam as áreas em estudo em cada canal. A média está associada ao brilho e a variância ao seu contraste.

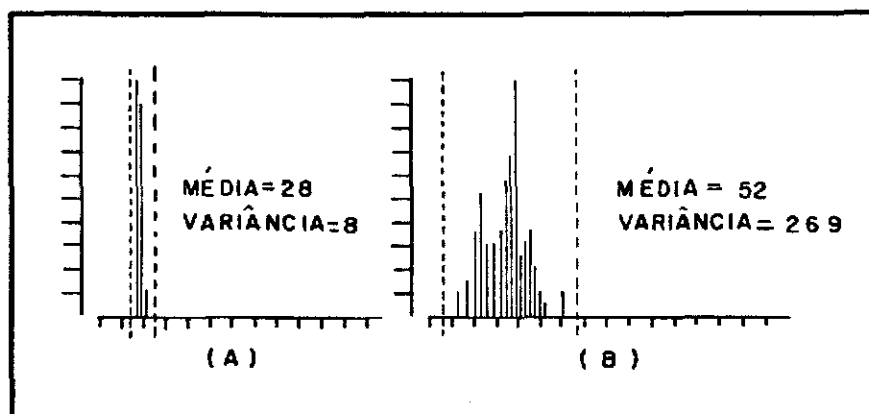


Fig. 16 - Método do paralelepípedo: Histograma de área urbana (a) e vegetação (b).

FONTE: Dutra et alii (1981)

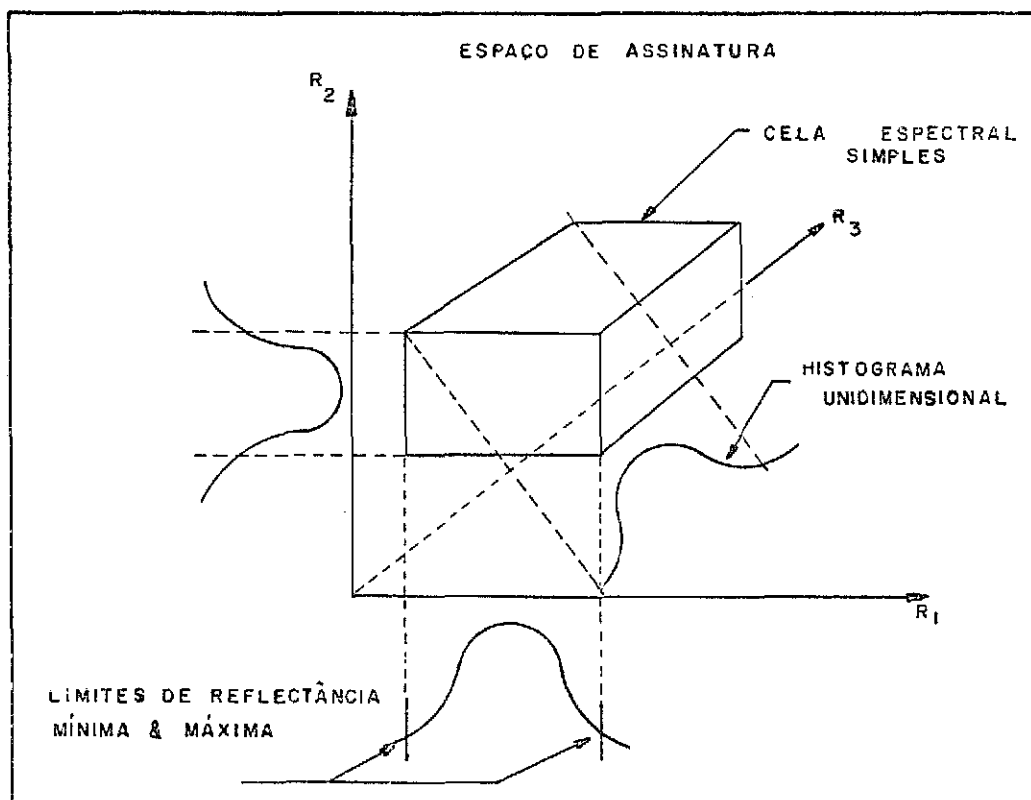


Fig. 17 - Aquisição de assinatura de cela única.

