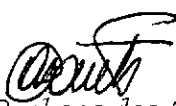




1. Publicação nº <i>INPE-2212-MD/009</i>	2. Versão	3. Data <i>Agosto, 1981</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DSR</i>	Programa <i>TRATEC</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>IMAGENS MULTIESPECTRAIS</i> <i>ANÁLISE AUTOMÁTICA</i> <i>IMAGE-100</i>			
7. C.D.U.: <i>528.711.7:621.376.5</i>			
8. Título <i>ANÁLISE AUTOMÁTICA DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS</i>		<i>INPE-2212-MD/009</i>	10. Páginas: <i>40</i>
			11. Última página: <i>33</i>
			12. Revisada por
9. Autoria <i>Luciano Vieira Dutra</i> <i>Ricardo Cartaxo Modesto de Souza</i> <i>Fernando Augusto Mitsuo II</i> <i>José Carlos Moreira</i>			 <i>Armando Pacheco dos Santos</i>
			13. Autorizada por
Assinatura responsável 			 <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor
14. Resumo/Notas <i>Este texto tem por finalidade apresentar uma rápida introdução à Análise Automática de imagens. A análise automática de imagens multiespectrais digitais é de importância fundamental em sistemas de sensoria- mento remoto numericamente orientados. Ela pressupõe a utilização de equipa- mentos eletrônicos, principalmente computadores e seus periféricos, para au- xiliar o elemento humano na interpretação das informações contidas nas ima- gens. Essa necessidade decorre da grande quantidade de dados multiespec- trais obtidos por imageadores remotos (satélites ou aeronaves). Quanto maior o número de canais ou faixas do espectro onde é feita a aquisição da imagem, mais complexa e subjetiva se torna a sua interpretação. Em certos casos, co- mo por exemplo, levantamento de recursos agrícolas a nível nacional ou re- gional, torna-se imperativo utilizar sistemas computadorizados, sem o que não seria possível realizar estes trabalhos em curtos períodos de tempo. A análise automática também visa eliminar a subjetividade inerente ao intér- prete humano, propiciando melhor precisão global.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

This text has the purpose of introducing some ideas of automatic multispectral image analysis. Automatic multispectral image analysis plays a central role in numerically oriented remote sensing systems. It presupposes the utilization of electronic equipments, mainly computers and their peripherals, to help people to interpret the information contained in multispectral digital imagery. This necessity derives from the great amount of multispectral data gathered by remote sensors within satellites and airplanes. When we increase the number of channels or spectral bands, the interpretation becomes more complex and subjective. In some cases, for example, in harvest estimation in national or regional level, it is imperative to use computer systems to complete the work within the time required. Automatic analysis also aims to eliminate subjective factors that appear in the human interpretation, so increasing the global precision.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	<i>iv</i>
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
1.1 - Histórico	1
1.2 - Elementos de um sistema de análise de imagens	2
1.3 - Caracterização de uma imagem digital	3
1.4 - Caracterização paramétrica de imagens digitais	4
<u>CAPÍTULO 2 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS</u>	7
2.1 - Processamento radiométrico	7
2.1.1 - Aumento de contraste	7
2.1.2 - Divisão em intervalos de intensidade ("Level Slicer")..	9
2.1.3 - Relação entre canais ("Ratio")	10
2.2 - Processamento espacial	11
2.2.1 - Extração de ruído	11
2.2.2 - Filtragem digital	12
<u>CAPÍTULO 3 - CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES</u>	15
3.1 - O método de paralelepípedo	17
3.2 - O classificador Bayesiano	17
3.3 - Agregamento ("Clustering")	18
<u>CAPÍTULO 4 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS.</u>	21
<u>CAPÍTULO 5 - SELEÇÃO DE ATRIBUTOS</u>	23
<u>CAPÍTULO 6 - LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS</u> <u>(L.T.I.D.)</u>	27
6.1 - Finalidade do L.T.I.D.	27
6.2 - Descrição dos equipamentos do L.T.I.D.	28
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	33

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Elementos de um sistema de análise de imagens	2
1.2 - Histograma	4
1.3 - Histogramas de área urbana (a) e vegetação (b)	5
2.1 - Histograma original (a) e histograma transformado (b)	8
2.2 - Função de transferência	9
3.1 - Sistema de classificação de padrões	15
3.2 - Espaço de atributos	19
6.1 - Esquema dos componentes do Sistema IMAGE-100	30

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A análise automática ou tratamento automático de imagens multiespectrais é vista como a utilização de sistemas eletrônicos, que auxiliam o elemento humano na interpretação das informações contidas em imagens. A necessidade do processamento automático decorre da grande quantidade de dados multiespectrais gerados pelos sistemas imageadores. Quanto maior o número de canais ou faixas do espectro onde é feita a aquisição da imagem, mais complexa e subjetiva se torna a sua interpretação. A análise automática visa, também, eliminar esta subjetividade inerente ao intérprete humano.

De acordo com o objetivo, pode-se dividir o tratamento automático em duas partes:

- processamento de imagens digitais, cujo objetivo é facilitar a interpretação humana pela melhora da qualidade da imagem, realçando detalhes importantes; e
- classificação de padrões, onde são extraídos da imagem informações mais convenientes à interpretação automática, sem a intervenção humana direta.

1.1. - HISTÓRICO

A partir da década de 20, com as transmissões da imagem por cabo submarino, começou-se a pensar em processamento de imagem, mas foi na década de 60, com a implantação do programa espacial, que as pesquisas aumentaram significativamente. Na década de 70, o lançamento da série de satélites LANDSAT e o constante desenvolvimento da tecnologia de computadores difundiram largamente a utilização de sistemas de processamento de imagens em Sensoriamento Remoto.

1.2 - ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE ANÁLISE DE IMAGENS

Um sistema típico de análise de imagens pode ser visto na Figura 1.1. Basicamente, pode-se dividir o sistema em três partes: entrada de dados, processamento e vídeo.

