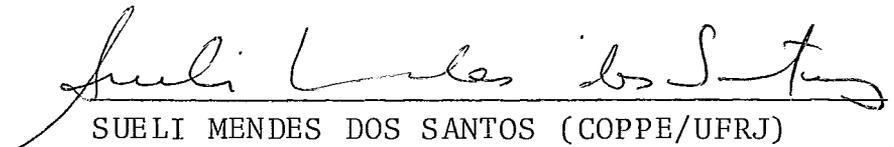


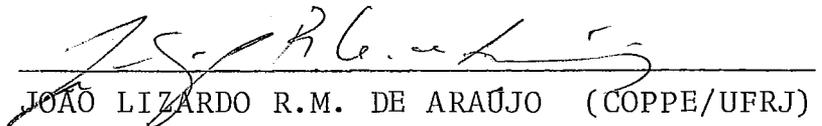
GERENCIAMENTO DE RECURSOS TERRESTRES
USANDO IMAGENS LANDSAT EM TEMPO REAL

FRANCISCO MARINHO TEMBRA

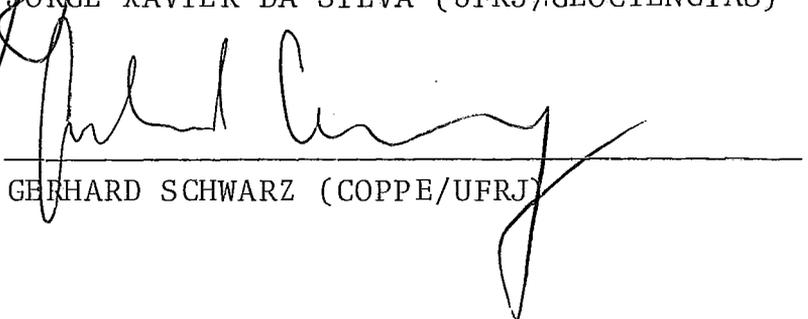
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DO PROGRAMAS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.)

Aprovada por:


SUELI MENDES DOS SANTOS (COPPE/UFRJ)
(Presidente)


JOÃO LIZARDO R.M. DE ARAÚJO (COPPE/UFRJ)


JORGE XAVIER DA SILVA (UFRJ/GEOCIÊNCIAS)


GERHARD SCHWARZ (COPPE/UFRJ)

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JANEIRO DE 1982

TEMBRA, FRANCISCO MARINHO

Gerenciamento de Recursos Terrestres Usando
Imagens LANDSAT em Tempo Real [Rio de Janeiro]
1982.

IX, 208p. 29,7 cm (COPPE-UFRJ, M.Sc,
Engenharia de Sistemas e Computação, (1982)

Tese - Univ. Fed. Rio de Janeiro. Fac.
Engenharia

1. Sensoriamento Remoto

I. COPPE/UFRJ II. Título (série).

Esta tese é dedicada à Beth, Sanderland, Blenda e pessoas ligadas direta ou indiretamente à sua confecção final.

Agradeço ao Prof. GERHARD SCHWARZ a preciosa e pa
ciente orientação na confecção deste trabalho.

Agradeço também ao corpo docente da COPPE/UFRJ pe
la oportunidade a mim dada, em aumentar meus conheci
mentos, durante o período de residência nesta entida
de.

RESUMO.

Este trabalho se divide em duas partes. A primeira parte estuda o sistema LANDSAT usado atualmente e o emprego do computador comum, como ferramenta para auxiliar o pesquisador a extrair dados de seu interesse das imagens examinadas. Nesta parte do trabalho, "abre-se" a caixa preta do sistema LANDSAT, demonstrando-se o que ocorre desde que o sinal é enviado pelo satélite, até que a imagem chegue ao usuário final.

A segunda parte propõe um sistema em tempo real, utilizando novas tecnologias, para acelerar o processo de tratamento dos dados e conseqüentemente obter uma resposta mais rápida aos nossos interesses.

O esquema proposto é baseado no PM⁴, um processador de 'array' moderno, que está sendo implementado pela Universidade de Purdue, e um conjunto de novos algoritmos apropriados para o uso por processadores paralelos.

ABSTRACT.

This study consists of two parts. The first one describes the LANDSAT system currently used and the action of a computer as a tool, helping the researcher to extract significant data from the LANDSAT images.

In the first part, we "open" the black box representing the LANDSAT system, and demonstrate what occurs from the moment the signal is delivered by satellite, until the image reaches the final user.

In the second part, a real time system is proposed using new technologies, to speed up the treatment of the data and, consequently, to achieve a faster response for our interests.

The scheme proposed is based on the PM⁴, a new array processor, which is actually being implemented by the University of Purdue, and a set of new algorithms adequate to be used in parallel processors.

SIGLAS UTILIZADAS

AARL	Advanced Automation Research Laboratory
CPP	Current Process Pointer
CPU	Central Processing Unit
DCP	Data Collection Platform
DCS	Data Collection System
ERTS	Earth Resource Technology Satellite
FM	Frequência Modulada
FMCU	File Management Central Unit
GEOSAT	Geology Satellite
GCP	Ground Control Point
HP	Hewlett Packard
IFOV	Instantaneous Field Of View
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPCN	Interprocessor Communication Network
LACIE	Large Crops Inventory Exchange
LANDSAT	Land Satellite
LM	Local Memory
LMMU	Local Memory Management Unit
Mbps	Megabits Por Segundo
MIMD	Multiple Instruction, Multiple Data
MIPS	Milhões de Instruções Por Segundo
MM	Management Memory
MP	Monitor Process
MPP	Massively Parallel Processing
MSIMD	Multiple SIMD
MSS	MultiSpectral Scanner
NOAA	National Oceanic Atmospheric Administration
PCM	Pulse Coded Modulation
PCM/FSK	Pulse Coded Modulation/Frequency Shift Keying
PM ⁴	Purdue Multi-Mode MultiMicroprocessor
PMIN	Processor Memory Interconnection Network
PMU	Processor Memory Unit
PSK	Pulse Shift Keying
QLM	Quick Look Monitor
RBV	Return Beam Vidicon
RF	Rádio-frequência

SA	Scientific Atlanta
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
SIMD	Single Instruction, Multiple Data
SMMU	Shared Memory Management Unit
UTM	Universal Transverse Mercator
USB	Upper Size Band
VCU	Vector Control Unit
VHF	Very High Frequency
VIP	Vector Instruction Pointer
WBVTR	Wide Band Video-Tape Recorder

ÍNDICE

CAPÍTULO I	-	INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	-	O SISTEMA LANDSAT	5
CAPÍTULO III	-	MÉTODOS DE TRATAMENTO DOS DADOS LANDSAT	42
CAPÍTULO IV	-	PROCESSAMENTO DE IMAGENS LANDSAT EM TEMPO REAL	110
CAPÍTULO V	-	CONCLUSÃO	151
APÊNDICE A	-	DETALHES DO PM ⁴	165
APÊNDICE B	-	DETALHES DO EQUIPAMENTO LANDSAT NO BRASIL	174
APÊNDICE C	-	SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE DADOS DE SATELITES	182
BIBLIOGRAFIA			190
ÍNDICE POR ASSUNTO			198

OBS:

Cada capítulo contém um sub-índice detalhado relativo ao texto e às figuras.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Uma das mais importantes questões com as quais a sociedade hoje se defronta é o presente e o futuro do fornecimento de co mida ao mundo.

Esta questão vem preocupando o público em geral, pensadores, planejadores, políticos, etc... e os continuará preocupando ainda por longo período de tempo.

Esta preocupação é justificada pelo fato que nossa terra e seus recursos são finitos e que, apesar desse fato, a sociedade continua a crescer. Pelos motivos acima, fica claro que devemos encontrar melhores meios de gerenciar estes recursos disponí veis.

Uma segunda questão, é a grande necessidade do conhecimento exato ou pelo menos uma aproximação bem real, dos recursos naturais e principalmente da produção agrícola em países que têm nestes pontos, uma necessidade vital tanto para si próprio como, indiretamente, para o resto do mundo.

Devido às características do Brasil, ou seja, um país de grande extensão territorial e dependência primordial da agricultura, não é difícil concluir, que problemas como os citados acima nos afetarão diretamente e que, portanto, teremos que nos pre parar para a solução dos mesmos.

Uma requisição primária para um bom gerenciamento é ter-se informações atualizadas do estado atual dos recursos sendo ge renciados. Assim, desde a década de 60, começou-se a usar no mundo a tecnologia aeroespacial para acumular maiores informa ções acerca das condições correntes da agricultura, recursos mi nerais, etc...

A década de 70, foi um marco especial nesse sentido. Nesta década foi iniciada a tecnologia representada pela série de sa télites LANDSAT (LAND SATellite) e por técnicas de processamen to associadas que permitiram um grande avanço em todos os cam pos de aplicação do domínio de recursos terrestres.

É bem claro que, para monitorar recursos diretamente associados à terra, nada melhor do que observá-la do espaço através de satélites artificiais. Este é o melhor meio, do ponto de vista econômico, de se gerenciar grandes extensões de terra com o mínimo de custo.

O Brasil é um dos países associados ao uso da série de satélites LANDSAT, possuindo uma estação receptora de dados deste satélite em Cuiabá (Mato Grosso) e vários postos de atendimento espalhados pelo país.

A idéia desta tese é alertar sobre este potencial disponível aqui no país e difundir mais as aplicações para satélites LANDSAT no Brasil nos campos: geoeconômicos, geopolíticos e análise ambiental em geral. O INPE e algumas publicações nacionais já contam com trabalhos nesse sentido, como encontrado nas referências /NIERM77/, /FOREC78/, /SANTA77/ e /SILVJ78/.

O objetivo final, não deste trabalho, mas falando de um modo geral, é que ao final do exame de imagens LANDSAT se possa responder quase imediatamente a perguntas como: quantos acres de trigo, por exemplo, existem em determinada região sendo observada? Ou, o que eles irão render em toneladas? Ou, descobrir onde ocorrem problemas sérios de erosão do solo; não somente por causa da poluição, mas também por causa da perda do potencial agrícola da terra. Ou ainda, pesquisar problemas geopolíticos, geoeconômicos, etc...

O nosso objetivo é mostrar o que ocorre desde o envio dos sinais com dados, emitidos pelo satélite, até que estes dados cheguem ao pesquisador, fazendo uma análise do sistema atualmente existente. Adicionalmente, é proposto um novo esquema em tempo real, para tentar melhorar o tempo para a obtenção dos resultados, a partir da análise das imagens LANDSAT.

É importante ressaltar, que as aplicações para o uso de satélites não se restringem apenas às áreas citadas até aqui, podemos usar essa alternativa para mapeamentos, gerenciamento de florestas, prospecção geológica e mineral, estudo de regiões urbanas e rurais, controle de poluição, etc...

Os Estados Unidos são os pioneiros no uso deste tipo de satélite e neste país eles têm ajudado a localizar até um bilhão de

dólares em reservas de petróleo e centenas de milhões de dólares em reservas minerais, têm ajudado no inventário de safras, estudo da expansão urbana e etc ... /TEICE78/.

Usando-se os dados LANDSAT em conjunto com análises computacionais, tais como : Realce de Imagens Digitais, Reconhecimento de Padrões e Técnicas de Classificação, os analistas têm obtido grandes resultados.

Embora a resolução do satélite não seja adequada para permitir tomada de decisão acerca de plantação, fertilização, irrigação ou avaliação do uso da terra, ela nos permite uma boa exatidão nos dados coletados. Na monitoração do trigo, por exemplo, têm-se alcançado nos Estados Unidos, exatidão de até 90% em campos de 20 ou mais acres (1 acre = 4047 m²). Para campos menores, com menos que 5 acres, a exatidão baixa um pouco, para 75%, mas permanece ainda bastante confiável /TEICE78/. Em /NIERM77/ encontramos resultados para aplicações em gerenciamento de solo urbano.

O uso do computador no processo justifica-se devido ao grande volume de dados manipulados em cada tomada do satélite. Cada imagem corresponde à uma área terrestre de 185 x 185 Km e são tomadas à uma taxa de mais de duas por minuto. Esta imagem consiste 7,5 milhões de pixels ('picture elements') em cada uma das 4 bandas espectrais com as quais o satélite está equipado. Cada um desses pixels pode conter até 64 níveis de cinza (LANDSAT-2). Estas quantidades significam 180 milhões de bits para uma única "olhada" do satélite /LANDD79/.

No capítulo II da tese é feito, em linhas gerais, um estudo sobre o funcionamento do satélite LANDSAT, são apresentadas suas características de transmissão, recepção dos dados e características de funcionamento, além de problemas de distorções nos dados recebidos.

No capítulo III são apresentados os métodos de tratamento dos dados do satélite, como usar a técnica de Reconhecimento de Padrões, Técnicas de Classificação, Restauração dos Dados e Seleção de Características, para fazer o estudo das informações recebidas.

O capítulo IV é onde se propõe uma arquitetura para funcionar em tempo real, com a finalidade de acelerar o tratamento dos dados; bem como algoritmos recentes adaptados à arquitetura proposta. Adicionalmente, é apresentado o sistema PM⁴, um processador de 'array' paralelo que suportará a arquitetura proposta.

Finalmente, o capítulo V conclui observações sobre os esquemas atuais e proposto, e relata previsões para o desenvolvimento futuro na área de sensoriamento remoto com aplicações para o gerenciamento de recursos terrestres.

Capítulo II - O Sistema LANDSAT.

II.1 - Resumo Histórico	8
II.2 - Características dos Satélites LANDSAT	9
II.2.1 - Os Sensores	11
II.2.2 - A Órbita	12
II.2.3 - Características Diversas	12
II.3 - Funcionamento	18
II.4 - Transmissão e Recepção dos Dados LANDSAT	25
II.4.1 - Prólogo	25
II.4.2 - Estação de Recepção e Gravação dos Dados	25
II.4.2.a - Subsistema de Antena	27
II.4.2.b - Subsistema de Recepção	27
II.4.2.c - Subsistema de Gravação	27
II.4.3 - Enlaces Utilizados no LANDSAT	29
II.5 - Problemas e Fontes de Distorções	30
II.5.1 - Prólogo	30
II.5.2 - Categorias de Distorções	33
II.5.2.a - Distorções Contínuas Globais	33
II.5.2.b - Distorções de Faixa Contínuas	33
II.5.2.c - Distorções de Faixa Descontínuas	33
II.5.2.d - Distorção Fotométrica	33
II.5.2.e - Efeitos Atmosféricos	34
II.5.3 - Distorções Devido à operação do Sensor	34
II.5.3.a - Taxa de Aspecto	34
II.5.3.b - Velocidade Não-Linear do espelho do 'scanner'	34
II.5.3.c - Erro de Registro Banda-a-Banda	34
II.5.3.d - Atraso do Sensor	36
II.5.4 - Anomalias de Órbita e Comportamento	36

II.5.5 - Efeito da Rotação da Terra	37
II.5.6 - Miscelâneas	37
II.5.7 - Distorções por Problemas de Comunicação	37
II.6 - Aplicações para o Satélite LANDSAT	39
II.7 - Resumo do Capítulo	41

FIGURAS DO CAPÍTULO II

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
II.1	Localização de estações terrestres do sistema LANDSAT.	10
II.2	Características dos sensores RBV	13
II.3	Características dos sensores MSS	14
II.4	Características dos gravadores de banda larga	15
II.5	Parâmetros orbitais nominais	16
II.6	Imagens LANDSAT da baía de Guanabara (RJ) em diferentes bandas	19
II.7	Imagem do satélite LANDSAT-2 no espaço	20
II.8	Imagem LANDSAT-3 da região de Brasília (DF)	20
II.9	Troca de energia em ambiente natural	21
II.10	A representação das características espectrais no espaço bidimensional	23
II.11	Diagrama esquemático de um 'scanner' ótico-mecânico	24
II.12	Respostas espectrais de amostras de folhas de soja e algodão em diferentes épocas do ano	26
II.13	Estação de recepção e gravação dos dados (Cuiabá)	28
II.14	Cobertura da estação localizada em Cuiabá	31
II.15	Estação de processamento de imagens	32
II.16	Problemas no IFOV do 'scanner'	35
II.17	Modelo de sistema de comunicação	38

II.1 - Resumo Histórico.

Existem vários satélites atualmente orbitando a terra, que permitem a análise de dados terrestres usando sensoriamento remoto. Podemos citar como exemplos o NOAA ('National Oceanic and Atmospheric Administration') citado por Smith em /SMITS79/, para estudos atmosféricos e o GEOSAT ('GEOlogy SATellite') para estudos geológicos. Contudo, o mais indicado em inventário de recursos terrestres, mapeamento de solos e uso em geral da terra é o LANDSAT; anteriormente denominado ERTS ('Earth Resource Technology Satellite').

Em 1969, com o lançamento da Apollo-9, a tecnologia para este tipo de observação e gerenciamento de recursos terrestres ficou pronta para seu primeiro teste com dados obtidos do espaço. O LANDSAT-1, na época, já estava em planejamento e estágios de projeto. A Apollo-9 tinha a bordo um equipamento conhecido como SO65 (SO65 é uma codificação interna da NASA). Este experimento consistia de um banco de quatro câmeras com filtros para simular os dados esperados do LANDSAT, quando este estivesse em operação.

Após exposição e revelação do filme, cada uma das quatro imagens de diferentes partes do espectro de uma mesma cena foram examinadas e registradas precisamente. Isto foi conseguido através de algoritmos implementados em computador, feitos ainda no período de pesquisa. Os resultados foram promissores em aplicações associadas a plantio agrícola, uso em geral do solo, mapeamento geológico, etc. . . .

O segundo grande teste para a nova tecnologia foi em 1971 nos Estados Unidos. Surgiu na época uma praga nas plantações, durante a estação de crescimento e durante o inverno 1970-1971. Um grande esforço foi feito para monitorar a safra desse período com um 'scanner' semelhante ao usado no satélite LANDSAT, porém instalado a bordo de um avião.

Com o 'scanner' aprovado, lançou-se em 1972 o LANDSAT-1 e então, a partir deste ano uma nova tecnologia passou a ser útil à comunidade.

Depois disso, já foram lançados o LANDSAT-2 em janeiro de

1975 e o LANDSAT-3 em março de 1978. O LANDSAT é agora um sistema operacional em que o dado é rotineiramente coletado e colocado no domínio público. Está disponível em qualquer das nações constantes da tabela da Fig. II.1.

Nesta tabela constam todos os países que possuem ou possuem estações terrestres de recepção dos dados. O LANDSAT-1, lançado em 1972 ficou operacional até 6 de janeiro de 1978, porém os demais continuam operando até hoje.

II.2 - Características dos satélites LANDSAT.

Os satélites LANDSAT são colocados em uma órbita quase polar, síncrona com o sol e a aproximadamente 915 Km da superfície da terra. Seu período de revolução é função de sua altitude em relação à terra; deste modo, esses satélites levam 103 minutos para completar uma órbita em torno da terra e diariamente são percorridas 14 órbitas. Toda órbita diurna é no sentido Norte-Sul e as características acima permitem ao LANDSAT cobrir o globo terrestre, exceto os polos, a cada 18 dias, nas mesmas condições de iluminação.

Os satélites da série LANDSAT possuem os seguintes sistemas de coleta de dados.

- 1) Um varredor multiespectral MSS ('MultiSpectral Scanner') de quatro bandas nos LANDSAT 1 e 2 e cinco bandas no LANDSAT-3;
- 2) Um conjunto de câmeras RBV ('Return Beam Vidicon'). Este sistema não funciona normalmente devido a problemas, em sua grande parte, atmosféricos. Nos próximos satélites este sistema será abandonado;
- 3) Um sistema de coleta de dados DCS ('Data Collection System'). Este sistema serve para aquisição de dados transmitidos por plataformas sediadas em pontos estratégicos da terra ('DCP - Data Collection Platform');
- 4) Dois gravadores de banda larga WBVTR ('Wide Band Video Tape Recorder').