FONTE: GE (1975)

A média, ou valor médio do histograma, expressa em termos de resolução efetiva, é calculada como (GE, 1975).

$$m = \frac{\sum_{i=0}^R x_i p_i}{\sum_{i=0}^R p_i} \quad (14)$$

onde:

x_i = nível de cinza i ,

p_i = quantidade de "pixels" com o nível de cinza i ,

R = resolução efetiva (para a Figura 18, $R=256$).

A variância do histograma é também expressa em termos de resolução efetiva e é calculada como:

$$v = \frac{\sum_{i=0}^R x_i^2 p_i}{\sum_{i=0}^R p_i} - m^2 \quad (15)$$

A medida de desempenho ("Figure of Merit") é uma estatística calculada multiplicando conjuntamente os níveis de resolução efetiva R ("Finish Level") para todos os canais e dividindo o resultado pelo valor das celas de paralelepípedo, que é calculado pela multiplicação das amplitudes ("deltas") (GE, 1975). Para o exemplo da Tabela 3 a medida de desempenho é calculada por:

$$FM = \frac{256 \times 256 \times 256 \times 256}{10 \times 10 \times 12 \times 18} = 198.841 \quad (16)$$

Esta estatística fornece uma medida total no espaço de assinatura ocupado por uma assinatura de cela única; quanto menor o valor da medida de desempenho, maior a porcentagem de espaço que a assinatura ocupa.

TABELA 3

PARÂMETROS DA AQUISIÇÃO DE ASSINATURA DE CELA ÚNICA,
OBTIDA NO I-100 DO INPE EM 1981

1 - CELL SIGNATURE ACQUISITION - REV B						
EFFECTIVE BOUND-THRESHHOLDS (%) START FINISH						
CHANNEL	RESOLUTION	LOW	INC'D	HIGH	LEVEL	LEVEL
1	256	0.00	(100.00)	0.00	0	255
2	256	0.00	(100.00)	0.00	0	255
3	256	0.00	(100.00)	0.00	0	255
4	256	0.00	(100.00)	0.00	0	255
TRAINING IN PROGRESS						
TRAINING COMPLETE						
CHANNEL	SPECTRAL-BOUNDS	DELTA	PEAK	MEAN	VARIANCE	
1	(29-38)	10	16	32.89	2.49	
2	(16-25)	10	9	21.31	4.77	
3	(28-39)	12	10	32.94	8.16	
4	(41-58)	18	6	50.08	15.91	

TRAINING AREA = 36
 ALARMED AREA = 81.760 (31.5%)
 PARALIELEPIPED CELIS = 21.600
 FIGURE OF MERIT = 198.841

4.3.2 - DIVISÃO EM INTERVALOS DE INTENSIDADE

Este método divide o histograma de um determinado canal em diversos intervalos (fatias) de densidade de nível de cinza, associado a cada intervalo uma cor distinta ou um símbolo de uma impressora de linhas. O fatiamento é processado de tal maneira que não exista superposição dos níveis de cinza. Existem 3 opções deste método:

- *Normal* - o usuário fornece os limites superior e/ou inferior ou aceita o intervalo de níveis de cinza do histograma original. Após fornecer ao sistema o número do fatiamento (máximo 8) a imagem é dividida em intervalos igualmente espaçados e a cada intervalo é atribuída uma cor.
- *Equidistribuição* - o histograma do canal é dividido em uma tentativa de fazer com que o número de níveis de cinza em cada intervalo seja igual, ou seja, que a frequência de um determinado nível seja igual para todos os outros níveis de cinza.
- *Manual* - o usuário entra com os valores dos limites inferior e superior das classes. Estes valores podem ser obtidos através do Método do Paralelepípedo, da Análise de Agrupamento ou pelo Treinamento de um Único Ponto.

4.3.3 - SISTEMA MAXVER

O Sistema MAXVER destina-se à classificação ponto a ponto de imagens multiespectrais obtidas em geral de satélites (Velasco et alii, 1979).

O Sistema MAXVER é chamado supervisionado, pois em sua etapa inicial o analista fornece o número de classes e as áreas de treinamento de cada classe correspondente. Associa-se assim a cada padrão uma probabilidade de ele pertencer a cada uma das classes definidas, na fase de treinamento. As características estatísticas das classes

também são adquiridas no treinamento (Dutra et alii, 1981). Na etapa de classificação não existe interferência do usuário. O programa é baseado na regra de decisão por máxima verossimilhança, ou seja, a regra consiste em associar o padrão à classe para a qual ele tenha maior probabilidade de pertencer, tendo em vista as suas características ou atributos. Este processo minimiza a probabilidade de erro, ou seja, a probabilidade de que um padrão seja associado a uma classe que ele realmente não pertença (Figura 18 e 19).