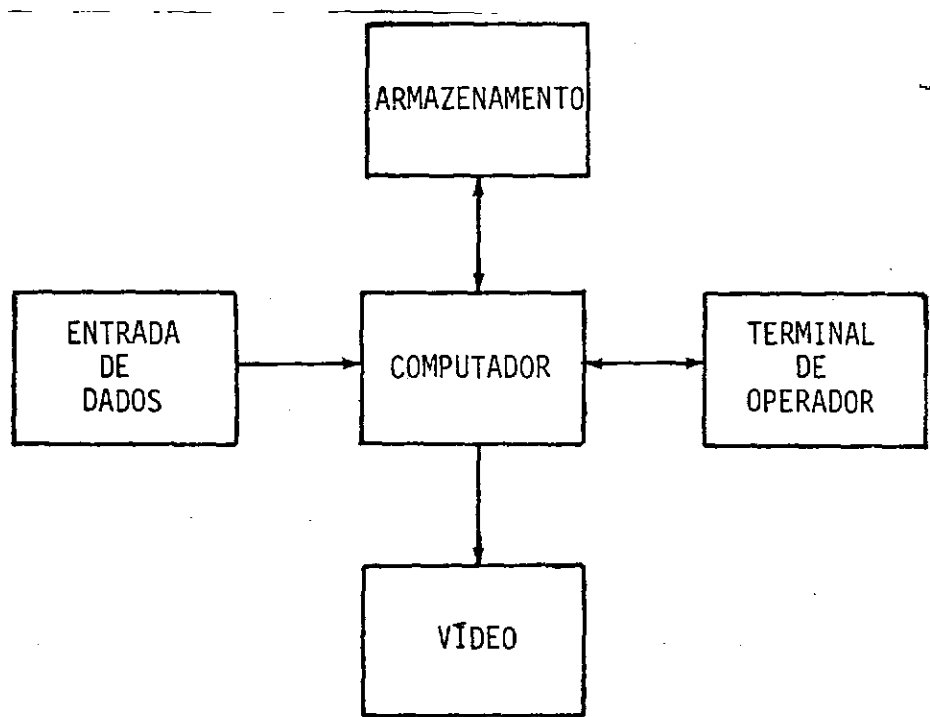


Fig. 1.1 - Elementos de um sistema de análise de imagens.

A entrada de dados pode ser feita através de um digitalizador de imagens ou, então, através de fita magnética contendo a imagem já digitalizada. Um digitalizador de imagens é um dispositivo que transforma a imagem fotográfica numa sequência de números inteiros, cujos valores estão diretamente relacionados com a intensidade da luz proveniente da imagem. Isto é chamado de conversão de um sinal analógico para digital. Entre várias possibilidades, uma implementação pode ser feita com uma câmera de TV, acoplada a um conversor análogo/digital.

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

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

1.3 - CARACTERIZAÇÃO DE UMA IMAGEM DIGITAL

Uma imagem será definida como uma função bidimensional de intensidade luminosa $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas espaciais e o valor 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. Pode-se também considerar uma imagem digital como sendo uma matriz, cujos índices de linhas e colunas identificam, espacialmente, um ponto, e o valor do elemento correspondente, na matriz, identifica seu nível de cinza. Os elementos desta matriz são chamados elementos de imagem, ou "pixels".

Embora o tamanho desta matriz possa variar segundo a aplicação, geralmente ela possui 512 linhas por 512 colunas, podendo, cada elemento, assumir 256 níveis de cinza.

Resumindo, uma imagem pode ser representada por:

$$f(x,y), \text{ onde: } 0 \leq x,y \leq N-1$$
$$0 \leq f(x,y) \leq M-1$$

N - número de "pixels" numa linha
 M - número de níveis de cinza possíveis

ou, então, por:

$$\begin{bmatrix} f(0,0) & \dots & f(0,N-1) \\ \vdots & & \vdots \\ f(N,0) & & f(N-1,N-1) \end{bmatrix}$$

Dada uma cena digitalizada, o número N está relacionado com a resolução espacial da imagem gerada (quanto maior for o N , melhor será a definição dos detalhes da cena), e o número M está relacionado com a resolução radiométrica (quanto maior for o M , melhor será a discriminação entre pontos da imagem).

1.4 - CARACTERIZAÇÃO PARAMÉTRICA DE IMAGENS DIGITAIS

Para que possa ser feita uma análise de uma imagem digital por computador, é necessário que sejam extraídos alguns parâmetros que caracterizem esta imagem.

O histograma é uma representação gráfica da frequência de ocorrência de "pixels" nos diversos níveis de cinza, ou seja, o histograma dará a quantidade de "pixels" em cada nível de cinza, como mostrada na Figura 1.2.

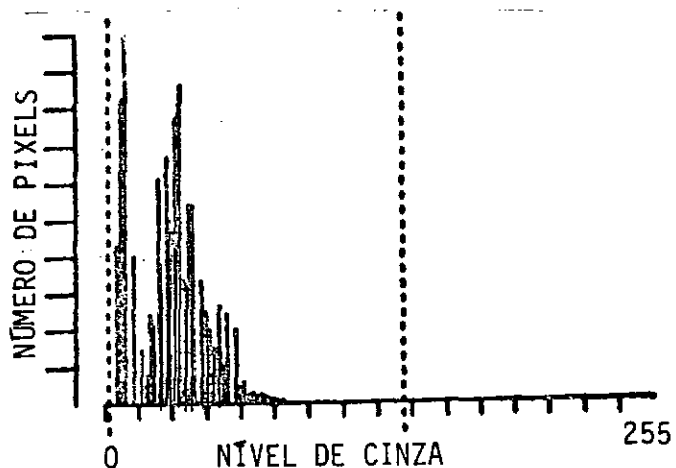


Fig. 1.2 - Histograma

A análise do histograma pode dar informações sobre a imagem, tais como: contraste, nível médio de cinza, sem que se esteja realmente visualizando a imagem.

Deve-se notar que o histograma pode ser extraído de uma parte da imagem em que se tenha especial interesse, tal como uma determinada plantação ou área urbana, por exemplo. Geralmente, é válido supor-se que o histograma tenha uma distribuição gaussiana e, então, podem-se determinar alguns parâmetros estatísticos, tais como: média e variância, as quais identificam a área sob estudo. A média está associada ao brilho médio da área e a variância, ao seu contraste. Na Figura 1.3, são apresentados histogramas relativos à área urbana e vegetação, no canal 7 do LANDSAT, com as respectivas médias e variâncias.

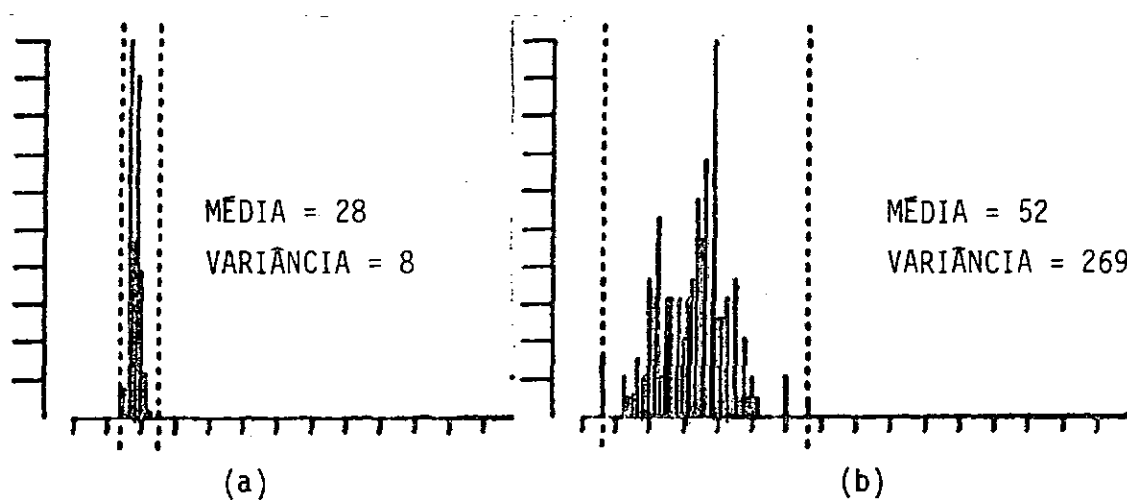


Fig. 1.3 - Histogramas de área urbana (a) e vegetação (b).