Figura II.1 : Localização de estações terrestres do sistema LANDSAT /LANDD79/.

País	Ano da Instalação ou Ano previsto
Argentina	1981
Austrália	1981
Brasil	1973
Canadá	
Prince Albert	1972
Shoe Cove	1977
Chile	1982
Estados Unidos	
Fairbanks (Alasca)	1972
Goldstone	1972
Greenbelt	1974
Índia	1979
Irã	1978
Itália	1975
Japão	1981
Romênia	1981
Suécia	1978
Zaire	1982

Os satélites também têm, complementando os dois sistemas de sensores (MSS e RBV), equipamentos para estações receptoras em terra, os dados coletados pelos sensores e informações relacionadas ao funcionamento dos mesmos e do satélite em si. O satélite transmite também sinais de sincronização e calibração, juntamente com as informações captadas pelos sensores.

II.2.1 - Os Sensores.

A banda espectral coberta pelos sensores, foi escolhida com grande cuidado para abranger as faixas de radiações emitidas pelo maior número possível de objetos na superfície terrestre, sob o efeito da luz solar. As câmeras de televisão (RBV) foram projetadas para as seguintes bandas espectrais:

- banda 0,475 - 0,575 μm (azul - verde);
- banda 0,580 - 0,680 μm (laranja - vermelho);
- banda 0,690 - 0,830 μm (vermelho - infravermelho próximo)

A banda inferior 0,475 - 0,575 μm , permite o estudo, por exemplo, de áreas onde predomina água. A faixa superior 0,690 - 0,830 μm é importante para identificação e estudo de áreas cobertas por vegetação. O limite superior de 0,830 μm representa a resposta-limite do sistema de televisão. Acima desse limite situam-se as formações do infravermelho, também requeridas pelos usuários do sistema LANDSAT. Para fornecer essas informações e também cobrindo a mesma faixa do sistema de televisão, foi especificada a faixa de atuação do MSS. O MSS fornece informações nas seguintes bandas:

- banda 1 : 0,5 - 0,6 μm ((60 - 50) $\times 10^3$ GHz)*;
- banda 2 : 0,6 - 0,7 μm ((50 - 43) $\times 10^3$ GHz) ;
- banda 3 : 0,7 - 0,8 μm ((43 - 38) $\times 10^3$ GHz) ;
- banda 4 : 0,8 - 1,1 μm ((38 - 27) $\times 10^3$ GHz) ;

* Fórmula para o cálculo da frequência do limite inferior da banda 1.

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{0,5 \cdot 10^{-4}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 60 \cdot 10^3 \text{ GHz}.$$

O restante é análogo.

As duas primeiras bandas situam-se na parte visível do espectro e as duas últimas no infravermelho próximo.

Em cada uma das bandas existem seis fotodetectores. Uma única varredura do espelho do 'scanner' obtém informações sobre uma região de 185 x 185 Km para todos os vinte e quatro detectores (seis por banda). A Fig. II.2, apresenta uma tabela contendo algumas características dos sensores RBV, a Fig. II.3 mostra algumas características dos sensores MSS e a Fig. II.4 mostra as características mais importantes dos gravadores de banda larga.

II.2.2 - A Órbita.

Como já mencionado na seção II.2, a órbita do satélite é circular, quase polar e síncrona com o sol. Com esta órbita, os sensores do satélite tomam imagens de uma mesma área com as mesmas condições de iluminação. Deste modo é mais fácil detectar diferenças nas áreas observadas como, por exemplo, na vegetação ou nos níveis de água em reservatórios.

O satélite é dotado de equipamentos que controlam sua altitude e detetam erros de posição, de modo que ele seja posicionado corretamente com erros inferiores a 0,7 graus, em relação aos eixos de posição.

A órbita do LANDSAT tem o semi-eixo maior igual a 7.285,82 Km e um período de 103 minutos aproximadamente. A longitude geográfica de passagens subsequentes do LANDSAT sobre o equador se desloca de 25,8167 graus para oeste. Coberturas de faixas adjacentes ocorrem a cada 14 revoluções e estão separadas em longitude de 1,4338 graus, ou seja, 159 Km, aproximadamente no equador. A Fig. II.5 apresenta uma tabela contendo alguns parâmetros orbitais nominais.

II.2.3 - Características Diversas.

O ciclo repetitivo de 9 ou 18 dias (2 satélites operando simultaneamente ou somente 1), fornecido pelos LANDSAT's, é uma importante ferramenta para a interpretação de fenômenos dinâmi

Características	Câmeras RBV		
	Câmera 1	Câmera 2	Câmera 3
Faixas espectrais (μm)	0,475 - 0,575	0,580 - 0,680	0,690 - 0,830
Resolução nas extremidades. (% do centro)	80 %	80 %	80 %
Relação S/R (dB)	33	33	33
Razão de varredura horizontal. (linhas/seg.)	1250	1250	1250
Nº de linhas varridas.	4125	4125	4125
Tempo de leitura. (seg.)	3,5	3,5	3,5
Largura de faixa de vídeo. (MHz)	3,2	3,2	3,2
Tempo entre tomadas consecutivas. (seg.)	25	25	25
Distância focal das lentes. (mm)	125,865	125,824	125,979

Figura II.2 : Características dos sensores RBV /INPE*72/.

MultiSpectral	Scanner
Faixas espectrais (μm)	banda 1 : 0,5 - 0,6 banda 2 : 0,6 - 0,7 banda 3 : 0,7 - 0,8 banda 4 : 0,8 - 1,1
Frequência de varredura.	13,6 Hz
Eficiência de varredura.	50 %
Detectores/banda/varredura. (bandas 1, 2, 3 e 4)	6 por banda
Campo de visão instantânea (IFOV)	79 x 79 m
Saida multiplexada	15 Mbps PCM

Figura II.3 : Características dos sensores MSS /INPE*72/.

Gravador de banda larga - WBVTR

Princípio de gravação	Varredura transversa
Técnica de processamento de vídeo.	FM
Largura da fita	2 polegadas
Comprimento da fita	2.000 pés
Tempo de gravação	30 minutos
Largura da faixa	3,5 - 6 MHz
Relação S/R	42 dB pp/RMS a 2,5 MHz
Resposta transiente	5 % pico
Linearidade	± 3 %

Figura II.4 : Características dos gravadores de banda larga /INPE*72/.

Parâmetros	Valores
Semi-eixo maior	7.285,820 Km
Altitude média	915 Km (492 mn)
Período	103 min e 16 seg.
Hora média solar na qual o satélite cruza o equador.	9 hs 42 min
Duração do ciclo de cobertura.	18 dias (251 rev.)
Distância entre trajetórias adjacentes no equador.	159,3 Km (86,028 mn)

Figura II.5 : Parâmetros orbitais nominais /INPE*72/.

cos terrestres. Deve ser frisado, que devido à rotação da terra e ainda pelo fato que a imagem é obtida por um varredor ótico-mecânico (MSS, especificamente), as imagens MSS são originalmente paralelogrâmicas e não quadradas (existe um algoritmo originalmente utilizado para corrigir este problema, veja o capítulo III), sendo que os lados são paralelos à trajetória do satélite sobre a terra. As imagens RBV têm a forma quadrada já que são obtidas instantaneamente.

A superposição entre imagens MSS de uma mesma órbita é de aproximadamente 10% e entre imagens de órbitas adjacentes, varia de 14% no equador a 85% no paralelo 80 graus de latitude (próximo aos polos).

Uma escala de cinza de 16 intervalos é gerada automaticamente com grande precisão, e adicionada à cada cena LANDSAT. Esta escala é usada para o controle do processamento fotográfico e fornece uma referência para análises relacionadas a uma imagem em particular.

Um conjunto de anotações imediatamente abaixo da escala de cinza, contém informações que identificam uma única imagem, como: a localização geográfica, o dia e a hora em que a imagem foi adquirida, o sensor com o respectivo canal, a posição do sol, etc...

O sensor MSS gera quatro (LANDSAT-2) ou cinco (LANDSAT-3) imagens da mesma área, cada uma em um intervalo espectral diferente, com aplicações peculiares. Contudo, as bandas 3 e 4 são as que apresentam, de forma geral, a maior quantidade de informações.

Examinando-se um conjunto completo de imagens, nas quatro ou cinco bandas, pode-se ver como a mesma área difere quanto à maneira de refletir ou emitir energia radiante, nas faixas espectrais do verde ao infravermelho termal.

Uma composição em falsa-cor de imagens MSS (espécie de fotografia a cores) é obtida pela exposição de diferentes filtros coloridos em duas ou três das quatro bandas do sensor (ou cinco conforme for o caso). Normalmente são usadas as bandas 1, 2 e 4. Nestas composições a cores, centros urbanos aparecem azulados ou azul-cinza, águas límpidas e profundas aparecem azul-escuro

e vegetação geralmente em vermelho.

Para finalizar esta seção, na Fig. II.6 são mostradas imagens da baía de Guanabara (RJ), na Fig. II.7 uma imagem do satélite LANDSAT-2 no espaço e na Fig. II.8 mostramos uma imagem da região de Brasília (DF) obtida pelo LANDSAT-3. Note-se o aumento da resolução (30 m) comprovado pela nitidez da imagem, quando comparado às imagens da Fig. II.6 obtidas pelo LANDSAT-2.

II.3 - Funcionamento.

A análise multiespectral tem sua base na teoria de Sensoriamento Remoto. É bem conhecido o fato que todo tipo de objeto reflete a luz solar de uma maneira diferente e em várias bandas de frequência do espectro eletromagnético.

Por exemplo, água lodosa (pântanos), reflete a luz solar nas regiões espectrais azul e verde, porém não reflete nas regiões espectrais próximas ao infravermelho; por outro lado a vegetação reflete luz fortemente nas regiões espectrais próximas ao infravermelho e muito pouco na região do espectro visível.

Mesmo numa classe de objetos similares como a vegetação por exemplo, onde temos várias espécies, teremos ainda sinais espectrais distintos. Quanto menor for a diferença entre os tipos ou estados, maior número de imagens, em diferentes bandas espectrais, serão necessárias para definir seus sinais multiespectrais.

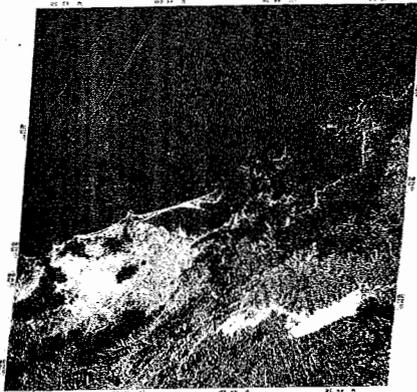
Na Fig. II.9 apresentamos um esquema da troca de energia em ambiente natural. Os sensores do satélite LANDSAT colhem informações, a partir das radiações emitidas pelos corpos no solo terrestre.

Como mencionado na seção II.2.1, o LANDSAT foi projetado para monitorar a superfície da terra em quatro bandas. A informação espectral completa, está contida nas quatro bandas separadas, ficando difícil para a mente humana sintetizar estes dados quadrimensionais, dentro dos sinais multiespectrais.

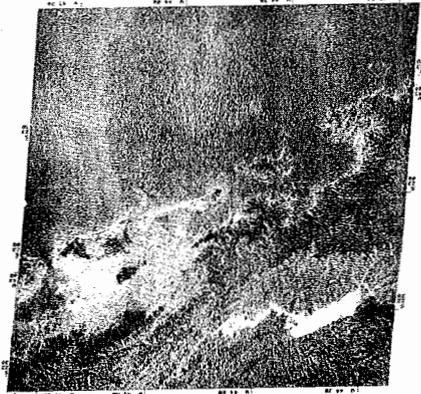
Atualmente utilizam-se duas técnicas básicas para auxiliar o pesquisador na síntese dos dados:

- 1) Reconstituição das imagens em falsas cores por um processo ótico ou fotográfico;

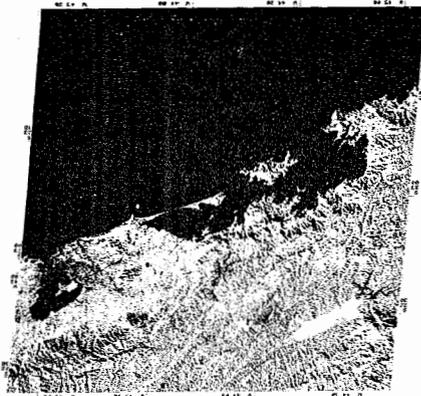
banda 1



banda 2



banda 3



banda 4

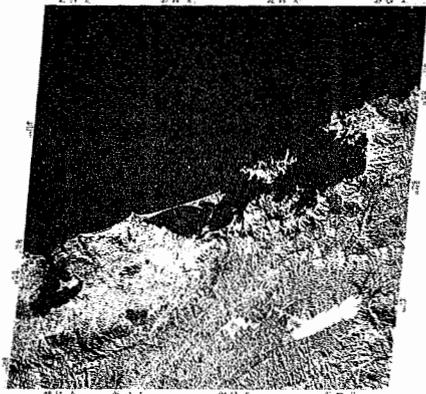
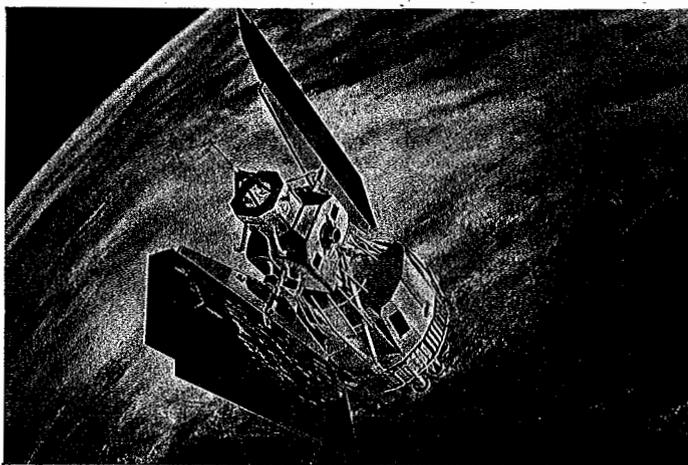


Figura II.6 : Imagens LANDSAT da baía de Guanabara (RJ)
em diferentes bandas /CNPQ*80/.



Satélite LANDSAT

Figura II.7 : Imagem do satélite LANDSAT-2 no espaço /CNPQ*80/.



Figura II.8 : Imagem LANDSAT-3 da região de Brasília (DF) /CNPQ*80/.

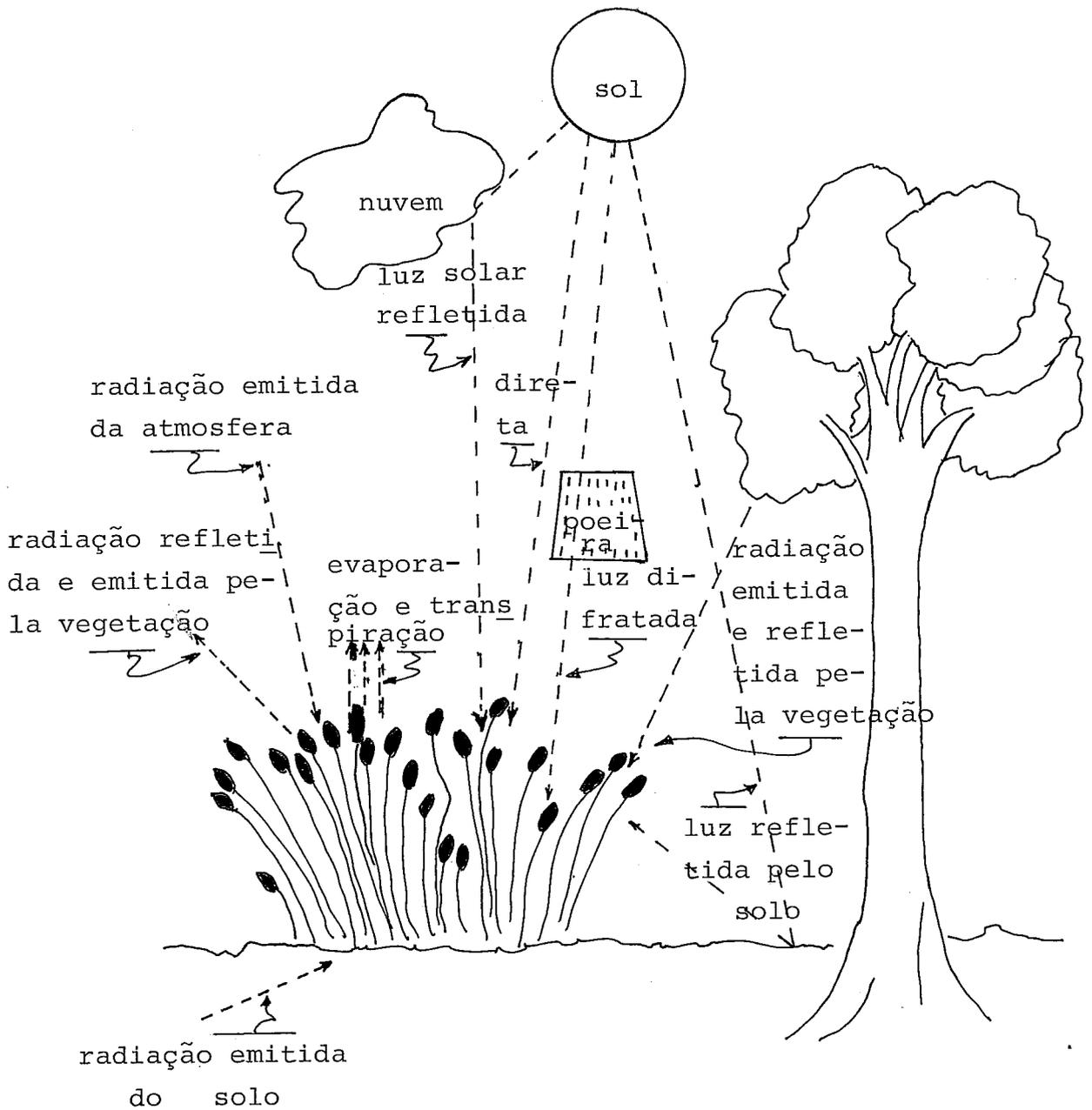


Figura II.9 : Troca de energia em ambiente natural /BAUEM76/.

- 2) Classificação dos dados, por análise através de computador, das imagens originais em preto e branco, ou de fitas magnéticas digitais compatíveis com computador.

No processo ótico ou fotográfico, uma imagem colorida é produzida projetando-se ou fotografando-se três das imagens em preto e branco originais, através de filtros apropriados e fazendo-se a superposição das imagens resultantes. Se não se dispõe de filtros pode ser gerada uma imagem preto e branco.

À princípio, qualquer combinação de imagens e filtros pode ser utilizada para enfatizar qualquer característica particular, mas para análise de vegetação, por exemplo, a associação de uma cor azul para a banda 1, verde para a 2 e vermelha para a 3 ou 4 simulam um filme infravermelho.

As características medidas dos objetos, devem ter respostas relativas em cada uma das várias bandas de onda. Estas respostas são apresentadas na forma multivariável da Fig. II.10.

A escolha da solução espectral coloca ênfase primária nas características das medidas espectrais, em vez das características de imagem. Por esta razão um 'scanner' multiespectral, o oposto de uma câmera de televisão, é necessário para ser o sensor de modo que a precisão da onda na banda apropriada é alta e as regiões do espectro visível e o infravermelho próximo são acessíveis.

Na Fig. II.11, mostramos um diagrama esquemático do funcionamento de um sistema 'scanner' ótico-mecânico similar ao usado no satélite LANDSAT.