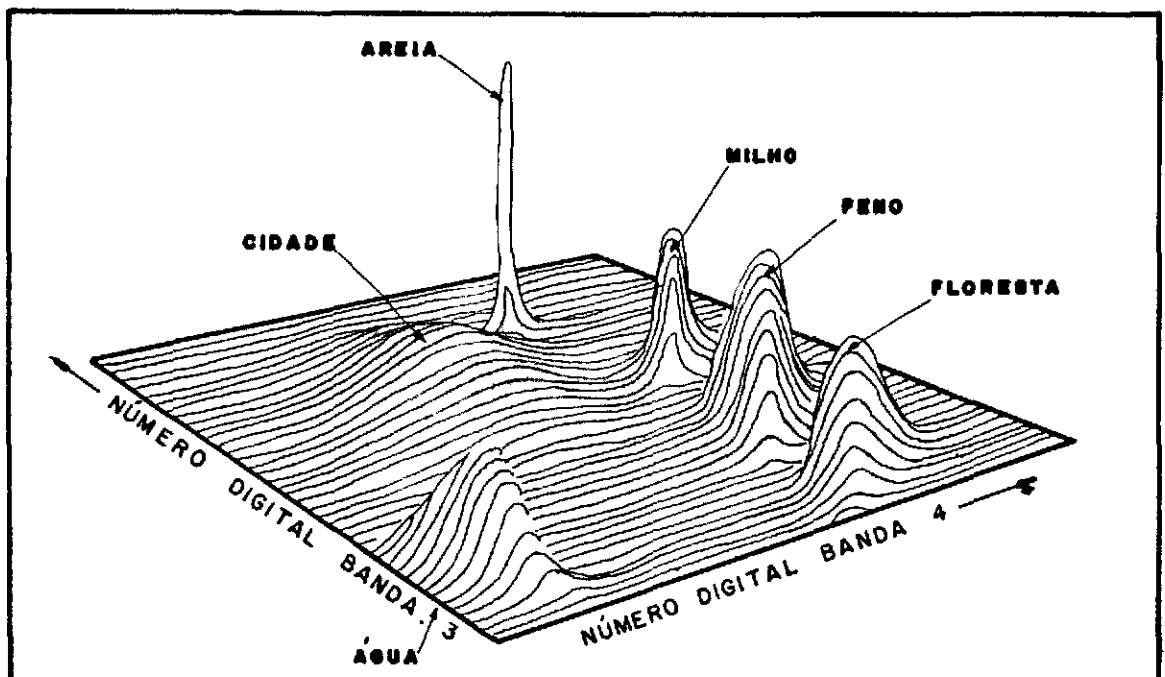


Fig. 18 - Funções de probabilidade e densidade definidas pelo classificador baseado na regra de decisão por máxima verossimilhança.

FONTE: Lillesand and Kiefer (1979)

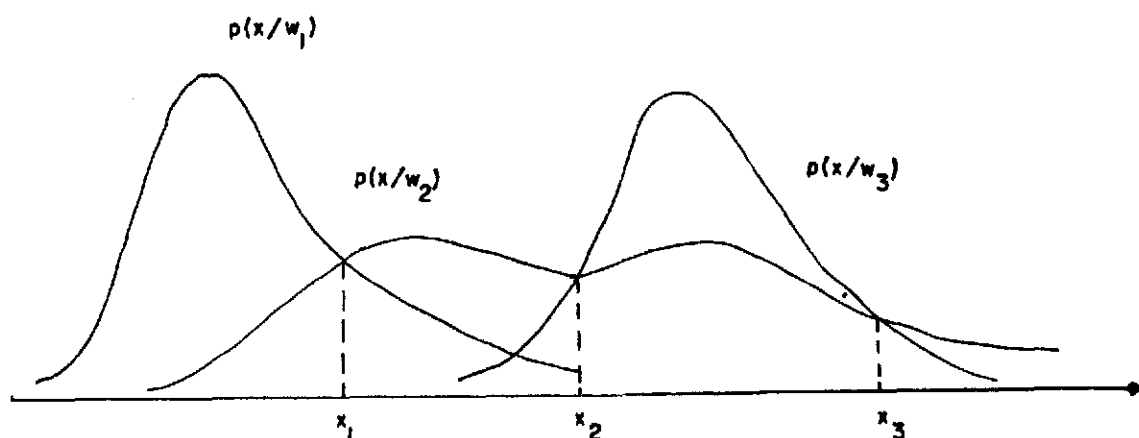


Fig. 19 - Funções de densidade de probabilidade de três classes em uma dimensão.