CAPÍTULO 2

PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Processamento de imagens é a modificação de uma imagem para *aumentar* seu impacto sobre o observador, ampliando seu poder de discriminação. Técnicas de aumento de contraste, realce de bordas e supressão de ruído são exemplos de processamento de imagens.

Basicamente, pode-se separar as técnicas de processamento de imagens em 2 grupos: no primeiro, as técnicas que alteram o nível de cinza de um "pixel" sem levar em conta sua vizinhança e, no segundo, as técnicas que levam em conta as relações entre "pixels" adjacentes, ou seja, levam em conta a informação espacial. Dá-se o nome de processamento radiométrico e processamento espacial, respectivamente, a cada um dos grupos.

2.1 - PROCESSAMENTO RADIOMÉTRICO

2.1.1 - AUMENTO DE CONTRASTE

Os sensores de um imageador são, geralmente, projetados para registrar uma larga faixa de valores de brilho sem saturação. Os sensores do LANDSAT, por exemplo, no canal 7, devem registrar desde alvos escuros como água, até alvos claros como neve, sem perda de detalhes. Poucas cenas têm uma faixa de brilho que utiliza toda a faixa de sensibilidade dos sensores do LANDSAT. Para a produção de imagem com um contraste ótimo, é necessário utilizar toda a escala de cinza disponível, desde o extremo escuro, nível 0, até o extremo claro, nível 255.

O realce de contraste mais simples é feito de forma linear. O procedimento consiste em, extraído o histograma, avaliar o mínimo e o máximo níveis de cinza existentes na imagem, e levar o mínimo nível de cinza ao extremo escuro, nível 0, e o máximo nível de cinza ao extremo claro, nível 255. Todos os outros níveis da imagem são distribuídos linearmente, entre 0 e 255.

Tomando-se um histograma de uma imagem, como na Figura 2.1a, em que os níveis estão compreendidos no intervalo $[a, b]$, e utilizando-se a Transformação Linear 1, faz-se o realce de contraste gerando-se uma imagem, cujo histograma é o da Figura 2.1b.

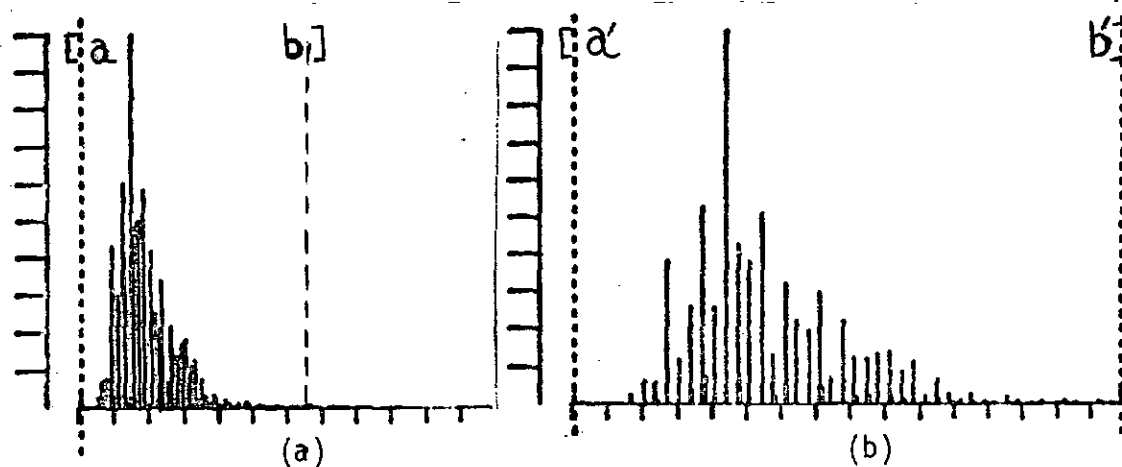


Fig. 2.1 - Histograma original (a) e histograma transformado (b).

Transformação linear:

$$\begin{aligned} g(x,y) &= 0 \quad \text{p/ } f(x,y) \leq a \\ g(x,y) &= 255 \quad \text{p/ } f(x,y) \geq b \\ g(x,y) &= \frac{255}{b-a} \times (f(x,y)-a) \quad \text{para } a < f(x,y) < b \end{aligned} \quad (1)$$

Graficamente, pode-se representar a transformação linear, pela Figura 2.2, onde $f(x,y)$ é a imagem original e $g(x,y)$ é a imagem transformada.

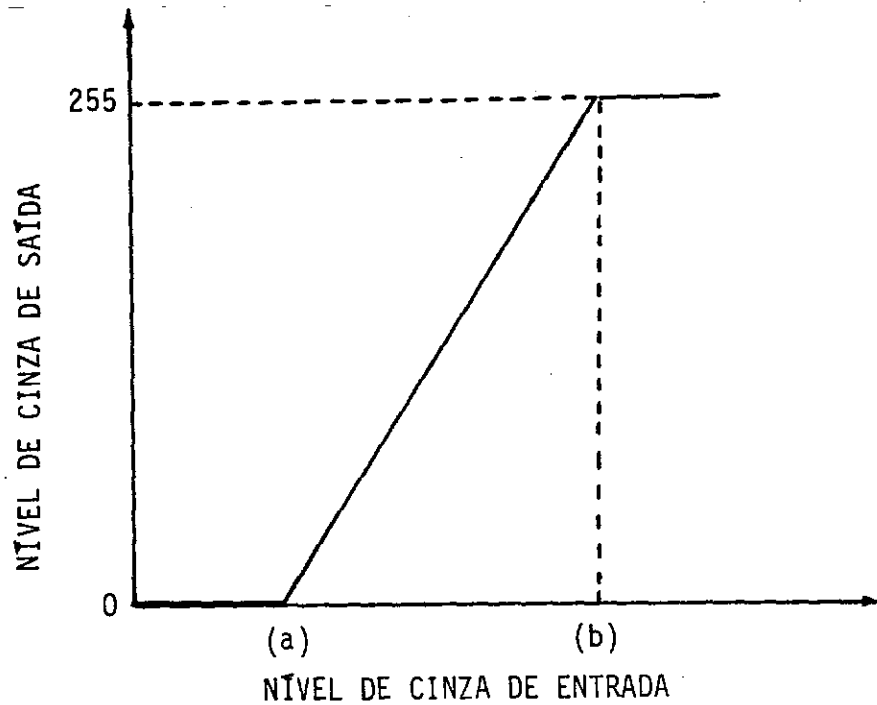


Fig. 2.2 - Função de transferência.