A análise dos dados LANDSAT em computador é utilizada em sua resolução de intensidade mais alta (128 níveis no LANDSAT-3 ou 64 níveis de cinza no LANDSAT-2) e resolução espacial de 100 m (LANDSAT-2) ou 30 m (LANDSAT-3).

Os sinais multiespectrais podem ser calculados para cada 'picture element' (daqui para a frente chamado simplesmente de pixel) ou para a média de um grupo de pixels contendo um agrupamento homogêneo de objetos.

Quando estes sinais multiespectrais são idênticos com a natureza dos objetos na terra (obtidos por técnicas de análise multi espectral ou verificação terrestre) podem ser armazenadas em com

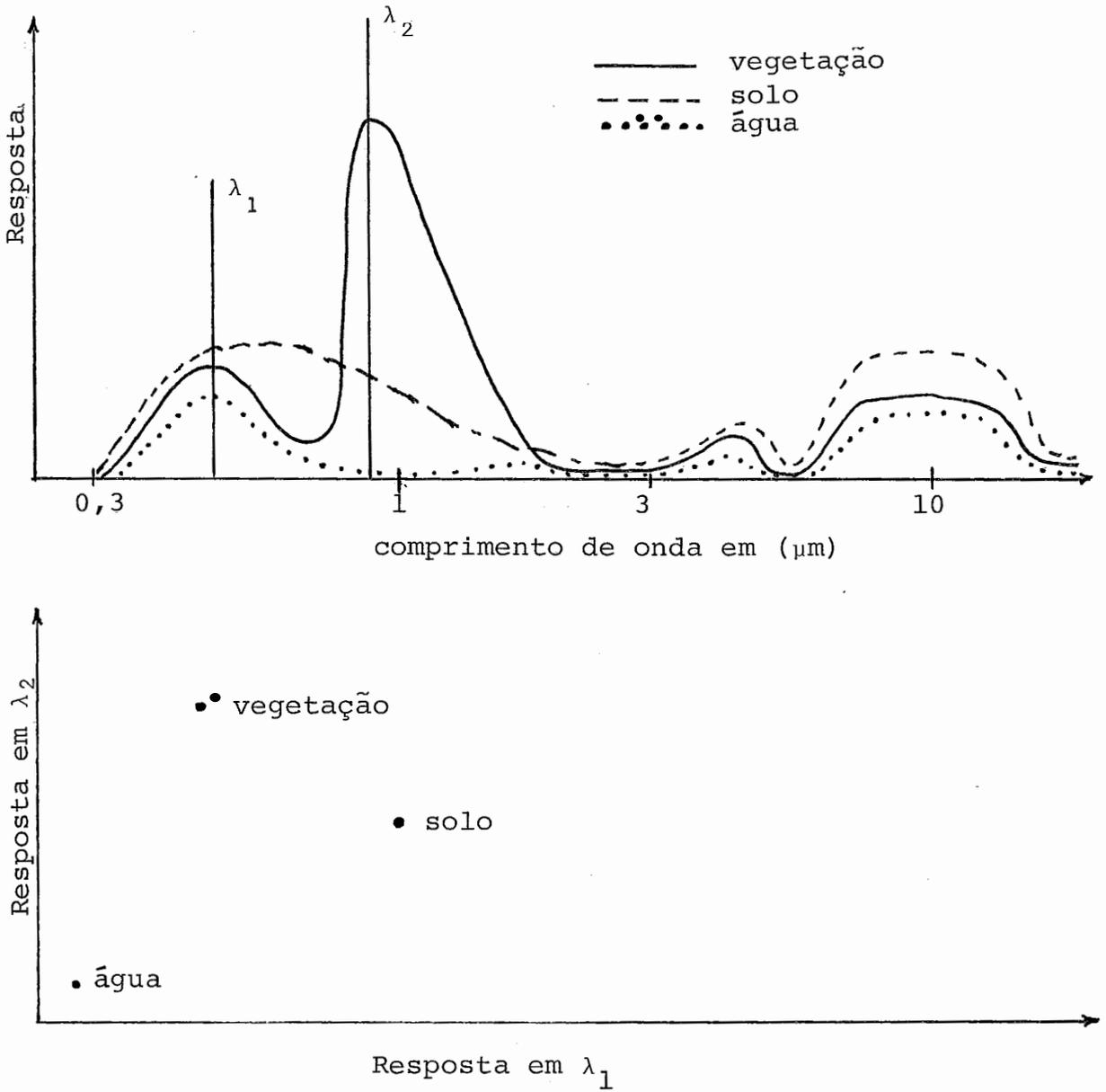


Figura II.10 : A representação das características espectrais no espaço bidimensional /LANDD79/.

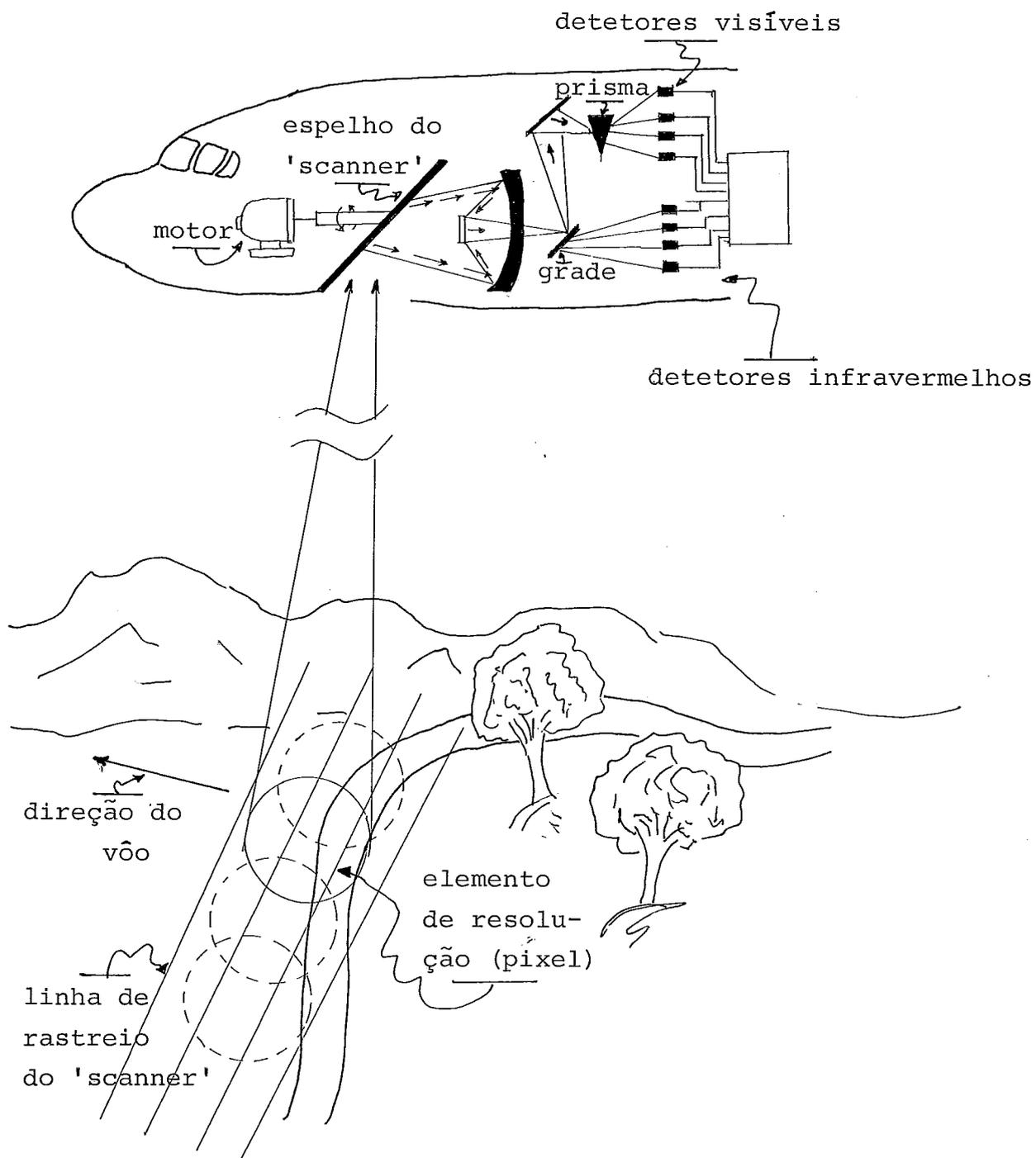


Figura II.11 : Diagrama esquemático de um 'scanner' ótico-mecânico /BAUEM76/.

putador que, processando os dados digitais e os sinais multiespectrais juntos, produz mapas, relatórios, etc... para classificação dos dados.

Na Fig. II.12 apresentamos respostas espectrais típicas para amostras de soja e algodão em diferentes épocas do ano, para se demonstrar como a evolução de um campo agrícola pôde ser acompanhada, com a finalidade de monitorar uma safra.

II.4 - Transmissão e recepção dos dados LANDSAT /INPE*72/, /INPE*73/.

II.4.1 - Prólogo.

Esta seção trata mais especificamente da estação brasileira de recepção e tratamento dos dados LANDSAT.

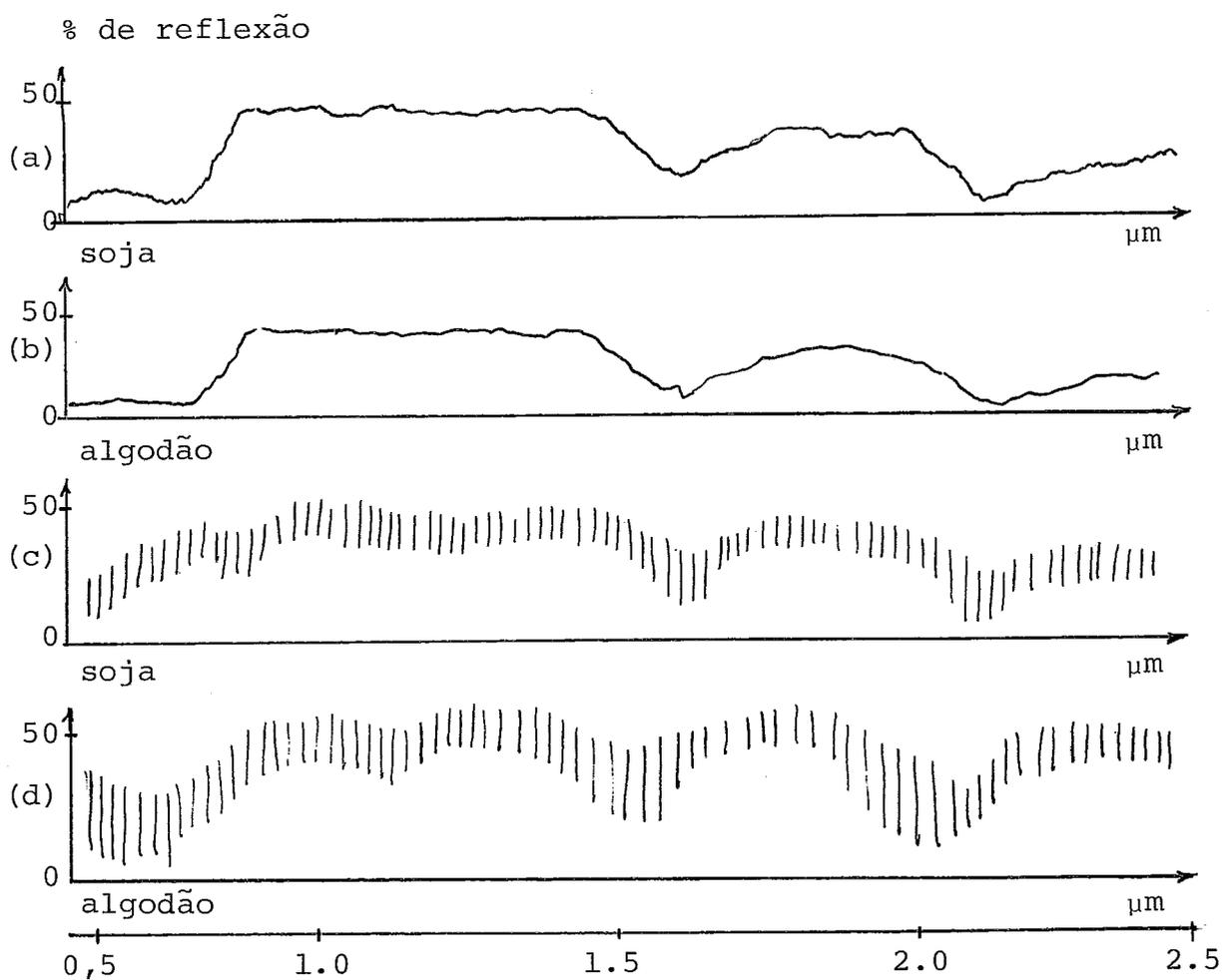
As instalações para recepção, gravação e tratamento dos dados LANDSAT no Brasil, distribuem-se em duas localidades diferentes: a estação de recepção e gravação na cidade de Cuiabá, Mato Grosso e a estação de processamento de dados na cidade de Cachoeira Paulista, São Paulo. A coordenação do processo, como um todo está em São José dos Campos (SP), através do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais).

A estação de Cuiabá, dada sua quase equidistância para os extremos do País, cobre inteiramente nosso território e de fato uma boa parte da América do Sul.

II.4.2 - Estação de recepção e gravação dos dados (Fig. II.13).

Como mencionado anteriormente, a estação de recepção e gravação de dados está localizada no Centro-Oeste do Brasil na cidade capital do Mato Grosso à uma distância aérea de São Paulo de 1.500 Km. Este local foi escolhido para maximizar a cobertura LANDSAT no Brasil.

A estação compõe-se de três subsistemas principais, os quais em conjunto executam as funções de rastreamento do satélite, recepção dos dados, registro e monitoração dos dados adquiridos pelos sensores a bordo do satélite.



(a) folhas de soja no período de 27/07/66 a 30/07/66.

(b) folhas de algodão no mesmo período acima.

(c) folhas de soja no período de 11/11/66 a 15/11/66.

(d) folhas de algodão no mesmo período acima.

Figura II.12 : Respostas espectrais de amostras de folhas de soja e algodão em diferentes épocas do ano /KANAL72/.

II.4.2.a - Subsistema de Antena (Fig. II.13).

Consiste basicamente numa antena, com refletor parabólico de 9 metros, é provida de um servo-mecanismo para rastreamento automático do satélite utilizando os próprios sinais de rádio por ele emitidos. Além disso, é possível mantê-la apontada para o satélite mediante rastreamento automático pré-programado e como último recurso, dispõe de um comando de rastreamento manual que permite ao operador ir posicionando a antena, à medida que a passagem do satélite vai acontecendo, pelo conhecimento prévio dos horários e das posições sucessivas. Deste modo é conseguida uma alta confiabilidade para um elemento crítico do sistema.

As frequências dos sinais emitidos pelos LANDSAT's caem na faixa s (2.200 a 2.300 MHz). Outras faixas são utilizadas, entre tanto para uso do MSS (MultiSpectral Scanner), estas são as que interessam..

II.4.2.b - Subsistema de Recepção (Fig. II.13).

Consiste de um equipamento de recepção, demodulação e condicionamento do sinal. Este subsistema detecta os sinais contendo as informações dos sensores, ajusta-os aos níveis adequados, reconhece o sincronismo e entrega-os ao subsistema de gravação.

II.4.2.c - Subsistema de Gravação (Fig. II.13).

O subsistema de gravação é composto de três gravadores de alta performance.

- 1) Um gravador de sinal de vídeo para o MSS.
(gravador de vídeo-tape FR-128).
- 2) Um gravador de sinal de vídeo para o RBV:
(gravador de vídeo-tape TR-70).
- 3) Um gravador para os dados de telemetria. Estes dados consistem de parâmetros orbitais, dados de comportamento do satélite e dados radiométricos.

Tanto os dados do MSS como os do RBV podem ser mostrados no monitor 'Quick Look' (QLM exibidor na Fig. II.13), porém somente pode registrar-se em filme fotográfico um sensor de cada vez; en

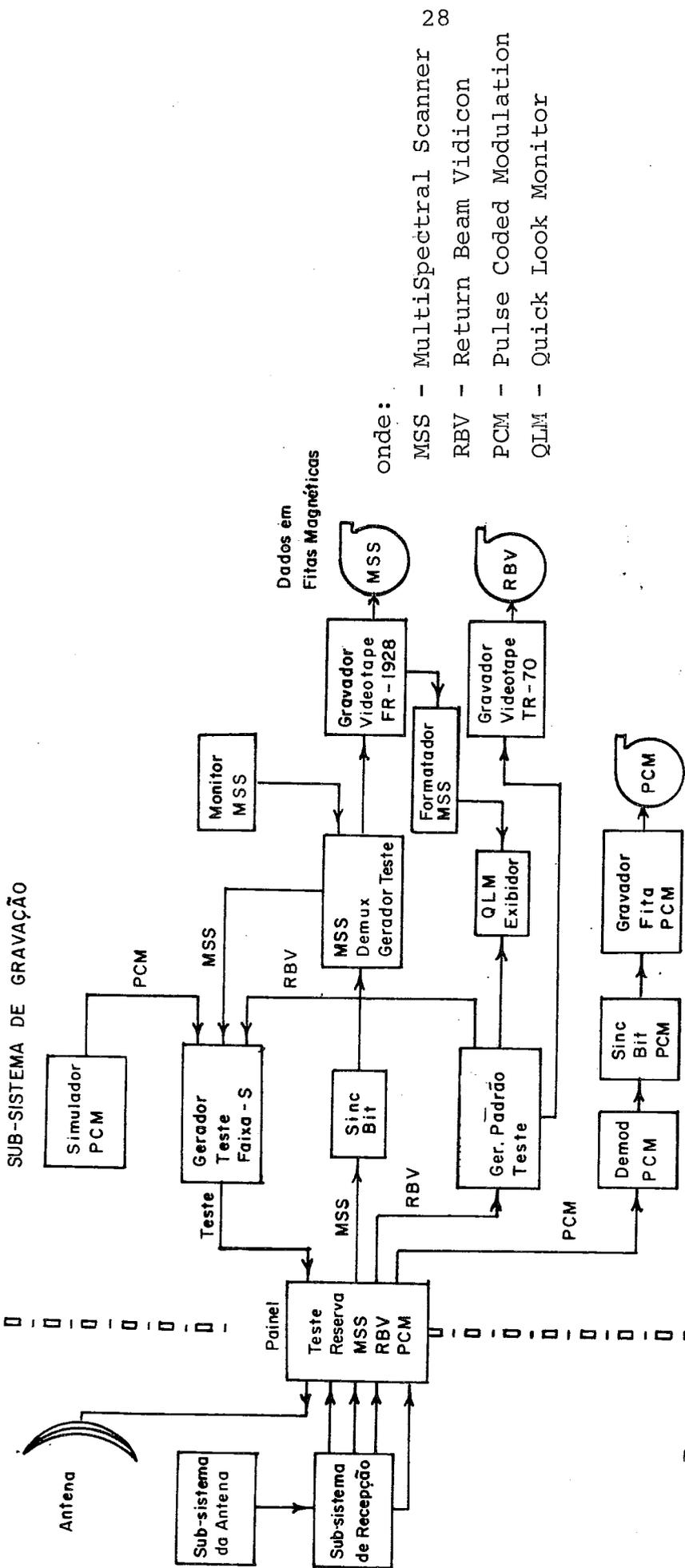


Figura II.13 : Estação de recepção e gravação dos dados (Cuiabá) / INPE*72/.

tretanto, como os dados de ambos os sensores ficam gravados em fita magnética, mediante simples reprodução nos gravadores é possível o registro fotográfico de todos os dados obtidos na passagem do satélite.

II.4.3 - Enlaces utilizados no LANDSAT.