w_1, w_2, w_3 - classes com as funções de densidade de probabilidade respectivas: $p(x/w_1)$, $p(x/w_2)$ e $p(x/w_3)$.

x - conjunto de valores.

Todos os pontos até x_1 seriam classificados pela regra da máxima verossimilhança, como da classe w_1 ; de x_1 a x_2 como da classe w_2 ; entre x_2 e x_3 como da classe w_3 ; e acima de x_3 como da classe w_2 .

FONTE: Velasco et alii (1979)

Assim podem-se ter dois tipos de erro:

- *Erro de Omissão* - Quando se têm pontos ou objetos que não possuem identidade com as classes definidas pelo usuário, estes não são classificados.
- *Erro de Comissão* - Quando pontos ou objetos de uma determinada classe são classificados como pertencentes a uma segunda classe.

A limiarização deve ser realizada sobre um histograma com alta densidade de população*, onde a razão entre os pontos ("pixels")

* *População* - é o número de vezes que a cela ocorre na área de aquisição da amostra (Dutra et alii, 1981).

da amostra de treinamento e as células sejam grandes para que se tenha uma razoável aproximação da função de densidade de probabilidade que descreve o padrão envolvido (GE, 1975).

Por ser as classes definidas pelo usuário, faz-se necessária a criação de áreas testes para cada classe com a finalidade de testar as áreas de treinamento (amostras de treinamento). As áreas testes devem ter no mínimo quatro vezes o número de pontos das áreas de treinamento.

Após a seleção das áreas de treinamento, das áreas testes e da limiarização, o sistema calcula uma matriz de classificação tanto para as áreas de treinamento, como para as áreas testes (Tabelas 4 e 5), a partir da análise das amostras que fornece uma estimativa da separação entre as classes e dos erros prováveis de classificação. A análise da matriz de classificação para as áreas testes permite avaliar as áreas de treinamento, ou seja, qual a porcentagem de pontos das áreas de treinamento acertadamente classificados como pertencentes à classe sobre a qual foram determinadas as áreas testes.

TABELA 4

EXEMPLO DE UMA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO PARA ÁREA DE TREINAMENTO

C	N*	1	2	3	4	5	6	7	8
1.g	0,0	43,3	8,9	8,9	3,3	32,2	3,3	0,0	0,0
1.Q	0,0	14,1	56,7	16,7	10,6	3,3	0,0	1,7	0,0
3.T	0,0	13,3	25,0	29,4	15,0	6,7	6,7	3,9	0,0
4.G	0,0	2,2	4,4	16,1	45,0	0,0	19,4	11,7	0,0
5.Ch	0,6	11,7	0,0	5,0	4,4	76,7	1,7	0,0	0,0
6.V	0,0	6,1	0,0	1,1	3,9	1,1	81,1	6,1	0,6
7.Ci	0,0	0,0	1,7	1,7	17,2	0,0	1,7	77,2	0,0
8.A	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,6	0,0	96,7

* Porcentagem de pontos não-classificados de uma classe.

Os números 1.g, 2.Q, 3.T, 4.G, 5.Ch, 6.V, 7.Ci, 8.A e 1,2,3, 4,5,6,7,8 representam as classes espectrais (C) definidas pelo usuário.

Na diagonal principal da matriz de classificação encontram-se as porcentagens de pontos que serão classificados segundo as classes definidas pelo usuário. Por exemplo: para a classe 5 tem-se 76,7% enquanto para a classe 3 somente 29,4%.

O erro de *Comissão* é dado em porcentagem ao longo da linha de cada classe. Por exemplo: 13,3% de pontos da classe 3 serão classificados como pertencentes a classe 1; 6,7% de pontos desta mesma classe serão classificados como pertencentes à classe 5, enquanto nenhum ponto (0,0%) será classificado como pertencente à classe 8.