Se os níveis a e b não são escolhidos exatamente como os níveis da imagem, mínimo e máximo, todos os pontos com nível de cinza menor que a ficarão saturados em 0 (zero) e todos os pontos com nível de cinza maior que b ficarão saturados em 255, havendo, então, nestas faixas, uma perda de informação, pois pontos que antes eram diferentes em brilho, agora terão o mesmo brilho.

Pode-se implementar qualquer transformação matemática desejada - logarítmica, exponencial, quadrática ou até arbitrária - obedecendo-se somente a restrição de que os resultados pertençam ao intervalo $[0, 255]$.

2.1.2 - DIVISÃO EM INTERVALOS DE INTENSIDADE ("LEVEL SLICER")

É um processo que divide o histograma de uma imagem em intervalos de níveis de cinza, e a cada um desses intervalos é associada uma cor diferente ou um símbolo de uma impressora de linhas.

O resultado deste procedimento é uma imagem colorida ressaltando alvos, que se apresentam em diferentes intervalos de tons de cinza. Isto facilita ao olho humano discriminar alvos que possuem uma pequena diferença espectral, representadas, na imagem, por níveis de cinza bastante próximos, praticamente imperceptíveis ao observador.

Um bom exemplo de aplicação é o caso de imagens meteorológicas, obtidas no infravermelho termal, onde pequenas variações de temperatura tornam-se imperceptíveis numa imagem em branco e preto. Quando são associadas cores aos intervalos de níveis de cinza correspondentes a intervalos de temperatura, obtém-se uma imagem colorida, onde cada cor identifica regiões com determinada temperatura.

2.1.3 - RELAÇÃO ENTRE CANAIS ("RATIO")

As relações entre canais são feitas dividindo-se o nível de cinza de um "pixel", em um canal, pelo seu nível de cinza em outro canal, para cada "pixel" da imagem, gerando uma imagem onde tons escuros correspondem a alvos para os quais o denominador da divisão é maior que o numerador. Por exemplo, vegetação que tem tom claro na banda 7 e escuro na banda 5, ficaria escura numa relação 5/7.

Uma vantagem da relação entre canais é que um alvo natural tem um mesmo quociente, quando é feita uma divisão de um canal por outro, independentemente das variações de iluminação que o alvo possa ter. Os valores dos "pixels" de um mesmo alvo variam de acordo com a iluminação, tendo valores menores quando em regiões sombreadas, como é o caso das bandas do LANDSAT. Após a divisão de canais, áreas de um mesmo alvo, que tinham valores de cinza diferentes devido a condições diferentes de iluminação, passam a ter níveis de cinza próximos. A retirada da influência da iluminação pode eliminar também indicações de relevo.

2.2 - PROCESSAMENTO ESPACIAL

Uma imagem processada espacialmente é aquela em que o valor a ser atribuído a cada ponto de nova imagem depende de uma vizinhança do ponto correspondente na imagem original.

Uma imagem pode sofrer vários tipos de degradação, que implicam em perda de qualidade visual, como o ruído e a desfocalização.

O processamento espacial, além de minimizar essas degradações, oferece meios de ressaltar certos aspectos de interesse na imagem.

Podem-se salientar dois tipos de processamento espacial: a extração de ruído e a filtragem digital.

2.2.1 - EXTRAÇÃO DE RUÍDO

O ruído corresponde a variações atípicas em uma imagem, envolvendo pontos isolados ou conjunto de pontos.

Normalmente, 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 da linha claro ou muito escuro.

É interessante utilizar técnicas que eliminem esses ruídos, pois atrapalham o resultado do trabalho de classificação, além de prejudicarem a aparência da imagem.

Por outro lado, como o ruído apresenta variações muito rápidas, o processo que utiliza filtros para realce de detalhes, em imagem, acabam por ressaltar também o ruído.

É possível, no entanto, conjugar o filtro de realce de relevo ao efeito de evitar, senão diminuir, o ruído da imagem.

2.2.2 - FILTRAGEM DIGITAL

Se a partir de um ponto na imagem for tomada uma direção e observada a sequência dos níveis de cinza, é possível notar que aparecem certos padrões, numa certa taxa de repetição, assim como a alternância de campos agrícolas ou, então, a repetição de padrões de intensidade de cinza que caracterizam um relevo. Esta taxa de repetição de padrões de intensidade de cinza em todas as direções é definida como o conteúdo de frequência espacial da imagem. Padrões que se alternam muito rapidamente fornecem componentes de alta frequência à imagem e os que se alternam lentamente contribuem com baixas frequências. As transições de um padrão para outro, chamadas de bordas da imagem, contêm, também, componentes de frequência espacial, sendo que as transições bruscas, bem delimitadas, contêm altas frequências e as transições suaves, graduais, contêm baixas frequências.

A 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.

Operadores chamados filtros passa-alta e passa-baixa 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.

Filtros passa-alta tendem a realçar as bordas da imagem, tendo, como exemplo, utilidade em Geologia, onde existe interesse na observação de falhas estruturais, de lineamentos e do relevo em geral. Deve-se ter cuidado em sua aplicação, pois quando a filtragem é forte, podem surgir, na imagem, distorções que numa fotointerpretação podem influenciar, negativamente, o resultado. Os filtros podem ser aplicados de forma a dar realce em todas as direções igualmente, ou, então, realçar em direções selecionadas.

Os filtros passa-baixa são utilizados, geralmente, para atenuar as influências de processos ruidosos, tais como sensores 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.

CAPÍTULO 3

CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES

As técnicas de sensoriamento remoto permitem a avaliação de várias características de objetos físicos pela análise de medidas tomadas à distância desses objetos.

Uma das informações sobre os objetos, frequentemente desejada, é a sua identificação, ou seja, sua associação a uma classe ou a um padrão conhecido, como por exemplo: rio, mata, cana etc. Para isto utiliza-se um conjunto de métodos denominado *Classificação de Padrões*.

O método pode ser descrito sucintamente pelo diagrama da Figura 3.1.