A alocação das frequências e as faixas espectrais ocupadas pelos enlaces do LANDSAT são as seguintes.

Enlace 1 : USB - enlace de subida para comando.

Portadora	-	2.106,4 MHz.
Banda ocupada	-	3,6 MHz.
Modulação	-	PCM/FSK - FM/PM.

Enlace 2 : MSS - enlace de descida (dados do MSS).

Portadora	-	2.229,5 MHz.
Banda ocupada	-	20 MHz.
Modulação	-	PCM/FSK.
Velocidade de informação	-	15 Mbps.

Enlace 3 : RBV - enlace de descida (dados do RBV).

Portadora de RF	-	2.265,5 MHz.
Banda ocupada de vídeo	-	3,5 MHz.
Banda ocupada de RF	-	20 MHz.
Modulação	-	vídeo/FM.

Enlace 4 : USB - enlace de descida (dados de faixa estreita).

Portadora	-	2.287,5 MHz.
Banda ocupada	-	5 MHz.
Modulação	-	PCM.

Enlace 5 : VHF - enlace de descida (dados de telemetria).

Portadora de RF	-	137,86 MHz.
Banda ocupada	-	90 KHz emergência; 30 KHz normal.
Modulação	-	PCM/PM.

Enlace 6 : DCS - enlace de subida para coleta de dados.

Portadora de RF	-	401,9 MHz.
-----------------	---	------------

Banda ocupada	-	100	KHz.
Modulação	-	PCM/FSK	- AM/PM.

Para recepção e processamento de imagens somente os enlaces 2, 3 e 4 interessam. O enlace 5 é um enlace reserva para os dados de telemetria que são transmitidos também no enlace 4. O enlace 6 é usado para transmitir os dados das plataformas de terra para o satélite (sistema DCS). Este enlace não é usado no Brasil e seu uso não está ainda previsto.

O enlace 1 é destinado ao comando e controle do satélite e a interrogação sobre o funcionamento dos sensores; a estação brasileira não necessita deste enlace de vez que a NASA programa as memórias do satélite para que o mesmo seja ativado quando estiver dentro do raio de ação da estação receptora brasileira em Cuiabá.

Para complementação desta seção apresentamos na Fig. II.14 o mapa de cobertura das órbitas do satélite LANDSAT, observamos que a estação em Cuiabá, cobre quase toda a América do Sul. Na Fig. II.15 mostramos um diagrama esquemático da estação de processamento de imagens em Cachoeira Paulista (São Paulo). Esta estação fornece tratamento aos dados gravados na estação de Cuiabá (Mato Grosso).

Finalmente, para uma descrição mais detalhada dos equipamentos usados na estação brasileira sugerimos a consulta ao Apêndice B deste trabalho.

II.5 - Problemas e Fontes de Distorções /WIE*P77/.

II.5.1 - Prólogo.

Existem distorções nas imagens do MSS, devido ao efeito combinado de anomalias de operação do sensor, órbita e comportamento do satélite, rotação da terra e efeitos terrenos e atmosféricos em geral. As distorções relativas aos efeitos terrenos e atmosféricos não são corrigidas e as imagens contendo estas distorções são normalmente abandonadas. Entretanto, para o problema de cobertura de nuvens existe um trabalho de Mitchell /MITC077/ que usa filtragem para remover este problema.

O método mencionado permite recuperar, em parte, a imagem pa

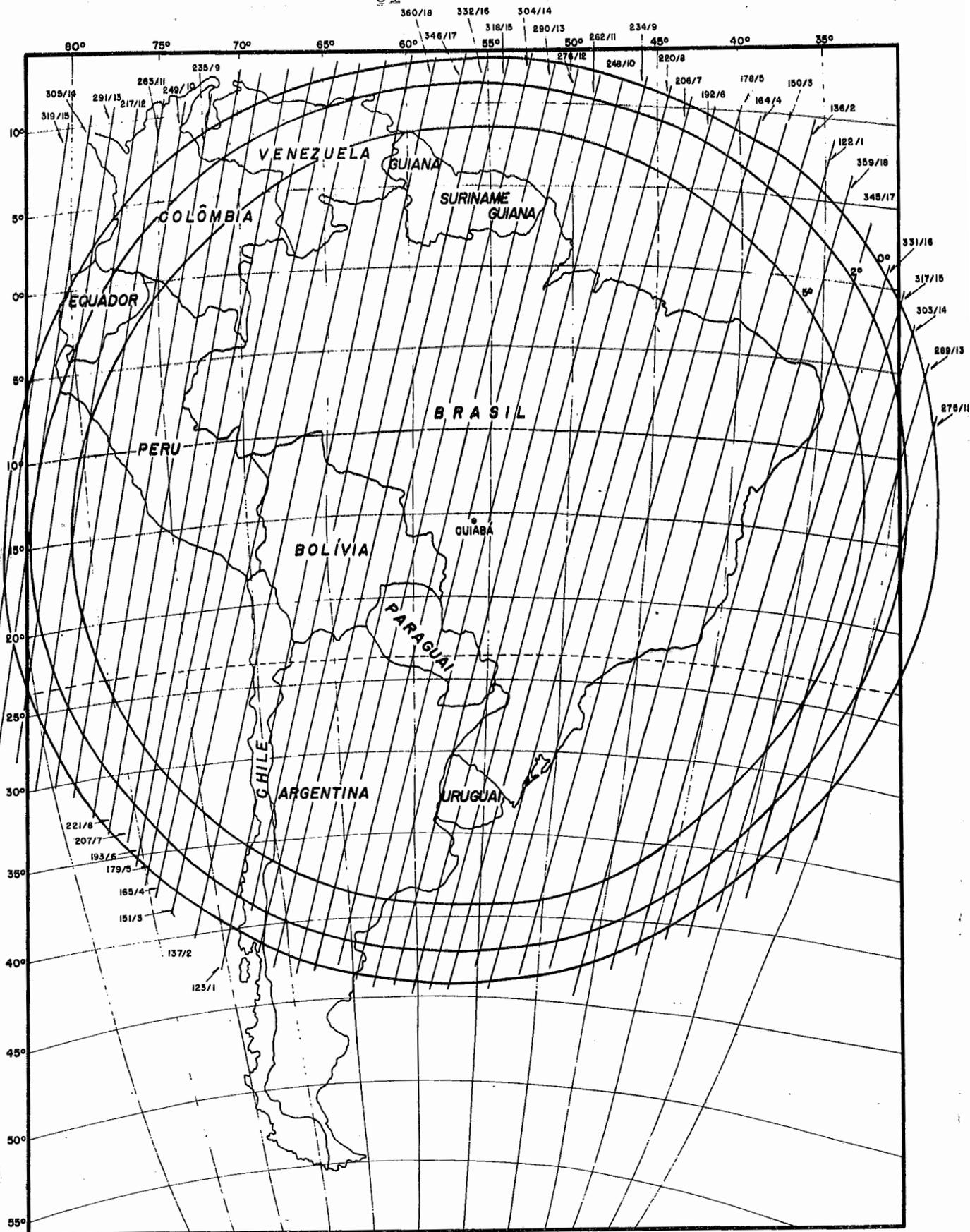
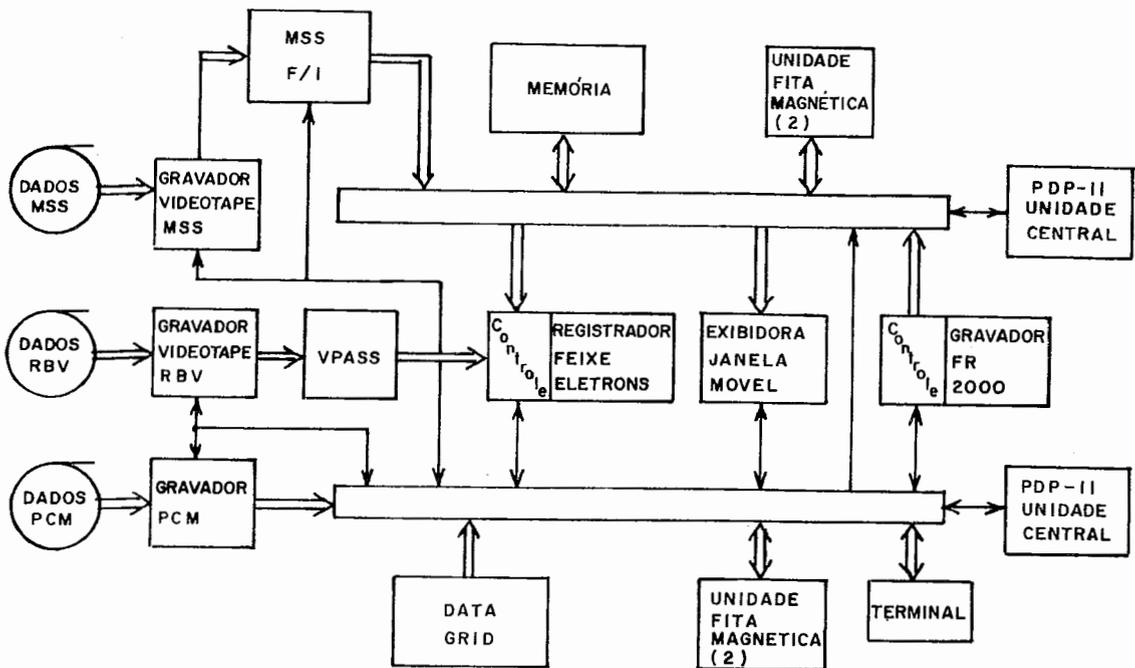


Figura II.14 : Cobertura da estação localizada em Cuiabá. As linhas são as direções das órbitas e os números sobre essas linhas indicam o no. da órbita e o dia que ela ocorre. Por exemplo, órbita 360 no 18º dia (360/18) /INPE*73/.



onde:

MSS - MultiSpectral Scanner

RBV - Return Beam Vidicon

PCM - Pulse Coded Modulation

VPASS - Conversor de sinal Analógico/digital

DATA GRID - "pacote" de correção dos dados

Figura II.15 : Estação de processamento de imagens /INPE*72/.

ra uso onde não se necessita de estudos minuciosos na área atingida. Veremos a seguir, de modo informal, a descrição e causa desses problemas, juntamente com as várias categorias de distorções existentes.

II.5.2 - Categorias de distorções.

As distorções presentes nos dados MSS, podem ser agrupadas de acordo com o modo pelo qual elas afetam a geometria da imagem. Podemos citar cinco categorias gerais: distorções contínuas globais, distorções de faixa contínuas, distorções de faixa descontínuas, distorção fotométrica e efeitos atmosféricos.

II.5.2.a - Distorções contínuas globais.

Esta categoria inclui aquelas fontes de distorções que operam sobre toda a extensão da cena e são matematicamente contínuas. Distorções de comportamento, órbita e taxa de aspecto, explicadas a seguir na seção II.5.3 e II.5.4, são exemplos de fontes de distorções que caem nesta categoria.

II.5.2.b - Distorções de faixa contínuas.

São distorções que operam de uma maneira consistente e contínua, em cada conjunto de seis linhas do 'scanner'. Exemplos deste tipo de distorção são aquelas causadas pela não-linearidade da velocidade do espelho do 'scanner' e pela curvatura da terra.

II.5.2.c - Distorções de faixa descontínuas.

São distorções que são descontínuas em sua natureza e operam entre as linhas de uma fileira de sensores ou entre duas fileiras adjacentes. Distorções por atraso dos sensores e distorção residual por erros devido à rotação da terra, estão nessa categoria.

II.5.2.d - Distorção fotométrica.

Aparecem devido a defeitos na função de transferência de mo

dulação. Na prática o que ocorre são borramentos na imagem, so
mbreamentos causados pelas respostas de amplitudes não-lineares e
ruído do canal.

II.5.2.e - Efeitos atmosféricos.

Efeitos desse tipo como difusão e difração, variações na ilu-
minação, também degradam a imagem; porém esses efeitos são ine
rentes à imagem e não podem ser totalmente eliminados. Geralmen-
te as imagens contendo este tipo de problema, são abandonadas.

II.5.3 - Distorções devido à operação do sensor.

II.5.3.a - Taxa de aspecto.

É uma taxa que estima a forma como uma imagem se apresentará.
Uma distorção na taxa de aspecto da imagem de 40% é introduzida
devido a dupla amostragem de certas regiões de cada pixel, duran-
te a varredura do 'scanner' (veja Fig. II.16).

O campo instantâneo de visão do 'scanner' ('IFOV - Instanta
neous Field Of View') é de 79 x 79 metros, porém a separação de
cada pixel (centro a centro) é de somente 57 metros. Este proble-
ma só aparece na direção perpendicular ao movimento do 'scanner'
de vez que na direção do movimento permanece a separação linha-a-
linha de 79 metros.

II.5.3.b - Velocidade não-linear do espelho do 'scanner'.

O espelho oscilante do MSS, usado para varrer a imagem, não
mantém uma velocidade angular precisa. Por causa disso, são in
troduzidas distorções ao longo da direção da varredura causando
compressão ou dilatação dos pixels em vários locais ao longo da
direção de varredura. Esta é talvez, a correção mais difícil de
ser feita porque ela é uma medida já degradada e que varia gradu-
almente com o tempo. Felizmente seus efeitos são mínimos na ima
gem.

II.5.3.c - Erro de registro banda-a-banda.

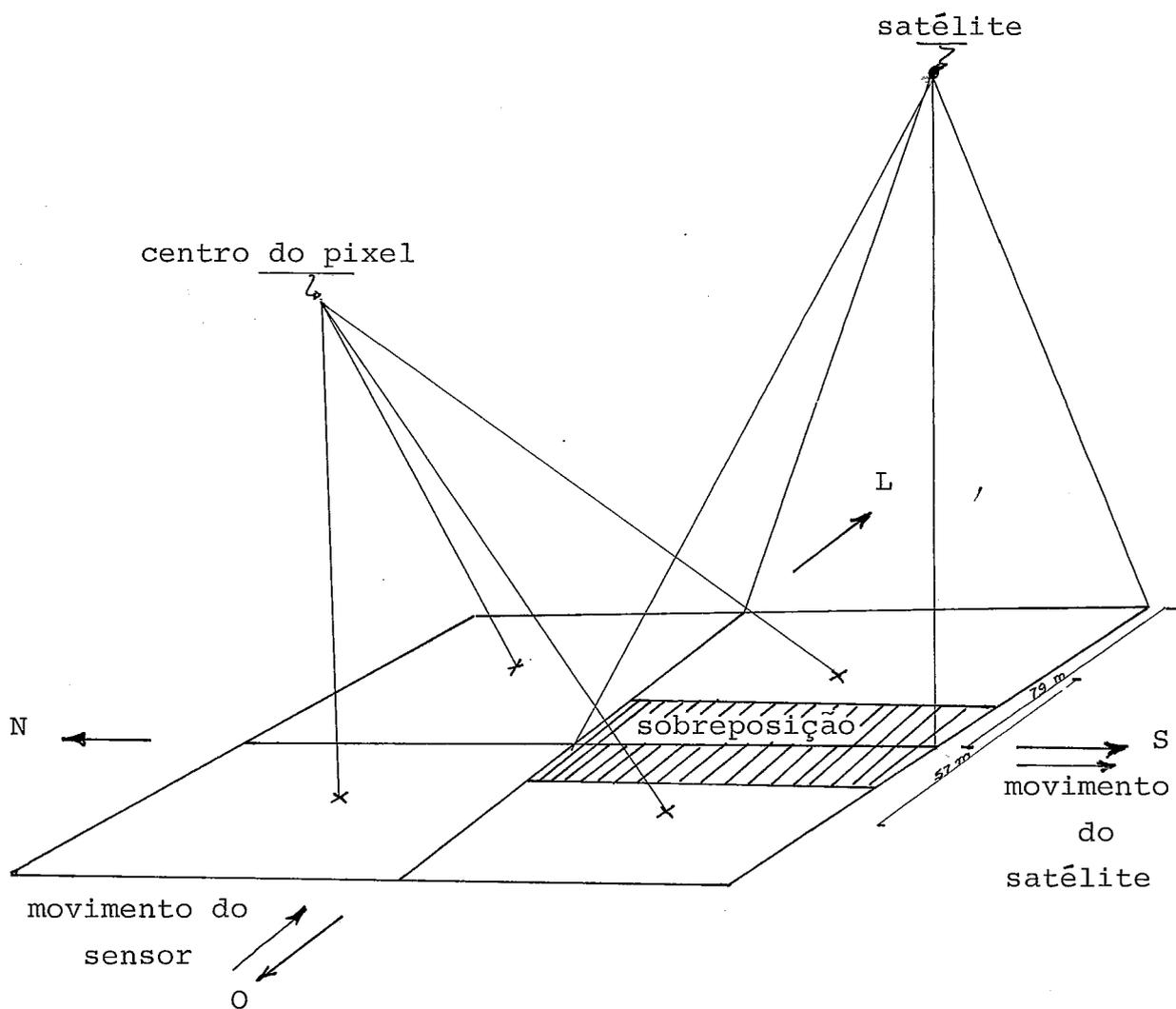


Figura II.16 : Problemas no IFOV do 'scanner'.

O MSS "sente" em seis linhas (ou sensores) de varredura, em cada uma das quatro bandas espectrais. Cada banda tem seu espelho. A luz refletida a partir do solo, no espelho, cai ao final em uma matriz 4 x 6 de tubos de fibras óticas que a conduzem aos filtros e detectores espectrais. O deslocamento ao longo dos quatro eixos da matriz de fibras óticas induz um realce indesejável na posição observada. Este erro de registro é corrigido introduzindo um bloco de pixels na própria estação receptora para diminuir este efeito.

II.5.3.d - Atraso do sensor.

Os vinte e quatro detectores do MSS (seis por banda) são dirigidos sequencialmente por um 'clock' preciso, para iniciar a conversão Analógico/Digital dos dados a serem transmitidos.

Existe um pequeno intervalo de tempo para a leitura de cada um dos seis sensores em uma dada banda. Isto permite que o espelho do 'scanner', mova-se para a frente, por um pequeno deslocamento, causando deslocamentos da primeira até a sexta linha em cada varredura.

II.5.4 - Anomalias de Órbita e Comportamento.

Estas anomalias causam distorções significativas e são devidas à inconsistência da órbita do satélite e seu modelo de comportamento*. A maioria das componentes desse tipo de distorção são lineares e podem ser corrigidas com uma transformação afim ('affine transformation')** da imagem usando pontos de controle situados na terra e conhecidos previamente. Esses pontos são conhecidos como GCP's ('Ground Control Points'). Também, pequenas

* - Modelo de comportamento é o modelo resultante do comportamento das variáveis inerentes ao movimento do satélite tais como: altitude, velocidade, grau de elevação, etc....

** - Transformação é um meio matemático que permite o mapeamento de valores (melhor dizendo, de variáveis) de um espaço para outro, para simplificação.

variações contínuas na altitude, velocidade, grau de elevação ou inclinação e giro adicionam distorções não-lineares de 200-300 m sobre a cena, causando as anomalias.

II.5.5 - Efeito da rotação da terra.

Como o satélite LANDSAT trabalha rumo Norte-Sul da terra ele pesquisa a terra de Oeste para Leste, de acordo com sua construção. A rotação da terra causa um pouquinho mais de varredura para Oeste, em cada uma varredura, sucessivamente e o efeito geométrico total é inclinar a imagem formando paralelogramas em vez de quadrados. A dimensão exata dessa distorção é proporcional ao cosseno da latitude e é aumentada no equador.

Para a correção desse problema usam-se basicamente dois passos: a maior porção é corrigida, tratando a distorção como uma função linear contínua sobre a imagem inteira. Isto inclina a imagem, como que simulando a rotação da terra ao inverso, voltando à forma quadrada.