N* - representa o erro de *Omissão*.

FONTE: Santos et alii (1982)

TABELA 5

EXEMPLO DE UMA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO PARA A ÁREA TESTE

C	N*	1	2	3	4	5	6	7	8
1.g	0,8	42,7	12,0	28,9	9,4	1,0	3,7	1,6	0,0
2.Q	8,1	8,8	36,3	27,9	24,2	0,4	0,3	2,3	0,0
3.T	8,0	17,8	25,0	21,9	29,3	1,0	1,5	3,5	0,0
4.G	8,1	17,7	12,1	20,0	32,5	0,0	6,1	11,4	0,1
5.Ch	8,7	56,7	1,9	15,1	1,8	22,1	0,8	1,0	0,0
6.V	8,0	32,4	1,1	0,0	3,9	0,0	37,5	24,9	0,1
7.Ci	1,2	1,2	4,9	3,3	65,4	0,0	0,3	23,4	0,4
8.A	0,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	95,5

* Porcentagem de pontos não-classificados de uma classe

FONTE: Santos et alii (1982)

OBS: O ERRO DE COMISSÃO em relação às classes 1, 2, 3 e 4 é maior para as áreas teste do que para as áreas de treinamento.

4.3.4 - ALGORITMO DE CLASSIFICAÇÃO MÉDIA-K

Tem a finalidade de determinar relações naturais de dados que sejam similares segundo essas relações. Divide-se a massa de dados em classes de maneira não-supervisionada, ou seja, sem a interferência do usuário (Dutra et alii, 1981). O algoritmo de classificação Média-K tem a capacidade de agrupar os dados até 32 classes (Santos et alii, 1982).

O algoritmo de classificação Média-K tem seu início a partir da determinação de um conjunto de dados que pode ser toda a imagem ou parte dela (área definida pelo cursor ou pelo tema), que contenha informações das classes de interesse. A este conjunto de dados é apli

Cada problema específico a ser manipulado pelo tratamento automático possui também sua abordagem específica e todos os algoritmos podem ser utilizados conjunta (em um determinado pacote) ou separadamente para a escolha daquele que possibilite um resultado ótimo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DUDA, R.O.; HART, P.E. *Pattern classification and scene analysis*. New York. Interscience, c1973.
- DUTRA, L.V. ; MASCARENHAS, N.D. d'A. *Extração de atributos especiais em imagens multiespectrais*. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1885-RPE/229).
- DUTRA, L.V.; SOUZA de, R.C.M.; Ii, F.A.M.; MOREIRA, J.C. *Análise automática de imagens multiespectrais*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2212-MD/009).
- DUTRA, L.V. *Extração de atributos espaciais em imagens multiespectrais*. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2315-TDL/078).
- GARCIA, G.J. *Sensoriamento Remoto; Princípios e interpretação de imagens*. São Paulo, Nobel, 1982.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY (GE). *Image-100, user manual*. Daytona Beach, Fl. 1975.
- GOETZ, A. *Application of ERTS images and image processing to regional geologic problems and geologic mapping in Northern Arizona*. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Cal. 1975. Apud Leberl et alii (1978).
- HARTIGAN, J.A. *Clustering algorithms*. New York, John Wiley, 1975.
- HOLTER, M.R.; COURTNEY, H.W.; LIMPERIS, T. Research needs; the influence of discrimination, data processing, and systems design. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington, DC, NAS, 1970. cap. 9.

cado o programa ORDCEL que, segundo Dutra et alii (1981), faz a contagem e ordenação das celas nela existentes, o programa adquire as celas em 2 ou 4 canais, e a ordenação é feita considerando a ordem decrescente da população de cada cela. Na utilização de 2 canais, a imagem é comprimida para 64 níveis, ou seja, cada ponto assume o valor de 0 a 63 níveis. A escolha dos dois melhores canais, na separação entre classes, é efetuada utilizando o critério da distância J-M (Jeffreys-Matusita). Segundo Ii (1982) e Ii et alii (1982) o ideal seria obter uma medida de distância com a seguinte propriedade: "Se a distância entre duas classes for maior para um conjunto de canais A do que para um conjunto de canais B, então a probabilidade de erro obtida para o conjunto A seria menor do que para o conjunto B". Swain e King (1979) realizaram diversos experimentos sobre os métodos de medida de distância estatística e concluíram que os critérios da distância J-M leva algumas vantagens sobre os outros métodos em relação à previsão correta dos melhores atributos (canais) para o reconhecimento de multiclases.