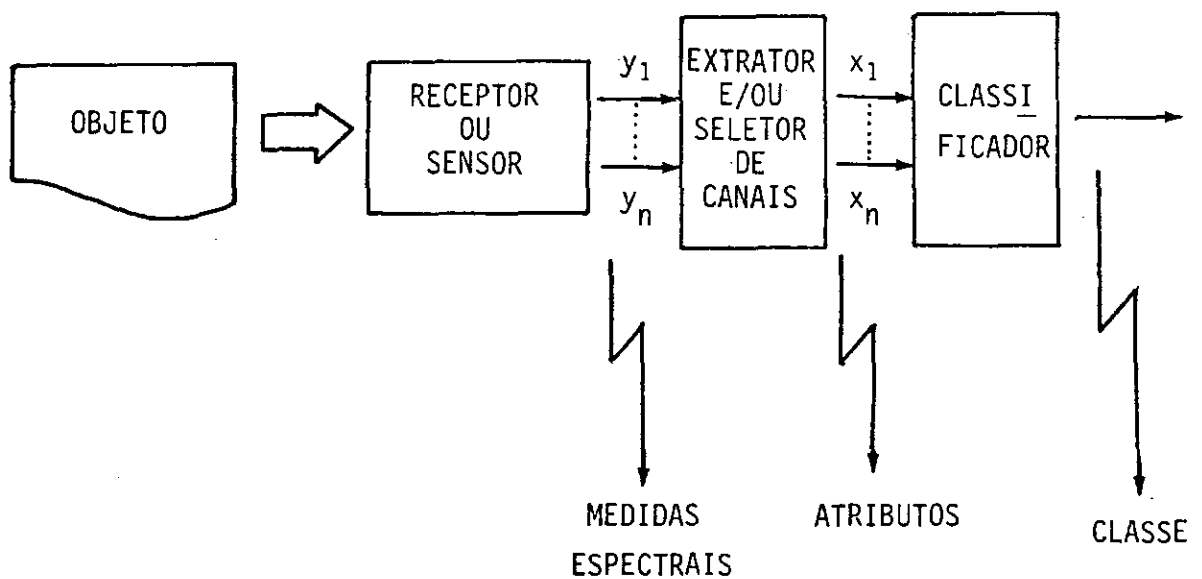


Fig. 3.1 - Sistema de classificação de padrões.

O objeto natural emite radiação em todos os comprimentos de onda. O *receptor* capta a informação em algumas bandas estreitas, no espectro de frequência. Esta informação, chamada "espectral", é transformada em números inteiros, ou seja, é digitalizada e armazenada para tratamento posterior ou imediato.

Conforme os objetos que se quer classificar, o conjunto de medidas espectrais adquiridas pode não ser o mais conveniente para distinguir as classes de interesse. O *extrator de atributos* se encarrega de transformar os dados de medida em outra forma mais adequada, de acordo com o caso. Algumas vezes deseja-se apenas selecionar, dentre as medidas apresentadas, um subconjunto com menor número de medidas, com o objetivo de diminuir o custo computacional. Esse processo é denominado *Seleção de Atributos*. A seleção de atributos pode ou não ser usada em conjunto com a extração de atributos.

O *classificador* associa um objeto a uma classe, de acordo com os atributos apresentados. Podem-se dividir os algoritmos de classificação em dois tipos: o estatístico e o determinístico. O primeiro tipo supõe que os atributos dos objetos sejam considerados como tendo um comportamento aleatório (descrito por funções distribuição de probabilidade). O segundo supõe que o comportamento dos atributos das classes não seja aleatório e possa ser descrito por funções que assumem valores bem definidos de acordo com a classe.

Alguns algoritmos de classificação necessitam de uma fase anterior à sua operação, denominada *fase de treinamento*, na qual o sistema determina, a partir de padrões pré-selecionados, chamados *prótotipos*, as características das classes a serem usadas como termo de comparação em tempo de classificação. Nesse caso, o processo é chamado *classificação supervisionada*.

Outros algoritmos de classificação não necessitam de uma fase de treinamento, pois o classificador age procurando dividir os dados segundo certas afinidades que um grupo de características, desses mesmos dados, possam ter entre si. Este processo é chamado *classificação não-supervisionada*.

3.1 - O MÉTODO DO PARALELEPÍPEDO

Um algoritmo de classificação do tipo determinístico é o chamado "método do paralelepípedo", que exige supervisão, ou seja, amostras pré-classificadas são apresentadas ao classificador, para que ele possa, daí, extrair as características das classes que se quer determinar.

Os limites máximos e mínimos dos valores que assume cada um dos atributos (canais) dos protótipos (pontos selecionados da imagem) são determinados. No caso da imagem, os atributos são os níveis de cinza da reflectância média da área de resolução, em cada canal.

Na fase da classificação, quando os atributos do padrão a ser classificado são mostrados ao classificador, este é associado à mesma classe apresentada no treinamento se seus atributos estão entre os limites encontrados na fase anterior, para cada um dos atributos. Caso contrário, o ponto é rejeitado, i. é, não-classificado.

3.2 - O CLASSIFICADOR BAYESIANO

O classificador bayesiano é um algoritmo de classificação tipo estatístico. Associa-se a cada padrão uma probabilidade de mesmo pertencer a cada uma das classes predefinidas, na fase de treinamento. As características estatísticas das classes também são adquiridas no treinamento.

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.

Esse processo minimiza a probabilidade de erro, ou seja, a probabilidade de que um padrão seja associado a uma classe que ele realmente não pertença.

Costuma-se introduzir um limiar para a probabilidade de um ponto da imagem pertencer a uma classe, abaixo do qual o ponto não pode ser considerado daquela classe, mesmo que seja maior que as probabilidades de pertinência a outras classes. Neste caso, diz-se que o ponto é "não-classificado".

3.3 - AGREGAMENTO ("CLUSTERING")

Agregamento de dados, "Clustering", é uma técnica de análise de dados, cuja finalidade é determinar relações naturais ou inerentes a um conjunto de observações. Esta técnica é, normalmente, referenciada como classificação não-supervisionada, porque o resultado final é, geralmente, a classificação de cada elemento em um grupo ("cluster"), sendo que os elementos de um mesmo grupo possuem propriedades similares entre si e diferentes dos elementos de outros grupos. A diferença básica deste procedimento para as técnicas de classificação supervisionada é o fato de as classes, grupos, não serem definidas pelo analista e sim pelo algoritmo de agregamento, com base nas propriedades intrínsecas do conjunto de dados.

Para se ter uma idéia das propriedades intrínsecas a grupos de dados, considere-se o exemplo da Figura 3.2.