Esta correção deixa uma distorção residual apresentada sob a forma dentada nas bordas da imagem, que por sua vez é corrigida em um segundo passo (junto com a distorção por atraso do sensor) quando a imagem é reamostrada. Maiores informações sobre correções de distorções são encontradas no capítulo III.

II.5.6 - Miscelâneas.

Existem outras formas de ajustes geométricos, necessários para compensar os efeitos da curvatura da terra, tais como comparações de imagens MSS contra perspectiva e projeções de mapas.

II.5.7 - Distorções por problemas de comunicação /WOMEJ71/.

A transmissão de informações de uma fonte transmissora para uma receptora está sempre sujeita à recepção incorreta de informações. Os erros na recepção são induzidos pelo transmissor, receptor ou o canal sobre o qual a informação é transmitida.

Um modelo bem simplificado de um sistema de comunicações está mostrado na Fig. II.17. O transmissor obtém informações da

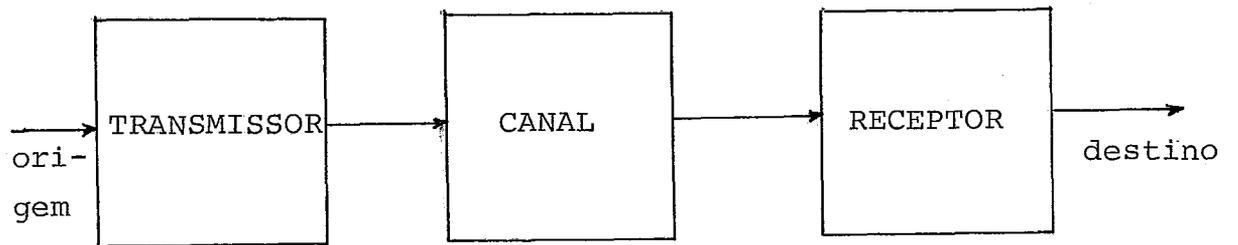


Figura II.17 : Modelo de sistema de comunicação.

fonte e envia pelo canal. O receptor, recebe a informação do canal e apresenta-a ao destino. O canal inclui todas as partes do sistema de comunicação entre o transmissor e o receptor sobre o qual a informação é transferida.

Existem essencialmente duas fontes de erro ligadas a transmissões de dados LANDSAT. Elas são:

- 1) erro de ruído aditivo e/ou multiplicativo, causados pelas flutuações randômicas do sinal recebido que pode ser causada pela radiação do espaço do canal, ruído térmico de resistores no receptor ou no transmissor, ruído de disparo de tubos de raios catódicos e dispositivos de estado sólido, ou ainda outros sinais randômicos que aparecem devido aos atributos físicos do sistema de comunicação.
- 2) erros por distorções fotométricas já mencionadas na seção II.5.2.d.

II.6 - Aplicações para o satélite LANDSAT /BELOA72/, /TEICE78/.

Sensoriamento Remoto por satélite tem demonstrado sua capacidade para estudos em grande escala de recursos terrestres da maneira mais econômica possível.

O uso dos recursos dos satélite espalham-se por vários campos do conhecimento humano e refletem-se em cada técnica para utilização de tais recursos.

O gerenciamento de recursos terrestres por detecção de variações na superfície terrestre, que nos é interessante, baseia-se no fato que a superfície terrestre não é estática. Existem as mudanças de estação e com elas a vegetação, por exemplo, nasce, cresce, amadurece e morre; a neve cobre a terra e depois desaparece; o mar sobe com as marés e depois baixa, etc... Além disso, fenômenos esporádicos sempre ocorrem, tais como: incêndios em florestas, vegetação de tipos diferentes que as vezes se reestabelecem por si mesmas ou morrem por completo.

Podemos com estas informações montar um banco de imagens catalogadas e acompanhar toda a evolução de determinada área. Es

ta técnica é muito importante para o acompanhamento de campos agrícolas para previsão de safras.

Os recursos obtidos através do satélite também têm aplicações em mapeamento urbano, oceanografia, estudo da poluição ambiental e vários outros campos do conhecimento humano, que passaremos a citar separadamente, por assunto.

- Geologia : Embora a informação recebida do LANDSAT seja imprecisa, para localizar por ela mesma reservas minerais, petróleo ou gás natural, o LANDSAT fornece importantes elementos geológicos, que geralmente servem para guiar na seleção de alvos para posteriores estudos.

- Hidrologia : A grande finalidade do sensoriamento remoto em aplicações hidrológicas é observar e medir a quantidade de água e sua qualidade. Este fato é altamente dinâmico, requerendo observações repetitivas para monitorar as variações ocorridas. Os dados são usados para encontrar água para consumo, uso industrial, irrigação, geração de eletricidade e recreação. Cerca de 90% dos recursos de água pura na terra consistem de reservas subterrâneas. As imagens LANDSAT, aliadas à várias características geológicas sedimentares, fornecem uma excelente base para o mapeamento de águas profundas.

- Gerência de Florestas e Solos : As imagens LANDSAT estão sendo usadas para fornecer informações básicas sobre a extensão e localização de recursos florestais e as variações ocorridas com eles. Os dados contribuem para classificação de tipos de florestas, estimação, monitoração de áreas desmatadas, etc... Um recente estudo feito por Teicholz em /TEICE78/ nos E.U.A no estado de Washington, fez um inventário de 4,05 milhões de hectares (1 ha = 2,47 acre = 10^{-2} km²) a um custo de 200.000 dólares. Usando técnicas convencionais o mesmo estudo levaria cerca de dois anos e custaria dez vezes mais.

- Ciência Marinha : A NASA tem um programa de gerenciamento de recursos marinhos e oceanográficos, que está tentando usar sensoriamento remoto para gerenciar recursos marinhos através de imagens LANDSAT, para ajudar mais eficientemente na montagem de rotas de transportes, e

em geral, para contribuir para o avanço da biologia marinha e o o
ceanografia.

II.7 - Resumo do Capítulo.

Neste capítulo vimos o funcionamento do sistema LANDSAT, ba
sicamente, olhando o funcionamento deste sistema no Brasil.

Apresentamos um resumo histórico do uso do sistema LANDSAT, suas principais características, seu funcionamento e sua base teórica de funcionamento a partir da teoria de Sensoriamento Re
moto e Reconhecimento de Padrões.

Mostramos também, como se procede a transmissão e recepção dos dados em Cuiabá (MT), os problemas encontrados na imagem e algumas aplicações para o uso do sistema LANDSAT. No próximo ca
pítulo (capítulo III), mostraremos como usar as imagens LANDSAT para obter informações sobre a área que deu origem à imagem e al
goritmos existentes atualmente para contornar os problemas apre
sentados neste capítulo e classificar os dados LANDSAT.

Capítulo III - Métodos de Tratamento dos Dados LANDSAT.

III.1 - Introdução	47
III.2 - Métodos de Análise dos dados LANDSAT	47
III.2.1 - O Processo Fotográfico	49
III.2.2 - Usando o Computador como Apoio	49
III.2.3 - Usando o Computador como Ferramenta	50
III.3 - Uma Visão do Estudo de Reconhecimento de Padrões	50
III.4 - Especificação do Problema de Reconhecimento de Padrões	53
III.4.1 - Definição dos Espaços	53
III.4.1.a - Espaço de Padrão	53
III.4.1.b - Espaço de Característica	55
III.4.1.c - Espaço de Classificação	55
III.4.2 - Problemas Fundamentais em Projetos de Sistemas de Reconhecimento de Padrões	57
III.4.3 - Conceitos de Projetos e Metodologias	59
III.4.3.a - Conceitos de Membros de mesmo Tipo	59
III.4.3.b - Conceito de Propriedades Comuns	61
III.4.3.c - Conceito de Agrupamento	62
III.4.4 - Técnicas de Implementação dos Conceitos	62
III.4.4.a - Métodos Heurísticos	62
III.4.4.b - Métodos Matemáticos	63
III.4.4.c - Métodos Sintáticos	63
III.5 - Algoritmos para Tratamento dos Dados LANDSAT	65
III.5.1 - Técnicas de Correção dos Dados LANDSAT	67
III.5.1.a - Prólogo	67
III.5.1.b - Localização dos Pontos de Controle na Imagem	69
III.5.1.c - Funções de Mapeamento Global	70

III.5.1.c. α - Transformação Afim	70
III.5.1.c. β - Bidimensionais do Mínimo Quadrado	71
III.5.1.c. γ - Modelo de Comportamento	72
III.5.1.d - Criação de uma Grade de Interpolação	72
III.5.1.e - Grade de Interpolação Através de Passos	73
III.5.1.f - Cálculo das Coordenadas da Imagem	74
III.5.1.g - Reamostragem	74
III.5.1.h - Técnicas Especiais	75
III.5.2 - Algoritmos para Separação da Melhor Representação	77
III.5.2.a - Prólogo	77
III.5.2.b - Realce de Imagem por Histograma	77
III.5.2.c - Variação Tonal	82
III.5.2.c. α - O Operador Linear	82
III.5.2.c. β - Gradiente de Roberts	83
III.5.2.d - Seleção de Características	84
III.5.3 - Algoritmos de Agrupamento e Classificação dos Dados LANDSAT por Funções Distância	87
III.5.3.a - Prólogo	87
III.5.3.b - Busca e Critérios de Agrupamento	87
III.5.3.c - Classificação de Campos Agrícolas por Funções de Distância Mínima	91
III.5.3.d - Um Algoritmo Simples de Busca de Agrupamento	93
III.5.3.e - Algoritmo de Distância Max-Min	95
III.5.3.f - Algoritmo K-médio	97
III.5.3.g - Algoritmo ISODATA	98
III.5.4 - Algoritmos de Agrupamento e Classificação dos Dados LANDSAT por Funções de Probabilidade	103

III.5.4.a - Prólogo	103
III.5.4.b - Classificação por Campo	103
III.5.4.c - Classificador de Máxima Probabilidade ou Classificador de Bayes	106
III.6 - Resumo do Capítulo	109

FIGURAS DO CAPÍTULO III

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
III.1	Diagramas de blocos de processamento dos sinais LANDSAT	48
III.2	Métodos de tratamento para os dados LANDSAT	51
III.3	Sistema de reconhecimento de padrões	54
III.4	Exemplo de caracterização dos dados para serem reconhecidos	56
III.5	Um exemplo de representação dos espaços envolvidos.	58
III.6	Um exemplo de padrão contínuo	58
III.7	(a) Padrões típicos representativos de classes	60
	(b) Elementos de entrada para serem reconhecidos pelo sistema	60
III.8	Representação sintática de uma cena LANDSAT de cidade	64
III.9	Esquema de distribuição dos algoritmos de tratamento de dados LANDSAT	66
III.10	Expansão do bloco B da Fig. III.1 (bloco de correções e formatação dos dados LANDSAT)	68
III.11	(a) 'array' de pixels normais 4 x 4 anterior à convolução cúbica	76
	(b) 'array' 4 x 4 ajustado antes para distorções de faixa descontínua, para a remostragem por convolução cúbica	76
III.12	Expansão do bloco B da Fig. III.1 em continuação à Fig. III.10	78

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
III.13	Exemplo de histograma (a) histograma para a classe "arroz" (b) histograma para a classe "trigo"	80
III.14	Modo de enfatizar contornos	80
III.15	Métodos para agrupamento e classificação dos dados LANDSAT. Expansão do bloco E da Fig. III.1	88
III.16	Divisão dos algoritmos relativos às técnicas automáticas para agrupamento e classificação dos dados LANDSAT	89
III.17	Algoritmos baseados em funções distância que servem para agrupar e classificar os dados LANDSAT	92
III.18	Efeito de limites e pontos de partida em busca de agrupamentos	94
III.19	Exemplo de padrões distribuídos para agrupamento pelo algoritmo Max-Min	96
III.20	Grupo de algoritmos baseados em funções de probabilidade que servem para agrupar e classificar os dados LANDSAT	104
III.21	Esquema de classificação de Bayes	108

III.1 - Introdução.

Este capítulo tem por objetivo discriminar tanto quanto possível, o que existe por trás de um sistema de processamento digital de imagens LANDSAT, referentes aos algoritmos e técnicas aplicadas para a solução dos problemas que surgem no tratamento das imagens.

Normalmente sabemos qual a entrada e qual a saída para um sistema de processamento e reconhecimento de imagens LANDSAT. Entretanto, ainda não se fez muita coisa de modo mais ou menos "arrumado" para abrir as etapas entre a entrada dos dados e a saída dos resultados. Este é o principal objetivo deste capítulo.

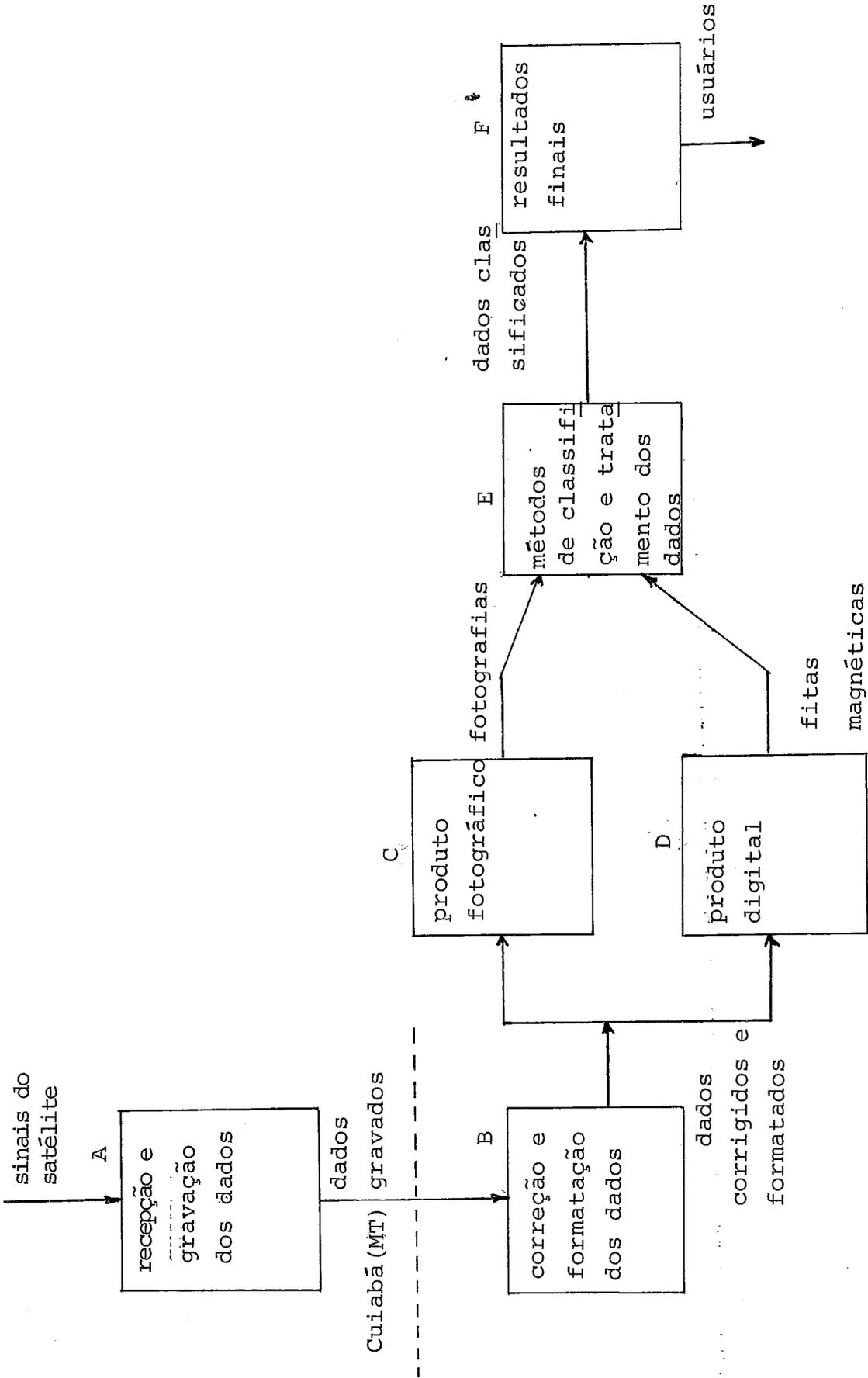
Deve-se notar que por interesse do trabalho só nos preocupamos em tratar aqueles pontos onde entra efetivamente o computador, como ferramenta de trabalho. Pouco se falará sobre os problemas de transmissão de imagens em si, ou seja, transmissões digitais, ruídos existentes e sua eliminação, etc...

Na Fig. III.1 apresentamos o diagrama de blocos mostrando o fluxo de dados do sistema atualmente implantado no Brasil. À medida que o texto for se desenvolvendo esses blocos serão expandidos, para que conheçamos um pouco mais de sua construção interna.

III.2 - Método de análise de dados LANDSAT.

Existem três tipos de métodos de tratamento que podem ser usados na análise dos dados LANDSAT, para auxiliar o pesquisador a fazer a síntese dos dados do satélite. Eles são:

- 1) A reconstituição da imagem no processo de falsas cores;
- 2) A classificação dos dados da imagem por análise através de computador, tendo-se as fitas de imagens compatíveis com computador ('CCT-Compatible Computer Tape');
- 3) A classificação dos dados da imagem por análise direta desses dados usando ferramentas especiais construídas para esse fim.



Cachoeira Paulista (SP)

Figura III.1 : Diagrama de blocos do processamento dos sinais LANDSAT.

Vejamos cada um desses métodos mais detalhadamente.

III.2.1 - O processo fotográfico (Fig. III.2, bloco E₁).

No processo ótico ou fotográfico, uma imagem colorida é produzida a partir das imagens em preto e branco do satélite, projetando-se 3 das 4 imagens (cada uma relativa à uma banda) através de filtros apropriados e fazendo-se a superposição das imagens resultantes. No Brasil, isso é feito na estação de processamento de imagens em Cachoeira Paulista, São Paulo.

A partir desse produto, o analista com algum conhecimento da área observada poderá fazer todos os estudos requeridos. A dificuldade desse método reside em dois fatores principais:

1) É necessário enorme experiência do analista da foto para interpretar os resultados e também perfeito conhecimento da área sendo observada por parte do pesquisador. Portanto, a análise depende em demasia do pesquisador para ser bem sucedida, pois o mesmo terá que ter experiência e conhecimento para fazer a interpretação de todas as informações sobre a área sendo observada, as quais podem formar uma lista bastante extensa.

2) O volume de dados fornecidos pelo satélite é muito grande, exigindo para perfeita monitoração um tratamento rápido para a informação. Isto é praticamente impossível ao Homem, que por sua própria natureza é lento. Além disso, é preciso uma grande equipe, experimentada e portanto cara, para fazer análise de dados mesmo de uma pequena região.

III.2.2 - Usando o computador como apoio (Fig. II.2, bloco E₂).

A classificação de imagens por computador usando fita magnética compatível com sistemas de processamento de dados é um passo de grande importância para agilizar o processamento de informações. Este método apresenta a vantagem sobre o anterior de eliminar possíveis erros causados pelas filtragens do sistema ótico empregado, além de substituir com relativa eficiência (pelo menos quanto à quantidade de dados manipulados) o trabalho humano direto sobre os dados.

A fita é gerada em um equipamento de alta densidade de gravação (10.000 bpi) a partir dos sinais recebidos do satélite. Após a gravação estar completa é feita, em laboratório eletrônico de processamento de dados, uma conversão para fita magnética compatível com computadores. Ou seja, é feita conversão da fita de 10.000 bpi para fitas 800/1.600 bpi de 2.400 pés. No Brasil, essa transformação é feita em Cachoeira Paulista, depois da fita de 10.000 bpi ser enviada de Cuiabá para São Paulo. Só para in formação do leitor, vale ressaltar que as quatro imagens (uma para cada banda) ocupam 2 rolos de 1.400 pés /CNPQ*78/, /TEICE78/.