Após a realização do programa ORDCEL o algoritmo Média-K define as classes utilizando um algoritmo baseado na distância euclidiana entre celas. A classificação ponto a ponto ("pixel" a "pixel") da área será baseada no critério de máxima verossimilhança em relação às classes definidas pelo algoritmo porque no algoritmo implementado há uma compatibilização com o sistema MAXVER.

Como no sistema MAXVER, o resultado da classificação Média-K também pode ser testado através de áreas testes, obtendo-se também uma matriz de classificação que considera como parâmetros de treinamento os definidos pelo algoritmo Média-K (Santos et alii, 1982).

O I-100 também possui uma gama de outros programas, chamados "Programas Auxiliares", como por exemplo o "Programa ESCALA" que permite dimensionar as imagens MSS/LANDSAT segundo escalas preestabelecidas pelo usuário; ou o programa "TROCA DE CANAIS" que permite a troca da posição de dois canais da imagem nos comandos do I-100; etc. Cabe ressaltar que os programas "Divisão em Intervalos de Densidade"

("Slice") e os "Filtros Bidimensionais Curtos" também são incluídos na lista dos "Programas Auxiliares".

Os resultados dos programas de Tratamento Automático no I-100 são apresentados no vídeo de um monitor (Figura 2) e podem ser registrados através de:

- 1) fotografias (em papel ou diapositivo) com máquinas fotografias comuns;
- 2) gravador de imagens DICOMED, que fornece fotografias polaroides ou filmes negativos e diapositivos;
- 3) impressão de um mapa alfanumérico pela impressora de linha ("printout"), no caso da extração de informações temáticas.

O produto final de um trabalho de Tratamento Automático será o somatório das análises visuais de cada programa (algoritmo) individual.

5. CONCLUSÃO

O tratamento automático de imagens MSS, por ser uma ferramenta de trabalho, não apresenta uma metodologia definida do emprego dos diversos algoritmos.

O tratamento automático não melhora a resolução espacial dos produtos digitalizados de sensoriamento remoto (para as imagens MSS/LANDSAT esta será sempre de 79 m), nem acrescenta mais informações além daquelas já contidas na imagem original ou nos produtos fotográficos. Ele pode somente melhorar a imagem para a interpretação visual ou para a classificação de padrões.

Assim, por exemplo, não se pode afirmar que a relação entre canais ou o sistema MAXVER, é o principal algoritmo para a resolução de um determinado problema em Agronomia, Geologia, ou em outra área qualquer.

Cada problema específico a ser manipulado pelo tratamento automático possui também sua abordagem específica e todos os algoritmos podem ser utilizados conjunta (em um determinado pacote) ou separadamente para a escolha daquele que possibilite um resultado ótimo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DUDA, R.O.; HART, P.E. *Pattern classification and scene analysis*. New York. Interscience, c1973.
- DUTRA, L.V. ; MASCARENHAS, N.D. d'A. *Extração de atributos especiais em imagens multiespectrais*. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1885-RPE/229).
- DUTRA, L.V.; SOUZA de, R.C.M.; Ii, F.A.M.; MOREIRA, J.C. *Análise automática de imagens multiespectrais*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2212-MD/009).
- DUTRA, L.V. *Extração de atributos espaciais em imagens multiespectrais*. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, 1982. (INPE-2315-TDL/078).
- GARCIA, G.J. *Sensoriamento Remoto; Princípios e interpretação de imagens*. São Paulo, Nobel, 1982.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY (GE). *Image-100, user manual*. Daytona Beach, Fl. 1975.
- GOETZ, A. *Application of ERTS images and image processing to regional geologic problems and geologic mapping in Northern Arizona*. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Cal. 1975. Apud Leberl et alii (1978).
- HARTIGAN, J.A. *Clustering algorithms*. New York, John Wiley, 1975.
- HOLTER, M.R.; COURTNEY, H.W.; LIMPERIS, T. Research needs; the influence of discrimination, data processing, and systems design. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington, DC, NAS, 1970. cap. 9.