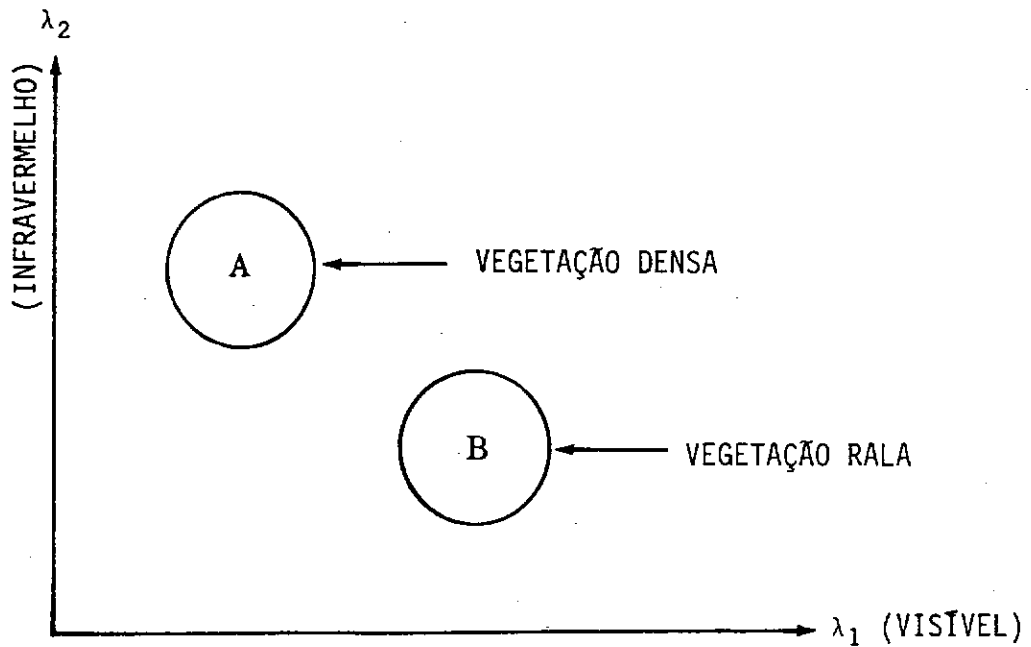


Fig. 3.2 - Espaço de atributos.

Se a reflectância espectral de cobertura vegetal, num comprimento de onda, no visível, é representada graficamente versus a reflectância espectral num comprimento de onda, no infravermelho, vegetação rala e vegetação densa devem formar grupos distintos.

Se cada elemento do conjunto de dados pode ser definido por duas variáveis, a identificação dos grupos pode ser feita através de uma análise visual de gráficos em duas dimensões. Para dados definidos por mais de duas variáveis, é desejável que se tenha algoritmos implementados em um sistema de computação, para realizar a análise e apresentar o resultado de uma forma satisfatória.

CAPÍTULO 4

PRINCIPAIS COMPONENTES DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS

As várias imagens geradas por imageadores multiespectrais representam a distribuição espacial da luz refletida pelo objeto, no comprimento de onda correspondente a cada canal.

De acordo com a natureza do objeto e a largura da janela espectral de cada canal, pode haver uma alta correlação entre as diferentes imagens espectrais de um mesmo objeto. Devido a estes fatores, imagens digitais multiespectrais contêm uma certa redundância de dados, ou seja, a mesma informação está contida em mais de um canal. Esta redundância pode ser reduzida pela escolha dos canais menos correlacionados. Numa reprodução fotográfica, onde, no máximo, três canais podem ser associados a cores fundamentais, os três canais menos correlacionados podem ser utilizados. Desta maneira, algum dado redundante é mantido, enquanto uma certa quantidade de informação presente nos canais omitidos é perdida. Uma situação análoga ocorre quando são fornecidos somente os canais menos correlacionados a um classificador automático, para economizar tempo de computação. A simples escolha dos canais menos correlacionados nem sempre é a melhor solução para a economia de tempo, ou outro propósito qualquer.

Às vezes é mais apropriado usar novos e mais convenientes canais do que os originais correlacionados. Estes novos canais são as chamadas principais componentes de uma imagem multiespectral, obtidas por certas combinações lineares dos canais originais (transformação de Karhunen-Loève). As principais componentes são não correlacionadas entre si. O conteúdo de informação de uma imagem multiespectral é redistribuído entre estas componentes, de tal maneira que a maior parte da informação é concentrada nas primeiras componentes principais, enquanto as componentes restantes contêm um mínimo de quantidade de informação (principalmente ruído) e podem ser dispensadas sem perda significativa de informação. No caso do MSS do LANDSAT, as duas primeiras

principais componentes, geralmente, contêm mais de 95 por cento da informação contida nas quatro bandas originais. Isto concorda com o fato de que a dimensionalidade intrínseca do MSS do LANDSAT é considerada dois, significando que toda a informação contida em quatro canais pode ser representada em dois deles, se for eliminada a redundância.

A técnica de principais componentes é uma das melhores maneiras de selecionar dados a serem associados às cores fundamentais, para a produção de fotografias coloridas, ou servirem como entrada para um classificador automático. Entretanto, não se pode dizer, a priori, que as principais componentes de uma imagem são exatamente equivalentes às bandas originais, para a interpretação visual de todos os tipos de feições, devido à natureza subjetiva da fotointerpretação humana, uma vez que as principais componentes são bastante diferentes dos canais originais.

Deve-se tomar cuidado quando for aplicada alguma técnica de aumento de contraste, pois podem aparecer estruturas que, realmente, não existem na imagem original, causando erros na fotointerpretação.

CAPÍTULO 5

SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

Existe um compromisso muito importante entre o número de atributos utilizados no reconhecimento de um padrão e o tempo/custo computacional. A precisão de uma classificação será maior quanto maior for o número de canais utilizados, supondo-se um número de amostras suficientes. Entretanto, isto acarretará um número maior de computações e, conseqüentemente, mais tempo será exigido e mais alto será o custo.

Desse compromisso surge o problema básico de seleção de atributos em reconhecimento de padrões:

- Dado um conjunto de N canais, achar o melhor subconjunto K de canais a serem utilizados para classificação, os quais provêm de um compromisso ótimo entre precisão na classificação e tempo/custo computacional.

Idealmente, este problema seria resolvido, computando-se a probabilidade de erro de classificação associada a cada subconjunto de K canais, e selecionando-se aquele que produz o menor erro. Contudo, geralmente, não é possível realizar as operações exigidas, pois a integração numérica necessária para computar os erros é impraticável. O número de integrações numéricas é igual a:

$$\binom{N}{K} \triangleq \frac{N!}{K!(N-K)!}$$

Assim, por exemplo, a seleção dos 4 melhores de 12 atributos disponíveis exige integrações no espaço 4-dimensional.

$$\binom{12}{4} = \frac{12!}{4!8!} = 495$$

Mesmo em computadores muito rápidos, tais computações seriam proibitivas.