Este método apesar dos avanços razoáveis em relação ao método fotográfico puro, ainda apresenta os problemas de conversão das fitas e o tempo demasiado longo para tratamento das informações.

III.2.3 - Usando o computador como ferramenta (Fig. III.2, bloco E₃).

O último método, tenta tratar diretamente os dados, visa conseguir hardware/software dedicado ao problema de gerenciamento de recursos terrestres de forma a eliminar a conversão de fitas do método 2 e até a própria fita, e fazer o tratamento das informações diretamente utilizando os recursos dos processadores de 'arrays' modernos. Este é o objetivo final deste trabalho, que será mais explorado no capítulo IV. Este método só agora está com viabilidade para aplicação, devido ao avanço tecnológico existente no campo dos processadores (desenvolvimento de circuitos integrados em larga escala) e a conseqüente baixa no seu custo.

III.3 - Uma visão do estudo de reconhecimento de padrões.

Todas as técnicas usadas na classificação dos dados LANDSAT baseiam-se principalmente na teoria de Reconhecimento de Padrões mesmo as mais primitivas (por exemplo, o processo fotográfico). Para termos uma idéia do que é um padrão, podemos dizer que um padrão é por exemplo, uma determinada doença que obedeça a certos sintomas, sinais especificamente conhecidos ou resultados de testes em pacientes portadores de determinada doença. Existem outros exemplos de padrão, tais como: células de sangue; células

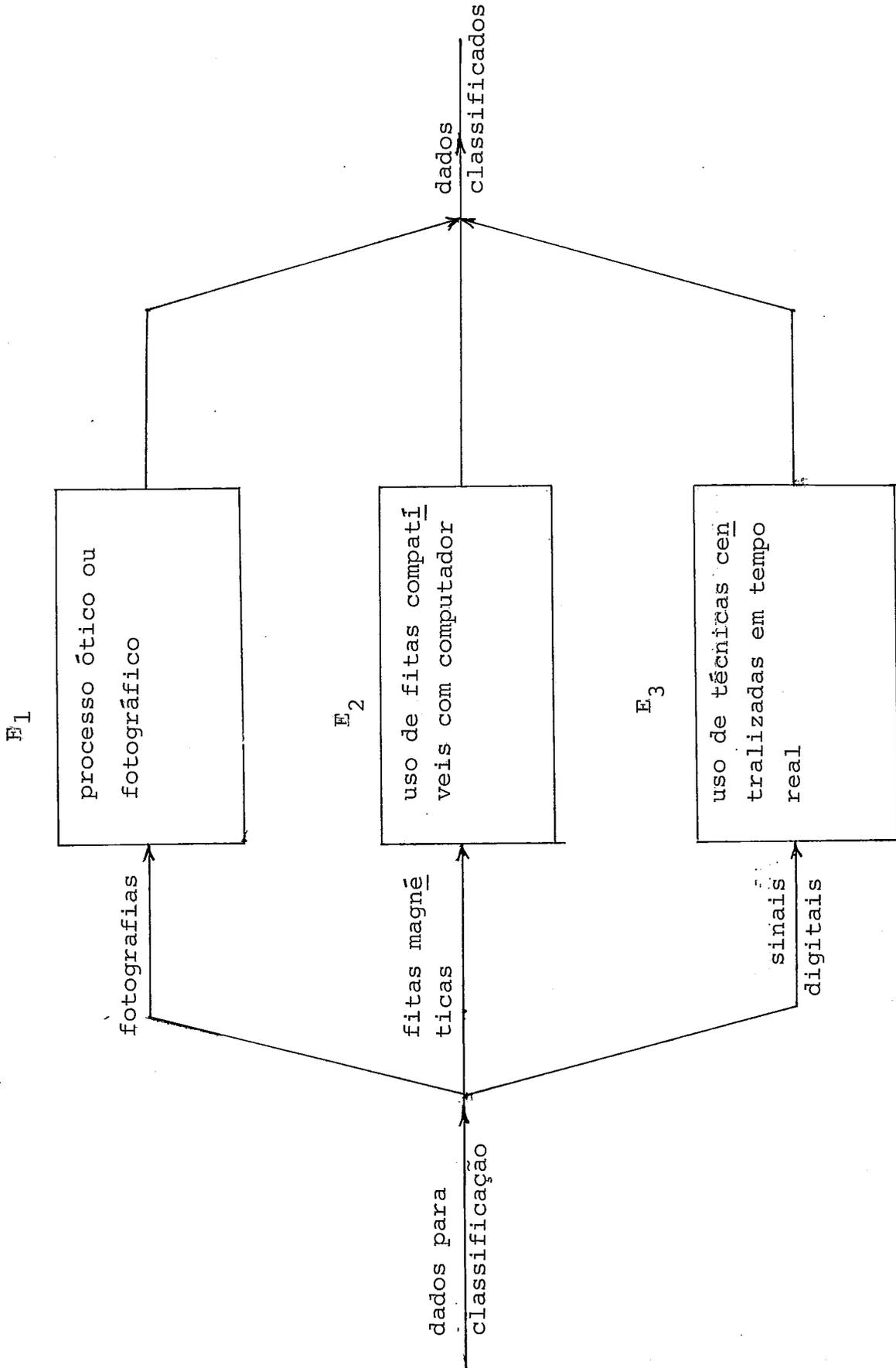


Figura III.2 : Métodos de tratamento dos dados LANDSAT.

do cérebro; células de câncer; raios X e poderíamos nos prolongar fazendo uma lista maior.

Trazendo a idéia de padrão para nosso caso de interesse (imagens LANDSAT) podemos dizer que nosso padrão é a forma e/ou características em níveis de cinza principalmente, contidas em cada parte (região do mundo real) de uma imagem LANDSAT.

O estudo de reconhecimento de padrões tem aplicações tão grandes quanto os tipos de padrões. Podemos usar dessa teoria em:

- ajuda de diagnósticos médicos;
- análise e selecionamento de objetos;
- processamento de sinais;
- classificação e detecção sonar;
- processamento de imagens (nosso interesse);
- controle de processos;
- simulação de movimentos humanos;
- robotismo industrial; etc...

Em Reconhecimento de Padrões os dados estão normalmente em forma de figuras ou formas de ondas. Portanto é aceito naturalmente que o primeiro passo aplicado a tal dado seria sua conversão para a forma vetorial para ser mais facilmente tratado por máquinas. Essa conversão baseia-se no conhecimento a priori que se tem acerca do problema. Entretanto, este conhecimento a priori é que é o grande entrave, na maioria das vezes.

Para ilustrar esse fato acompanhemos o seguinte exemplo: suponhamos que temos três tipos* diferentes de objetos e que se conhece cada um dos três tipos a priori. Podemos então classificá-los facilmente em três classes** distintas e resolveríamos o problema. Agora suponhamos que não se conhece os tipos. Sabe-se apenas que existem três classes. Como deveríamos alocar os vários objetos em suas próprias classes, sem erro? Para o Homem bastaria reconhecer os objetos um a um e classificá-los. Agora, como faremos isso com um computador? Como "ensinaríamos" o compu

* - Por tipo entendemos a forma ou propriedades de um objeto.

** - Por classe entendemos o agrupamento de objetos de mesmo tipo.

tador a fazer a classificação para nós?

Novamente trazendo para o caso LANDSAT. Como poderemos "ensinar" o computador a "ver" água, trigo, arroz ou milho em uma imagem LANDSAT? As respostas para essas perguntas é uma das principais finalidades do estudo de Reconhecimento de Padrões.

III.4 - Especificação do problema de Reconhecimento de Padrões /ANDRH72/, /TOU*J74/.

A especificação completa de um sistema de reconhecimento de padrões pode ser vista na Fig. III.3. O mundo físico é representado por todas as coisas existentes no universo que se prestem ao reconhecimento. Por exemplo, objetos na superfície terrestre, sinais, fotografias (micro-fotos ou fotos aéreas), etc...

Os transdutores descrevem uma representação do mundo físico já tratável por máquina automática. Esta representação é descrita por R valores escalares finitos, mas sempre o maior número possível de elementos. Este R dá a dimensão do espaço de padrão que é composto pelos elementos do conjunto de R.

A redução de dimensionalidade (extração de características) é necessária por causa das limitações dos equipamentos envolvidos. Ela reduz a dimensão de R para N, mais facilmente tratável por computador, sem perda de informações significativas.

A este nível cria-se o chamado espaço de característica com dimensão N, sendo que $N \ll R$.

Os algoritmos de decisão decidem qual o grupo ou classe a que pertence a amostra para classificação.

O espaço de classificação com dimensão K é simplesmente o espaço de decisão onde o padrão será colocado em uma das K classes que tenha sido selecionada.

III.4.1 - Definição dos espaços.

III.4.1.a - Espaço de padrão (P).

Definido pela discretização do sensor de dados observando o mundo real. Sua dimensão deve refletir o fato real e assim no

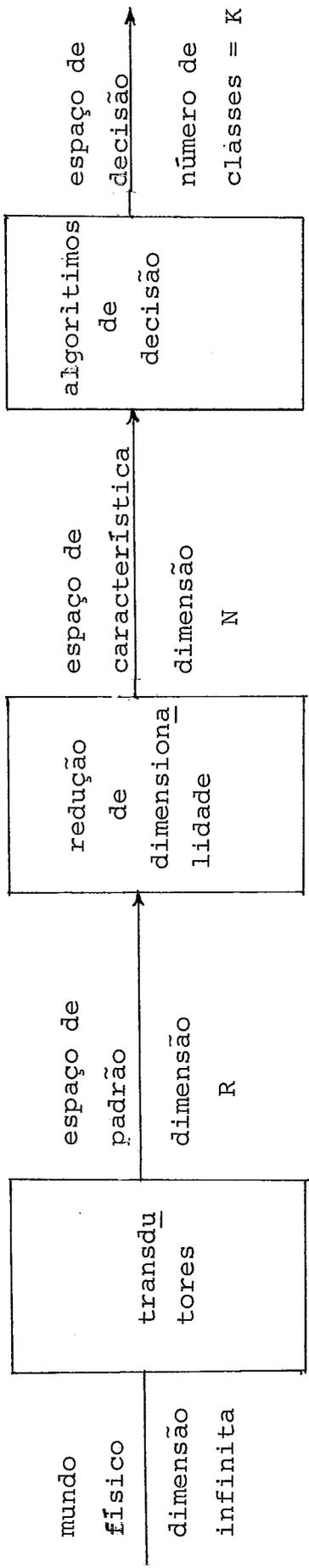


Figura III.3 : Sistema de Reconhecimento de Padrões.

sentido da álgebra linear, seus eixos irão representar valores a mostrados de dados em unidades do mundo real. Sua dimensionalidade de será denotada pelo valor R .

Um vetor-coluna \underline{X} no espaço de padrões irá ter elementos escalares como componentes;

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_R \end{bmatrix} \quad \text{com,} \\ x_1, x_2, \dots, x_R \text{ escalares.} \quad (\text{Eq. III.1})$$

sua notação usual, entretanto, será $\underline{X}' = (x_1, x_2, \dots, x_R)$ para facilitar o tratamento matemático. Cada componente x_r , $r = 1, 2, \dots, R$ representa um valor particular associado com a r -ésima dimensão.

III.4.1.b - Espaço de característica (F).

Neste espaço o vetor \underline{X} perde uma parte de sua dimensionalidade ficando reduzido a $\underline{X}' = (x_1, x_2, \dots, x_N)$. N é o valor da dimensão nova e $N \ll R$.

III.4.1.c - Espaço de classificação (C).

Este espaço contém as decisões tomadas pelos algoritmos de classificação; sua dimensão é exatamente o número de classes ou agrupamentos que serão utilizados na classificação; por exemplo, a dimensão mais simples é 2; e se estivéssemos classificando letras do alfabeto inglês teríamos $K = 26$ e assim por diante.

Exemplo.

Este exemplo demonstra como são considerados os conceitos expostos nesta seção. Suponhamos que temos um quadro cheio de números e que se quer reconhecer esses números (veja Fig. III.4).

Existem 10.000 elementos no quadro, portanto, $R = 10.000$. Agora sabemos que somente alguns desses pontos, digamos 500, são significativos e estes são os centrais, então $N = 500$ que é a dimensão do espaço de carac-

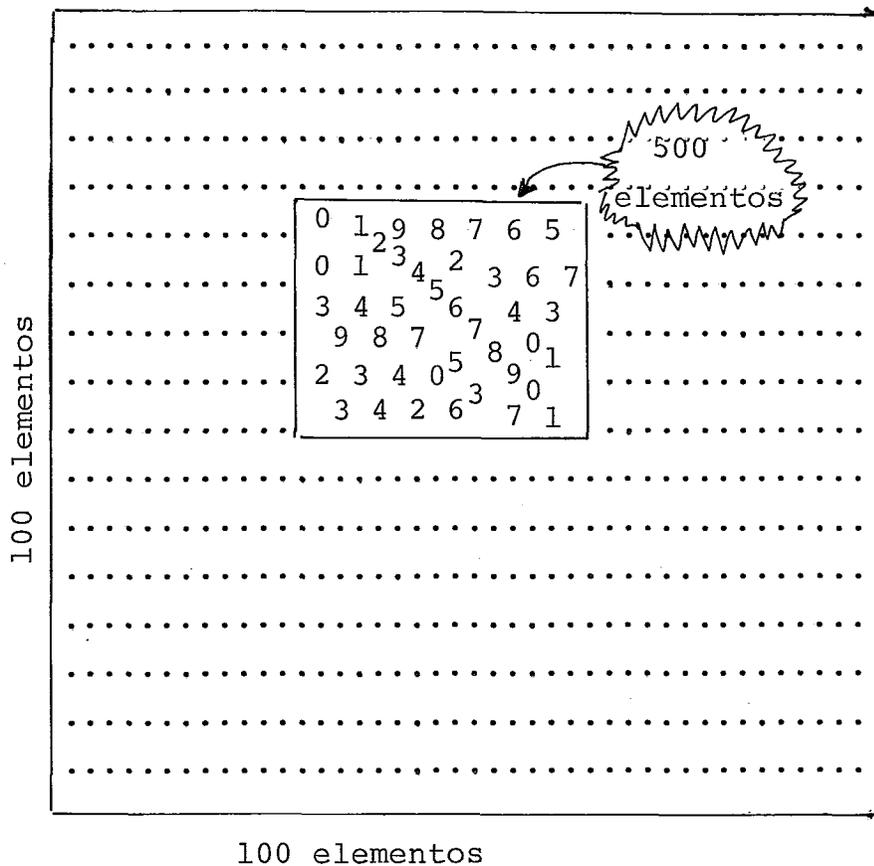


Figura III.4 : Exemplo de caracterização dos espaços envolvidos.

terística. Finalmente, escolhemos 11 classes; dez para colocar os números de 0 a 9 e uma para colocar elementos não definidos, temos portanto $K = 11$.

Conclusão.

O problema de reconhecimento de padrões pode ser descrito como uma transformação do espaço de padrões P , para o espaço de características F e finalmente deste para o espaço de classificação C .

$$P \rightarrow F \rightarrow C.$$

III.4.2 - Problemas fundamentais em projetos e sistemas de Reconhecimento de Padrões.

O projeto de um sistema de Reconhecimento de Padrões geralmente envolve vários problemas e várias áreas. O primeiro e mais importante é relativo à representação do dado de entrada que pode ser medido a partir dos objetos sendo reconhecidos. Este é um problema dos sensores.

Cada quantidade medida descreve uma característica do padrão ou objeto. Suponha por exemplo, que os padrões em questão sejam caracteres alfanuméricos. Neste caso, um esquema de níveis de cinza, como o mostrado na Fig. III.5 pode ser muito bem usado.

Se assumirmos que os níveis de cinza têm n elementos, as medidas pode ser arranjadas na forma de vetor padrão ou vetor de medidas:

$$\underline{x}' = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (\text{Eq. III.2})$$

onde cada elemento x_i é, por exemplo, associado ao valor 1 se a i -ésima célula contém uma porção do número e é associado ao valor 0 no caso contrário.

Um segundo exemplo é mostrado na Fig. III.6. Neste caso, os padrões são funções contínuas amostradas em pontos discretos nos instantes t_1, t_2, \dots, t_n . Podemos montar um vetor padrão formado pelas componentes $x_1 = f(t_1), x_2 = f(t_2), \text{ etc...}$

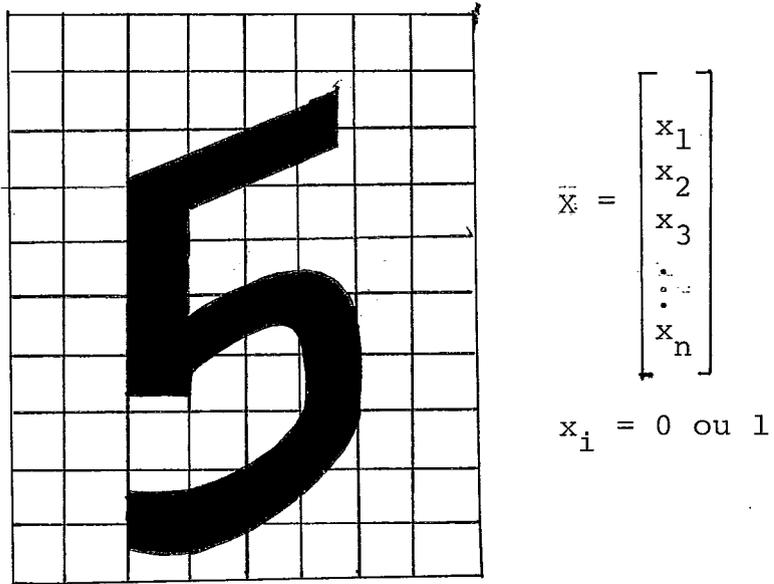


Figura III.5 : Um exemplo de representação dos dados para serem reconhecidos.

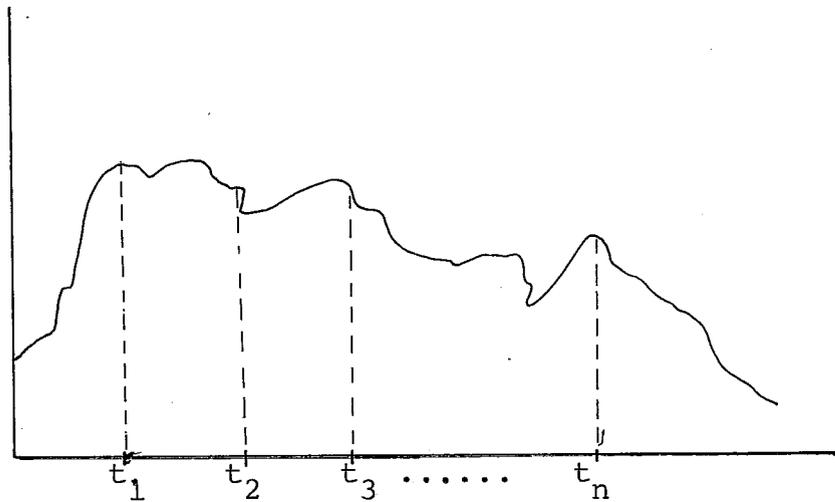


Figura III.6 : Um exemplo de padrão contínuo.

III.4.3 - Conceitos de projetos e metodologias.

Os conceitos de projetos e metodologias para reconhecimento automático de padrões são motivados pelos modos que as classes de padrões são caracterizadas e definidas. A experiência sugere várias possibilidades básicas. Quando uma classe de padrões é caracterizada pelo tipo de seus membros o projeto de um sistema de reconhecimento de padrões deve ser baseado no conceito de "membros do mesmo tipo". Quando uma classe de padrões é caracterizada por propriedades comuns o projeto pode ser baseado no conceito de "propriedades comuns" e quando uma classe de padrões exibe certas propriedades de agrupamento no espaço de padrão P, o projeto pode ser baseado em conceitos de "agrupamentos".