Assim, métodos alternativos devem ser encontrados para a seleção de atributos.

Uma aproximação, que tem sido muito investigada, baseia-se no conceito de uma medida de "distância estatística" entre as densidades de probabilidade, que caracterizam as classes padrão.

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 α do que para um conjunto de canais β , então a probabilidade de erro obtida para o conjunto α seria menor do que para o conjunto β .

Infelizmente, nenhuma das medidas de distância, que têm sido propostas, possuem exatamente essa propriedade.

Contudo, diversas distâncias possuem a característica de terem limiares superior e/ou inferior para a probabilidade de erro a elas associados. Assim, se a distância entre duas classes for maior para um conjunto α de atributos do que para um conjunto β , então, o limiar inferior e/ou superior para a probabilidade de erro obtida para o conjunto α é menor do que para o conjunto β .

Pode-se observar que essa propriedade é subótima, pois não se está minimizando, diretamente, a probabilidade de erro associada, e sim, os limiares inferior e/ou superior para a probabilidade de erro.

Como exemplo de medidas de distância estatística, que possuem essa característica, pode-se citar a divergência transformada, a distância J-M e a distância de Battacharyya.

Agora, o problema de seleção de atributos se resume a computar a distância entre duas classes, associada a cada subconjunto de K canais e, então, selecionar aquele que produz a maior distância.

Como a seleção de atributos quase sempre envolve mais de duas classes, seu uso pode ser entendido para o caso de multiclases. Neste caso, pode-se selecionar a melhor combinação K de atributos de duas maneiras:

- a) escolhendo-se a combinação, cuja distância média entre os pares de classe seja máxima; e
- b) escolhendo-se a combinação, cuja distância mínima entre os pares de classes seja máxima.

CAPÍTULO 6

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

6.1 - FINALIDADE DO L.T.I.D.

O Sistema Interativo de Análise de Imagem Multiespectral, Image-100, produzido pela General Electric, foi planejado para atender às necessidades do usuário com relação a extração de informações úteis, através de dados que são fornecidos por satélites ou aeronaves. O IMAGE-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 comprimentos de onda e identificar áreas similares na imagem, as quais são assinaladas com falsa cor ou temas. Estes temas são, então, apresentados numa tela de televisão colorida, tanto individualmente como superpostos à imagem original que foi utilizada pelo usuário para a classificação.

O IMAGE-100 utiliza programas especiais, sob controle de um minicomputador, para implementar algoritmos de extração de características. Processos interativos permitem ao usuário controlar e/ou modificar o processo de análise, baseado em seu conhecimento da imagem de entrada.

A imagem a ser analisada entra no sistema por intermédio de uma fita magnética, se disponível, ou por meio de unidade digitalizadora de entrada, se estiver na forma de transparência colorida normal ou no infravermelho, ou em branco e preto multiespectral, sendo carregada na memória de imagem do sistema e apresentada simultaneamente numa tela de televisão colorida. A imagem poderá também ser carregada em um disco de grande capacidade para posterior transferência à memória de imagem.

Para fazer a análise, o usuário deve informar à máquina sobre a localização de uma amostra de sua área de interesse. Dada a informação da posição da área de interesse, que é feita através de um cursor, a máquina extrai as propriedades espectrais dos objetos em estudo nos canais selecionados, e os limites mínimo e máximo, a partir dos quais serão tomadas decisões multidimensionais. Este processo de mostrar a área e extrair as propriedades espectrais, chama-se "Treinamento". Em seguida, o I-100 examina cada elemento de imagem, através de um critério de decisão adotado, e determina os elementos que possuem características semelhantes aos da área de interesse, de acordo com o critério estabelecido pelo I-100. Este processo de teste é chamado "Classificação" e o resultado é um mapa, no qual os elementos, com os mesmos componentes espectrais da área de treinamento, são colocados no alarme, ou seja, assinalados por uma cor verde, ou ainda colocados num tema. Existem oito temas à disposição do usuário. As classes ou temas coloridos são apresentados quase simultaneamente na tela de televisão, por intermédio de operações especiais, e podem ser avaliados. Dependendo do resultado da classificação, o usuário decide se irá terminar ou escolher novamente a área de treinamento e repetir o processo.

Se o usuário não dispuser de área de treinamento, ele pode utilizar uma classe de algoritmo de classificação que dispense essas áreas, o qual procura dividir, automaticamente, os dados em várias classes sem interferência do usuário.

O sistema possui ainda programas para melhorar a qualidade subjetiva das imagens de interesse, e outros auxiliares cuja finalidade é recuperar e/ou guardar as informações que estão sendo processadas, para posterior análise pelo usuário.

6.2 - DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO L.T.I.D.

Os componentes do sistema IMAGE-100 são apresentados e discutidos de acordo com uma sequência lógica de trabalho, devendo, porém, ser salientado que algumas destas unidades podem ser utilizadas

com finalidades diferentes. Na Figura 6.1, são apresentados todos esses componentes, com exceção do "DICOMED" que é utilizado como um componente acessório de saída.