Veremos mais detalhadamente, nas próximas seções, cada um desses conceitos.

III.4.3.a - Conceito de membros de mesmo tipo.

A caracterização de uma classe de padrões pelo tipo de seus membros sugere reconhecimento automático por casamento de formas. Quando um padrão desconhecido é mostrado para o sistema, ele é comparado com os padrões já armazenados anteriormente, um a um. O sistema de reconhecimento classifica este padrão de entrada, como um membro da classe de padrões, se ele casa perfeitamente com os padrões pertencentes àquela classe.

Exemplo.

Suponhamos que temos os padrões da Fig. III.7 (a), representando cada uma das três classes possíveis no problema. Agora, apresentamos ao sistema de reconhecimento de padrões várias figuras similares as citadas (veja Fig. III.7 (b)) para que o sistema faça a classificação. O resultado, aplicando-se o conceito exposto, será a classificação dos elementos da entrada que casem com os padrões típicos.

Um grave problema para esta aplicação é que os padrões devem ser casados perfeitamente para serem considerados pertencentes à determinada classe; se tivermos um triângulo, círculo ou retângulo um pouco menor que o padrão típico (ou mesmo maior), este ele

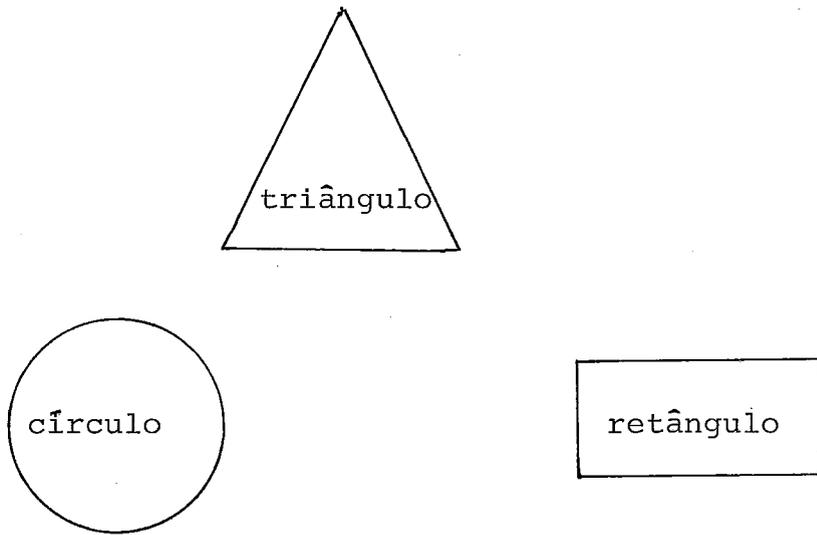


Figura III.7 (a) : Padrões típicos representativos de classes.

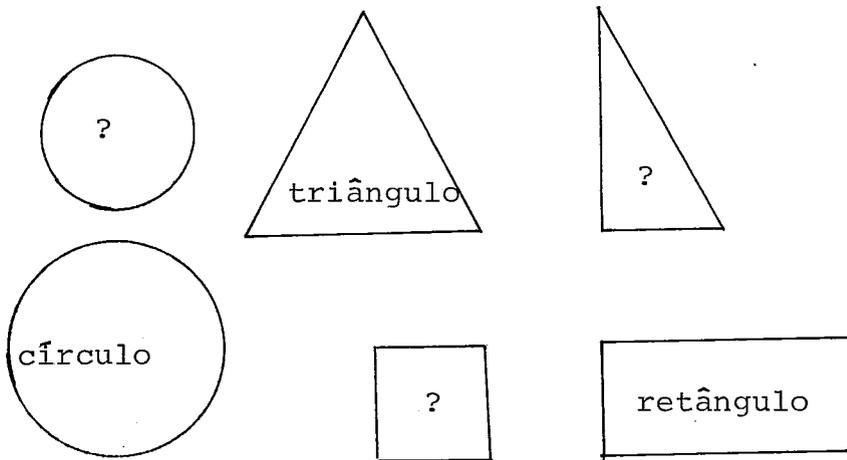


Figura III.7 (b) : Elementos de entrada para serem reconhecidos pelo sistema.

mento não é considerado pelo sistema como um triângulo. Um outro problema é que temos que comparar elemento a elemento de entrada com cada um dos padrões conhecidos.

III.4.3.b - Conceito de propriedades comuns.

A caracterização de uma classe de padrões por propriedades comuns repartidas por todos os seus membros sugere reconhecimento automático de padrões via detecção e processamento de suas características similares. A suposição básica neste método é que os padrões pertencentes à mesma classe possuem certas propriedades ou atributos comuns que refletem similaridades entre esses padrões. As propriedades comuns são armazenadas em sistemas de reconhecimento de padrões (não mais os padrões inteiros, como no conceito anterior). Quando um padrão desconhecido é "observado" pelo sistema, suas características são extraídas e então comparadas com as características armazenadas. O esquema de reconhecimento irá classificar o novo padrão como pertencente à classe de padrões com características similares.

Assim, o principal problema do método é determinar as propriedades comuns de um conjunto de amostras conhecidas para classificar como pertencente a uma das classes de padrões. Este tipo de metodologia supera a anterior em vários aspectos. Os requisitos de armazenamento para características de uma classe de padrões são muito menos severos que para todos os padrões na classe. Se todas as características de uma classe podem ser discriminadas dos padrões amostras, o processo de reconhecimento reduz-se simplesmente a casamento de características.

Exemplo.

Podemos aproveitar aqui uma extensão do exemplo da seção III.4.3.a, para demonstrar esse método. Suponha que as propriedades comuns escolhidas para representar os padrões sejam suas equações algébricas para sua representação na algebra linear. Assim os triângulos seriam descritos pelo conjunto de três equações de retas que seriam os lados, o círculo pela equação do círculo e o retângulo pelo conjunto de quatro equações de retas com pontos comuns formando as interseções. Assim o que se armazena

ria seriam simples equações da forma,

$$y = ax + b$$

e

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2$$

onde x e y são as coordenadas, a e b constantes e r o raio do círculo.

Fornecendo-se os parâmetros a, b e r convenientemente, com um simples cálculo, classificariamos qualquer dos elementos da Fig. III.7 (b).

III.4.3.c - Conceito de agrupamento ('Clustering').

Quando os padrões de uma classe são vetores cujos componentes são números reais, uma classe de padrões pode ser caracterizada por suas propriedades de agrupamento no espaço de padrão (P). O projeto de um sistema de reconhecimento de padrões baseado neste conceito geral é guiado pelos arranjos geométricos dos vários grupos de padrões.

Exemplo.

Este conceito é a principal ferramenta para análises de dados LANDSAT. Numa imagem LANDSAT como a da Fig. II.6 (capítulo II), a imagem total pode ser considerada como um conjunto de agrupamentos distintos espalhados na imagem. Cada um desses agrupamentos é formado de um conjunto de pontos (pixels) com características mais ou menos parecidas entre si. A aplicação deste conceito permite identificar na imagem as posições de cada uma dessas regiões, pelo valor de seu nível de cinza na imagem, e então dar nome a elas usando dessas mesmas características.

III.4.4 - Técnicas de implementação dos conceitos.

III.4.4.a - Métodos Heurísticos.

A aproximação heurística é baseada na experiência e intuição do Homem. Este método emprega principalmente os conceitos "membros de mesmo tipo" e "propriedades comuns". Um sistema projetado usando esse princípio, geralmente consiste de um conjunto de

procedimentos conhecidos, desenvolvidos para tarefas de reconhecimento especializados.

Nos exemplos das seções III.4.3.a/b usaram-se métodos heurísticos para implementar os sistemas mencionados naqueles exemplos. No exemplo da seção III.4.3.b há uma mistura de métodos heurísticos e métodos matemáticos (vistos abaixo). A parte heurística é responsável pela escolha de quais funções ou propriedades vão representar os padrões para serem reconhecidos.

III.4.4.b - Métodos matemáticos.

A solução matemática é baseada nas regras de classificação (regras de decisão) que são formadas e deduzidas após estudos matemáticos, fazendo uso dos conceitos de "propriedades comuns" e conceitos de "agrupamentos". A implementação das fórmulas representativas das figuras do exemplo da seção III.4.3.b demonstra o uso desses métodos para a confecção do sistema de reconhecimento de padrões. Tornando mais claro, ao selecionar pontos da figura de amostra, calculam-se as várias funções. Aquela que for satisfeita, significa que o elemento da amostra pertence à classe que a função representa.

III.4.4.c - Métodos sintáticos.

A caracterização de padrões por elementos primitivos e suas relações sugerem reconhecimento automático por aproximação linguística ou sintática, fazendo uso de conceitos de "propriedades comuns". Isto dá origem a uma gramática de padrões e é um interessante campo em desenvolvimento, hoje, no estudo de Reconhecimento de padrões.

Exemplo.

Na solução sintática, cada padrão pode ser descrito em termos de suas partes, isto é, sub-padrões. Cada sub-padrão pode novamente ser descrito em termos de suas partes. Os sub-padrões de menor nível ou os mais simples, são chamados de primitivas, e eles constituem os símbolos básicos de uma gramática de padrões.

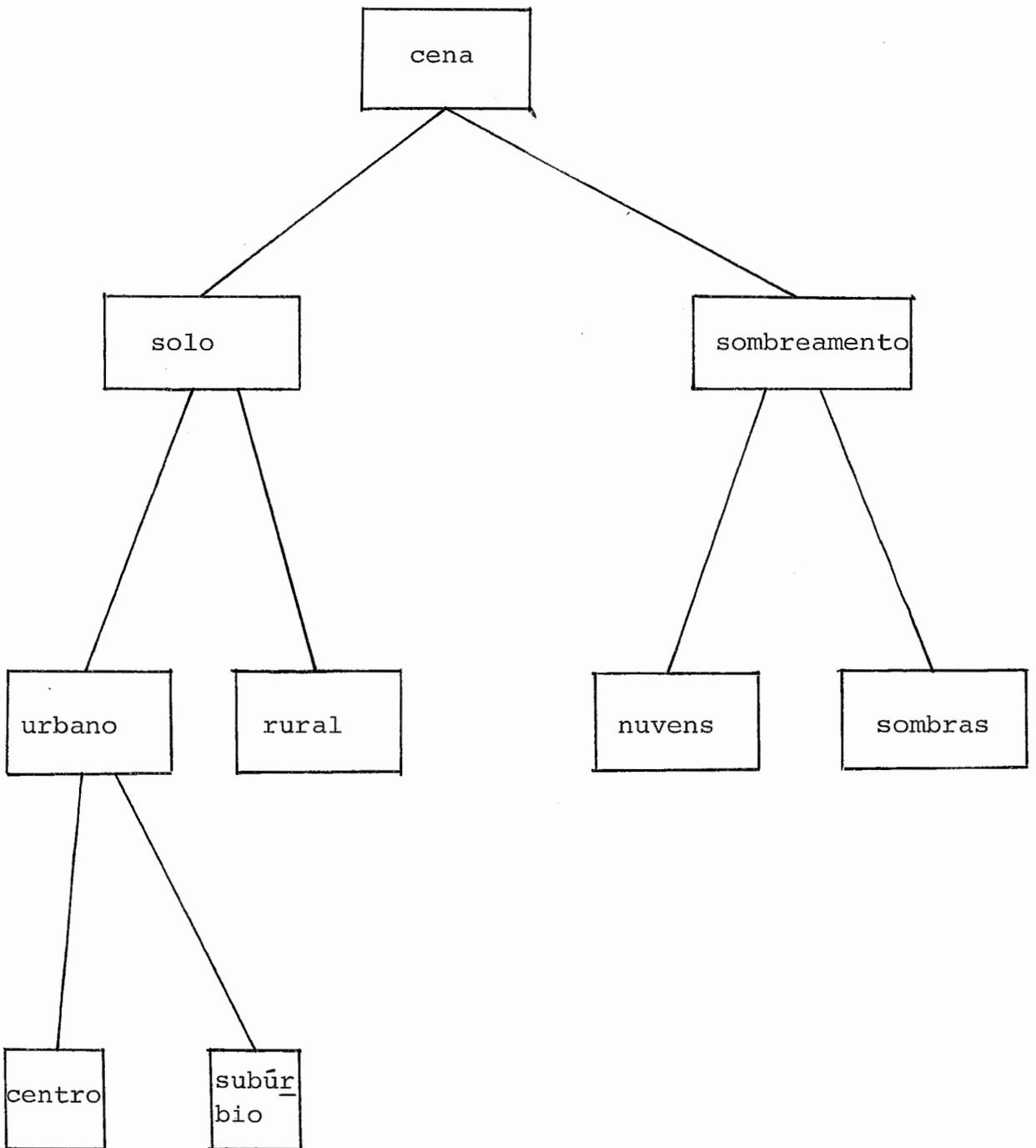


Figura III.8 : Representação sintática de uma cena LANDSAT de cidade.

Imaginemos por exemplo, uma cena do satélite LANDSAT apresentando uma região urbana e rural. A cena pode ser vista hierarquicamente como na Fig. III.8. Poderíamos continuar ramificando até casas, fábricas, ruas, etc... O limite de decomposição é função da resolução e atualmente existem várias respostas semelhantes prejudicando esta técnica. Mais tentativas encontramos na referência /BRIBE79/.

III.5 - Algoritmos para tratamento dos dados LANDSAT.

Para finalidades didáticas, podemos organizar os algoritmos que tratam os dados LANDSAT em quatro grandes grupos conforme o esquema da Fig. III.9.

Os algoritmos para correção dos dados (seção III.5.1) na imagem recebida preocupam-se em tentar restaurar total ou parcialmente imagens MSS do LANDSAT com máxima exatidão possível para que possam produzir boa saída digital (ou fotográfica) para processamento e análise. Descreveremos em detalhes cada um dos algoritmos existentes (ou pelo menos os mais usados), em uma próxima seção. Entretanto podemos já adiantar que estes algoritmos corrigem as distorções geométricas da imagem, eliminam ruído, atenuam borramentos, etc...

Os algoritmos para separação da melhor representação (seção III.5.2) do objetivo desejado preocupam-se em selecionar dentre as imagens existentes (lembre que existem quatro imagens para cada região, uma para cada banda), aquela que melhor representa o objeto de estudo. Por exemplo, se estamos interessados em observar reservas de água selecionaríamos a banda 2 porque nesta banda a resposta espectral da água é melhor observada. Dentre as técnicas usadas para alcançar estes objetivos contamos com o desenvolvimento de técnicas de histogramas, variação tonal, e seleção de características as quais serão descritas em seções próximas.

Os algoritmos de agrupamento e classificação de dados (seção III.5.3 e III.5.4), são os responsáveis pela classificação dos componentes da imagem em diversas classes de objetos. Estes algoritmos e os anteriores são de suma importância para o nosso trabalho. São eles que nos permitirão dizer onde existem campos agrícolas (trigo, arroz, milho, etc...) na imagem, onde existem

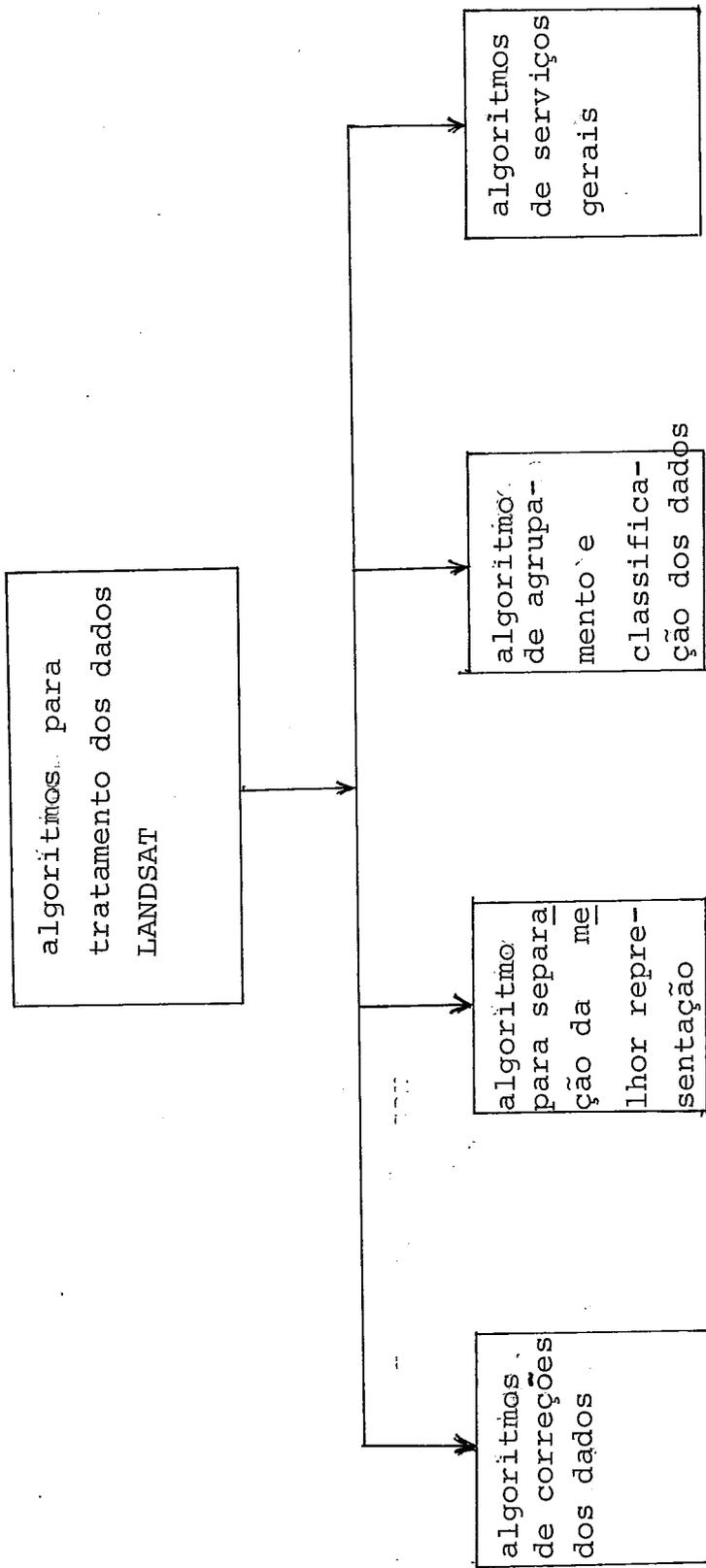


Figura III.9 : Esquema de distribuição dos algoritmos de tratamento dos dados LANDSAT.

rios, desertos, cidades, etc...

Estes tipos de algoritmos baseiam-se nas técnicas de classificação seguintes:

- 1) classificação por campo ou por região na imagem;
- 2) classificação por análise de agrupamentos;
- 3) classificação por procedimentos de particionamento da imagem.

Todas essas técnicas terão tratamento apropriado.

Os algoritmos de serviços gerais são os algoritmos que produzem resultados estatísticos estimativos. Na realidade são o objetivo final de todo o sistema de processamento digital de imagens LANDSAT e paradoxalmente são os mais fáceis de implementar.

Estes algoritmos são muito dependentes da sua aplicação e portanto particulares a cada uso. Através deles saberemos, após todo o procedimento anteriormente descrito, quantas toneladas de trigo renderá determinada região, por exemplo, ou então quantos kilowatts de energia elétrica seremos capazes de produzir com determinada quantidade de água sendo observada. Fica neste texto apenas a menção desses algoritmos de vez que sua construção é muito diversificada devido às aplicações a que se destinam.

III.5.1 - Técnicas de correção dos dados LANDSAT /WIE*P77/.