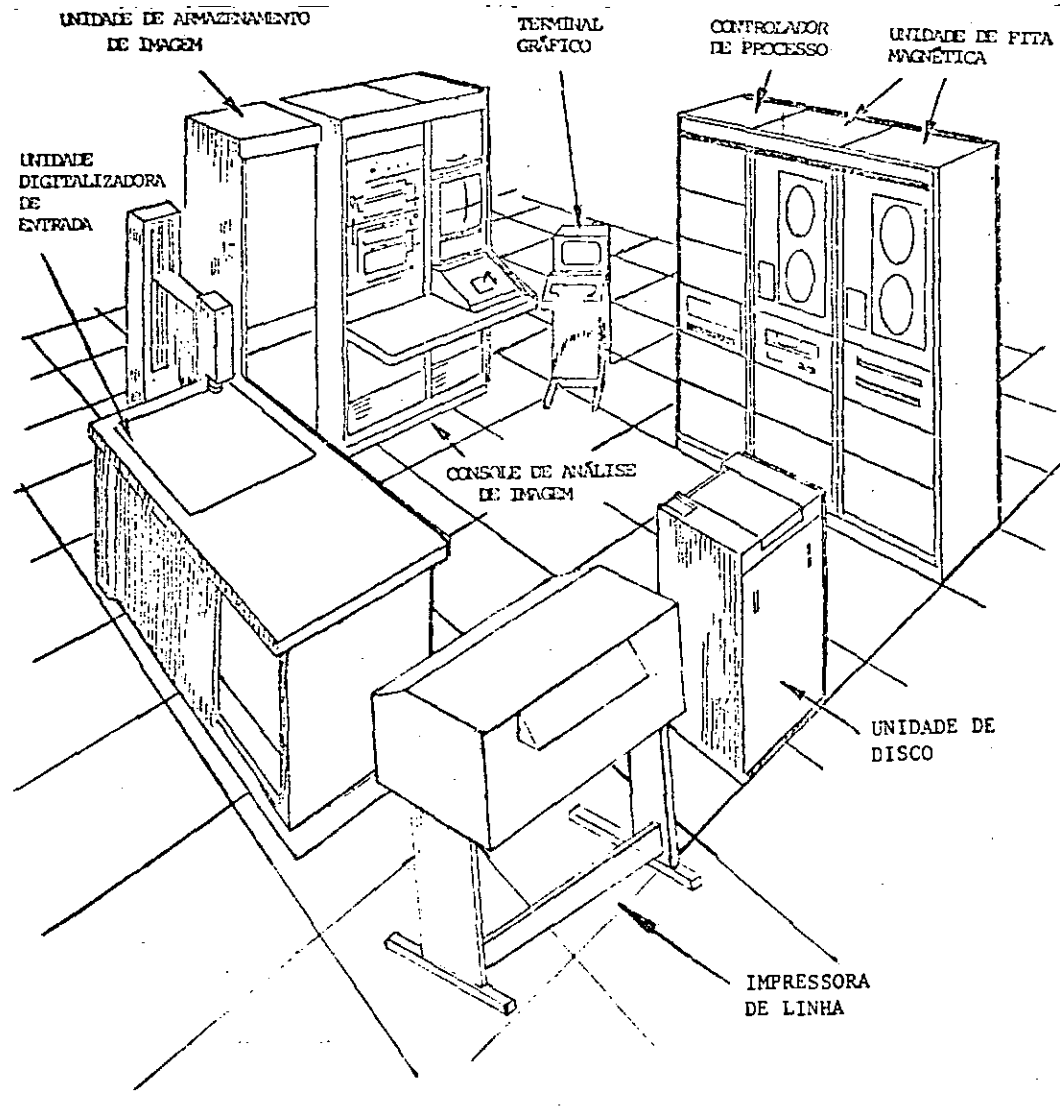


Fig. 6.1 . Esquema dos componentes do Sistema IMAGE-100.

A sequência de descrição estabelecida é a seguinte:

- 1) Componente de entrada:
 - a) Unidade Digitalizadora de Entrada
 - b) Unidade de Fita Magnética
- 2) Unidade de Armazenamento de Imagem
- 3) Console de Análise de Imagem
- 4) Controlador de Processo (minicomputador)
- 5) Componentes Periféricos:
 - a) Impressora de Linha
 - b) Unidade de Fita Magnética
 - c) Gravador de Imagens "DICOMED"
 - d) Unidade de Disco-88 Mbytes
 - e) Terminal Gráfico

O fluxo lógico de atividade é o seguinte: os dados fornecidos pelas imagens, que podem estar na forma de transparência fotográfica ou em fitas magnéticas, são transferidos para a Unidade de Armazenamento de Imagens ou para a Unidade de Disco, por intermédio dos componentes de entrada. No primeiro caso, o da transparência, o fornecimento dos dados é feito pela Unidade Digitalizadora, e no segundo caso, é através da Unidade de Fita Magnética. Estes dados transferidos para a Unidade de Armazenamento de Imagem são utilizados pelos processos de classificação. Durante a fase interativa de análise ou tratamento de imagem, as informações necessárias à execução do processo são apresentadas ao computador pelo Console de Análise de Imagens e pelo Terminal Gráfico. O console de Análise de Imagem é constituído de um monitor de televisão a cores e um conjunto de funções lógicas especiais para a operação e controle do sistema. Pelo Terminal Gráfico são fornecidas as informações que não podem ser introduzidas pelo painel do Console de Análise de Imagem, podendo-se obter também apresentações de histogramas, resultados de análises estatísticas, relatórios de processos em formas gráficas e alfanuméricas.

As duas principais funções executadas durante a operação do sistema são: treinamento e classificação. Na fase de treinamento o dispositivo "cursor", gerado eletronicamente e variável em tamanho, forma e posição, é utilizado para selecionar áreas de treinamento. As teclas de comando do "Cursor", localizadas no painel de controle do Console de Análise de Imagem, permitem selecionar uma das três formas: quadrado, losango ou cruz, e através da tecla de funções POSIÇÃO/TAMANHO e da alavanca de controle modifica-se o tamanho ou a posição do cursor. Obtém-se assim grande flexibilidade na seleção das áreas de treinamento.

A definição das áreas de treinamento ou o resultado do processo de classificação podem ser modificados utilizando-se as funções lógicas do sintetizador de temas, comandos estes localizados no painel frontal do Console de Análise de Imagem.

Estas operações lógicas consistem em soma, subtração, "ou exclusivo" e intersecção de dois temas. Os operandos destas funções podem ser combinados de diversas formas, selecionando-se adequadamente as teclas do sintetizador de temas. Estas operações permitem selecionar uma área de treinamento de qualquer forma e tamanho, e alterar os resultados do processo de classificação.

Através da Impressora de Linha, pode-se obter um mapa alfanumérico dos temas que representam o resultado de uma classificação.

O Gravador de Imagens "DICOMED" permite que se obtenha uma saída através de filme fotográfico das imagens que estiverem na Unidade de Armazenamento de Imagens ou na Unidade de Disco.

As Unidades de Fita Magnética também podem ser usadas como um componente de saída, onde podem ser armazenadas imagens e resultados de classificação que se encontram na Unidade de Armazenamento de Imagem.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- ANDERBERG, M.R. *Cluster analysis for application*. New York, Academic, 1973.
- CHEN, C.H. *Statistical pattern recognition*. New York, Hayden Book, 1973.
- DUDA, R.O.; HART, P.E. *Pattern classification and scene analysis*. New York, John Wiley, 1973.
- GONZALES, R.F. *Digital image processing*. Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1977.
- HART, D.J.; DUDA, R.O.; HUFFMAN, D.A.; WOLF, E.E. *Development of new pattern recognition methods*. s.l., Aerospace Research Laboratories, 1973. (AD-7726141)
- HARTIGAN, J.A. *Clustering algorithms*. New York, John Wiley, 1975.
- PRATT, W.R. *Digital image processing*. New York, John Wiley, 1978.
- ROSENFELD, A.; KAK, A.C. *Digital picture processing*. New York, Academic Press, 1976.
- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.H. *Remote Sensing - the quantitative approach*. New York, MacGraw-Hill, 1978.
- TOU, J.T.; GONZALES, R.C. *Pattern recognition principles*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1974.
- YOUNG, T.Y.; CALVERT, T.W. *Classification estimation and pattern recognition*. New York, Elsevier, 1974.