III.5.1.a - Prólogo.

As técnicas e algoritmos apresentados nesta seção, tentam corrigir as distorções geométricas presentes nas imagens LANDSAT como uma fase de preparação para o processo de classificação.

As distorções mencionadas são aquelas que causam anomalias na geometria da imagem e que foram enumeradas na seção II.5 (problemas e fontes de distorções), excetuando-se as distorções por ruído que serão tratados na seção III.5.2, mais a frente.

Uma visão geral das técnicas e suas funções é mostrada na Fig. III.10. Os algoritmos que são mencionados nos blocos dessa figura, tratam as distorções geométricas e são utilizados conforme é mostrado no fluxo de dados do diagrama de blocos apresentado. O objetivo final é a obtenção da imagem corrigida e formatada

B

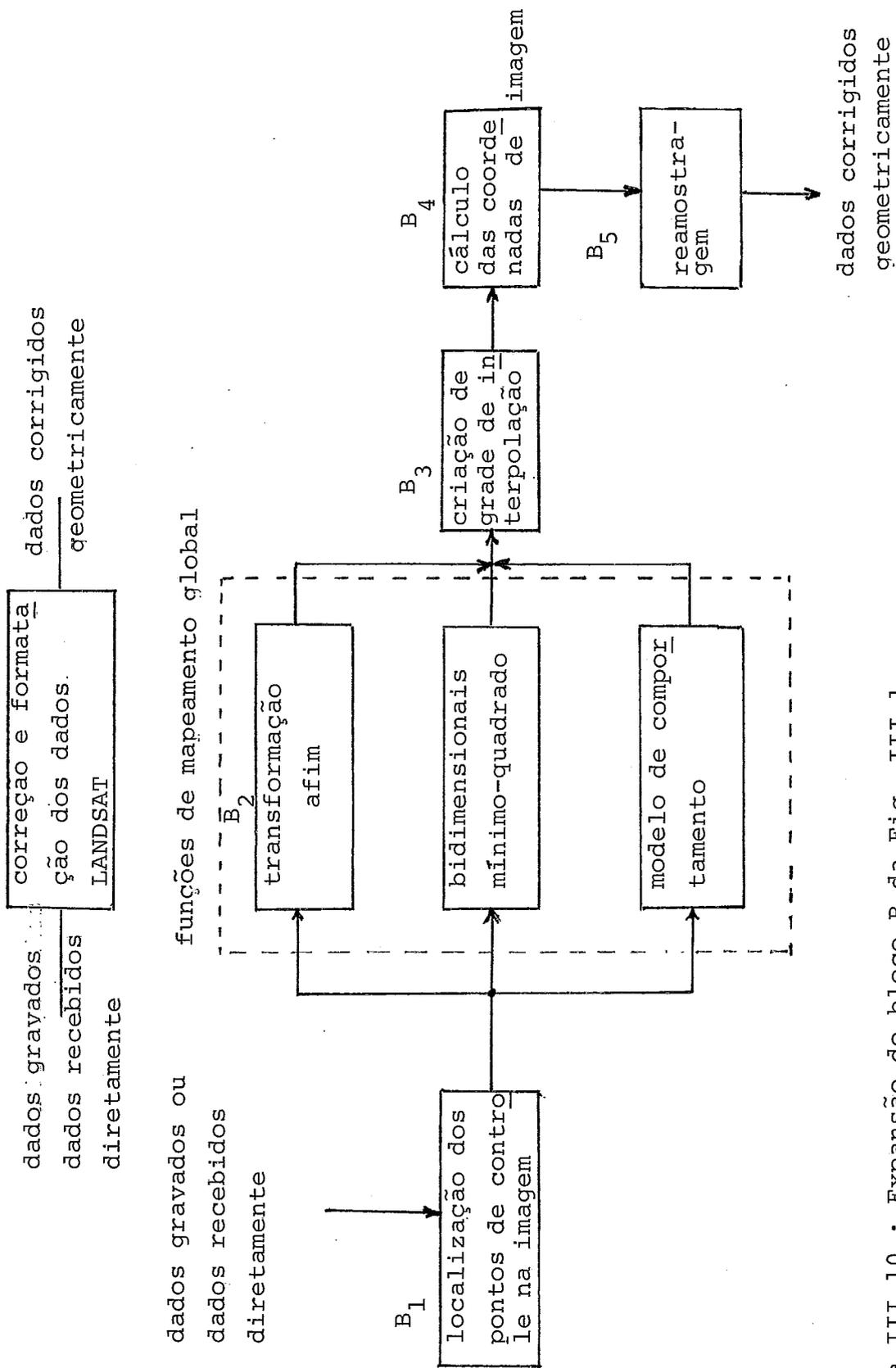


Figura III.10 : Expansão do bloco B da Fig. III.1. (bloco de correções e formatação dos dados LANDSAT).

da.

A Fig. III.10 é uma expansão do bloco B mostrado na Fig. III.1 (bloco de correções e formatação dos dados LANDSAT). A seguir, nas seções próximas, será explicado cada bloco da Fig. III.10.

III.5.1.b - Localização dos pontos de controle na imagem.
('GCP's - Ground Control Points'), (Fig.
III.10, bloco B₁).

Os pontos de controle são características, ou marcas na superfície terrestre ou ainda pontos de apoio, que são visíveis na imagem e cujas coordenadas podem ser determinadas nos mapas de referência. Como exemplo de pontos de controle típicos podemos citar: ilhas, rios, montanhas, etc...

Estes pontos de controle são usados para relacionar a geometria da imagem à projeção do mapa de referência e assim facilitar a aplicação de correções. As coordenadas de um ponto de controle são a amostra e o número da linha (isto é, coluna e linha) na matriz digitalizada da imagem onde o ponto de controle está localizado.

A correção pode ser feita em dois modos: manual e o automático. No modo manual, é gerado uma impressão de caracteres de impressora para dar até 16 níveis de cinza da área que contém o ponto de controle, indicando nessa impressão as coordenadas dos pontos. A seguir anotam-se as coordenadas dos pontos de controle na imagem simulada em impressora.

No método automático, as coordenadas dos pontos de controle são conseguidas através de correlação dos pontos de controle da imagem atual sendo pesquisada com os pontos de controle da imagem de referência. A imagem de referência é aquela obtida da mesma cena, cujos pontos de controle foram determinados pelo modo manual e catalogados em uma biblioteca.

A técnica de correlação é baseada na suposição que os pontos de apoio numa imagem são invariantes no tempo. Por isso que estes pontos são, em geral, acidentes geográficos. Outras qualidades da imagem como cor e textura, por exemplo, variam muito com as estações do ano (e assim com o tempo) não servindo como pon

tos de controle.

Partindo da premissa que os pontos de controle têm forma bem definida eles podem representar bem as características terres tres para as correções da imagem por correlação.

III.5.1.c - Funções de mapeamento global (Fig. III.10, bloco B₂).

Os pontos de controle desenvolvidos na seção III.5.1.b, são usados para definir funções que fazem as transformações entre os espaços do mapa e da imagem. Normalmente são usados três tipos de funções de mapeamento global:

- α) transformações afins;
- β) bidimensionais mínimo-quadrado;
- γ) funções de modelo de comportamento do satélite.

A escolha do método mais apropriado depende do número de pontos de controle e sua distribuição sobre a área da imagem.

III.5.1.c. α - Transformações afins.

A transformação afim mapeia um triângulo bidimensional de um espaço em um triângulo bidimensional em outro espaço. O mapeamento é feito de modo que os vértices do primeiro triângulo sejam mapeados nos vértices do segundo triângulo e, todos os outros pontos dentro, sobre ou fora do primeiro triângulo sejam mapeados em locais proporcionais com relação ao segundo triângulo.

Uma transformação afim corrige as seguintes distorções:

- 1) translação;
- 2) variação de escala devido a velocidade não linear do espelho do 'scanner';
- 3) rotação da terra;
- 4) taxa de aspecto;
- 5) inclinação do satélite.

O mapeamento obtido é dito linear no sentido em que mapeia linhas retas em linhas retas. Entretanto matematicamente, este mapeamento não é uma função linear verdadeira porque a transformação usa translação e esta viola a condição de linearidade seguinte:

$$f(a + b) = f(a) + f(b) \quad (\text{Eq. III.3})$$

As transformações afim são expressas como funções da forma seguinte:

$$X = X_0 + a_1U + b_1V \quad (\text{Eq. III.4})$$

e

$$Y = Y_0 + a_2U + b_2V \quad (\text{Eq. III.5})$$

onde (X,Y) representa coordenadas em um espaço e (U,V) coordenadas no outro espaço. Um conjunto de triângulos "afins" formado pelos pontos de controle produzem uma função de mapeamento linear por partes ('piecewise linear') sobre a imagem.

Existem algumas limitações para as transformações "afins" devido à aproximação de distorção não-linear para uma distorção linear por partes. Também, os pontos de controle requeridos para formar um conjunto adequado de triângulos "afins" podem ser difíceis de se obter em certos casos. Por exemplo, algumas áreas grandes de imagem podem possuir características muito dispersas para serem usadas como pontos de controle.

O método transformação afim é preferido onde há necessidade de retificar pequenas áreas na imagem ou onde alta exatidão não é prioritária.

III.5.1.c.β - Bidimensionais mínimo-quadrado.

Neste método quatro funções são calculadas usando mínimo quadrado para os dados de pontos de controle. Estas funções são:

$$S = f_1(E,N) \quad (\text{Eq. III.6})$$

$$L = f_2(E,N) \quad (\text{Eq. III.7})$$

$$E = f_3(S,L) \quad (\text{Eq. III.8})$$

e

$$N = f_4(S,L) \quad (\text{Eq. III.9})$$

onde S é a coordenada da amostra, L a linha da coordenada no espaço da imagem; N as coordenadas ao Norte (coordenadas 'northing') e E as coordenadas ao Leste (coordenadas 'easting') no espaço do mapa de referência. Essas funções são polinomiais de duas variáveis e podem ser definidas como do primeiro, segundo, terceiro, quarto ou quinto grau. O número de pontos de controle determina o grau máximo do polinômio. Os polinômios tem a seguinte

forma geral:

$$Z = C_0 + C_1X + C_2Y + C_3X^2 + C_4XY + C_5Y^2 + C_6X^3 + \\ + C_7X^2Y + C_8XY^2 + C_9Y^3 + \dots \quad (\text{Eq. III.10})$$

Estas funções são mais completas e oferecem vantagens sobre as transformações afins no caso em que uma imagem inteira ou uma grande porção de cena tem que ser retificada. Contudo, possuem limitações devido à performance estar relacionada à necessidade de um grande número de pontos de controle e à requisição de separação e contornos bem definidos nos pontos de controle. Alguns dos problemas de separação podem ser minimizados usando pontos de controle auxiliares. Esses pontos de controle auxiliares são criados em locais da imagem onde os pontos de controle não estão disponíveis.

III.5.1.c.γ - Modelo de comportamento.

O modelo de comportamento do satélite envolve a determinação ou conhecimento das funções relacionadas com o tempo, para a posição do satélite; velocidade; altitude; mudança de direção e grau de inclinação e ondulação nas órbitas. Podemos usar estas variáveis para corrigir geometricamente a imagem, porém é um critério por demais trabalhoso quanto ao tempo de máquina necessário para fazer isso. A vantagem desse método é a baixa sensibilidade à dispersão possível dos pontos de controle na imagem.

III.5.1.d - Criação de uma grade de interpolação (Fig. III. 10 , bloco B₃).

As funções de mapeamento anteriores poderiam ser usadas diretamente para transformar a imagem na projeção do mapa desejado. Contudo, isto não é prático, devido à enorme quantidade de cálculo necessário requerido para avaliar essas funções sobre milhões de pontos na imagem. Imaginando-se uma grade cobrindo uma área da imagem, as funções de mapeamento global podem ser avaliadas para cada ponto do interior da grade e então uma técnica de interpolação bilinear pode ser usada entre cada célula da grade.

A grade de interpolação é composta de 20 linhas verticais e 20 linhas horizontais. Estas linhas são definidas a partir do ma

pa UTM* ('Universal Transverse Mercator') por funções da seguinte forma:

$$Y = m X + b \quad (\text{Eq. III.11})$$

e

$$aX + bY + c = 0 \quad (\text{Eq. III.12})$$

onde Y é a coordenada ao Norte e X é a coordenada ao Leste. As coordenadas de interseção do UTM para cada par de linhas horizontal e vertical da grade são calculadas. Estas interseções ou 'mesh points' são transformadas através de funções de mapeamento global para calcular as coordenadas correspondentes da imagem. Quando cada ponto de interseção da grade é conhecido pode-se mapear os dados da imagem de maneira eficiente.

O mapeamento é na realidade um mapeamento inverso, isto é, ele processa do mapa espacial de volta para o mapa do espaço da imagem. Este arranjo tem a vantagem de permitir que a interpolação ocorra no espaço de entrada (imagem) em vez de no espaço de saída (mapa). Isto prova ser uma solução muito mais conveniente que o mapeamento direto.

III.5.1.e - Grade de interpolação através de passos.

O produto final desejado de uma retificação digital da imagem é uma matriz uniformemente espaçada de pixels que produzem uma imagem de acordo com a projeção do mapa UTM. É impossível a uniformidade no espaçamento porque o mapeamento entre os dois espaços (mapa e imagem) não é linear. O objetivo da grade de interpolação através de passos é identificar as coordenadas UTM dos pontos uniformemente espaçados no espaço da imagem. Esses são os locais em que os valores de intensidade da imagem devem ser retificados para a imagem de saída.

Os pixels são espaçados em 57 x 79 metros e como o espaçamento também é desejado no 'array' de saída, é necessário introduzir alguma redundância para preservar todas as informações da imagem original. Frequentemente é selecionada uma amostra e um espaçamento de linhas de 50 metros para pixels de saída.

* : UTM é um mapa detalhado das regiões do globo terrestre e principalmente dos Estados Unidos, construídos pelo Departamento de Defesa e outras instituições dos E.U.A.

III.5.1.f - Cálculo das coordenadas da imagem (Fig. III.10, bloco B₄).

Cada local no mapa, selecionado na seção III.5.1.e, é transformado em coordenadas da imagem usando interpolação bilinear entre as células de grade local. Pacotes de pixels são introduzidos no início e fim de cada linha de reamostragem para formar um 'array' de pixels de saída retangular. O cálculo das coordenadas da imagem é feito separando a linha de reamostragem em segmento. Um segmento corresponde a uma porção da linha de reamostragem entre duas linhas verticais da grade.

As coordenadas da imagem na interseção da linha de reamostragem e as duas linhas da grade vertical são calculadas e é deduzida uma equação do segmento de linha no espaço da imagem. Na realidade, duas equações são deduzidas, uma para coordenadas da amostra e outra para coordenadas de linhas. Estas equações são avaliadas para cada local de reamostragem para produzir as coordenadas de imagem para a qual a reamostragem está sendo feita.

III.5.1.g - Reamostragem (Fig. III.10, bloco B₅).

A reamostragem refere-se à determinação do valor de intensidade de uma imagem em uma dada posição. Tipicamente, esta localização cai em torno dos centros dos pixels, não exatamente sobre este centro; por isso algumas formas de interpolação são requeridas. Existem duas técnicas comumente usadas:

1) Método do vizinho mais próximo - é o método mais simples e eficiente. Neste método o pixel cujo centro está próximo da localização da reamostragem é usado para fornecer o valor de intensidade para a localização da reamostragem. Este método introduz certa quantidade de erro geométrico. Para grandes áreas de sub-imagens ou cenas inteiras isto é aceitável e produz bons resultados em um período curto de UCB (Unidade Central de Processamento).

2) Convolução cúbica - este método foi desenvolvido por Rifman /RIFMS76/ e é uma aproximação eficiente para uma interpolação teoricamente ótima usando $\frac{\text{sen } x}{x}$. Enquanto a convolução cúbica é mais eficiente que

sen x , ela é bem mais lenta que o método do vizinho mais próximo, porém não introduz erros significativos. Fica aqui apenas a menção do método.

III.5.1.h - Técnicas especiais.

As técnicas apresentadas até aqui corrigem as distorções da categoria "contínua global" como discutido no capítulo II. Existem métodos especiais para remover distorções espaciais de faixa contínuas e descontínuas. Os erros de faixa contínuos podem ser vistos como erros contínuos no tempo e podem ser corrigidos através das funções de mapeamento global descritos anteriormente. Contudo, devido a essas distorções serem cumulativas, não há necessidade de sobrecarregar as funções de mapeamento global para corrigir este tipo de distorção. Quando as distorções podem ser removidas sem reclassificar os dados da cena (pontos de controle) é vantajoso fazer isso porque reduz-se o número total de pontos de controle necessários para alcançar a mesma exatidão. O método usado para corrigir distorções de faixa contínua é o abaixo:

- 1) Ajustar as coordenadas da amostra de cada ponto de controle subtraindo os erros de faixa contínuos;
- 2) Gerar uma grade de interpolação usando o dado ajustado. As coordenadas da imagem nos pontos de interseção, nesta grade agora correspondem a uma imagem que não tem distorções de faixa contínuas;
- 3) Reintroduzir as distorções de faixa adicionando-as às coordenadas da amostra para cada ponto de interseção na grade de interpolação. Isto força a grade a mapear de volta as coordenadas corretas da imagem original no espaço real.

A outra categoria, distorções de faixa descontínuas, é corrigida no processo de reamostragem. Ambos os algoritmos de vizinho mais próximo e convolução cúbica são usados para corrigir o atraso do sensor e o atraso devido à rotação da terra. A técnica usada envolve reposicionamento dos pixels de entrada da imagem para reamostragem. O reposicionamento é o inverso da distorção o

(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)
(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)
(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)
(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)

Figura III.11 (a) : 'Array' de pixels normais 4 x 4, anterior à convolução cúbica.

(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)			
	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)		
		(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	
			(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)

Figura III.11 (b) : 'Array' 4 x 4, ajustado antes para distorções de faixa descontínua, para amostragem por convolução cúbica.

original e a remove, porém ele cria também um 'array' irregular para o algoritmo de reamostragem. Veja Fig. III.11 (a) e (b) para comparar o 'array' de pixels originais e o reposicionado para reamostragem por convolução cúbica.

III.5.2 - Algoritmo para separação da melhor representação (Fig. III.12).

III.5.2.a - Prólogo.

Na seção III.5.1, vimos as técnicas e algoritmos empregados para corrigir as distorções geométricas nos dados. Nesta seção, mostraremos como são usadas as técnicas de realce de imagem para contornar o problema das distorções por ruído nas imagens fornecidas pelo LANDSAT. Também, veremos o uso dessas técnicas para selecionar dentre uma das bandas existentes, aquela que nos fornece melhor representação dos dados para o que desejamos investigar.

Aqui também será apresentado um algoritmo para seleção de características, que, apesar de não tratar de realce de imagem, foi englobado nesta seção porque é através dessa classe de algoritmos que se reduz consideravelmente os dados LANDSAT para processamento, sem perda significativa de informações. Portanto, os algoritmos de seleção de características permitem uma melhor representação dos dados para as máquinas.

III.5.2.b - Realce de imagem por histograma /HUMMR74/, /HUMMR75/ (Fig. III.12, bloco B₆).

O uso de técnicas de histograma baseia-se em técnicas de reconhecimento de padrões gráficos e é fundada no conceito de que duas classes (por exemplo, trigo e arroz), tendo níveis de cinza médio diferentes na imagem, devem ser visíveis em um histograma, de dois modos distintos podendo assim serem separadas.

Como esta técnica foi idealizada, ela serviria para separar classes, mas a experiência mostrou que seus resultados eram insatisfatórios. Entretanto, se em vez de tentar separar classes, utilizarmos esta técnica para escolhermos, dentro de uma mesma classe, em qual banda esta classe possui melhor representação, esta

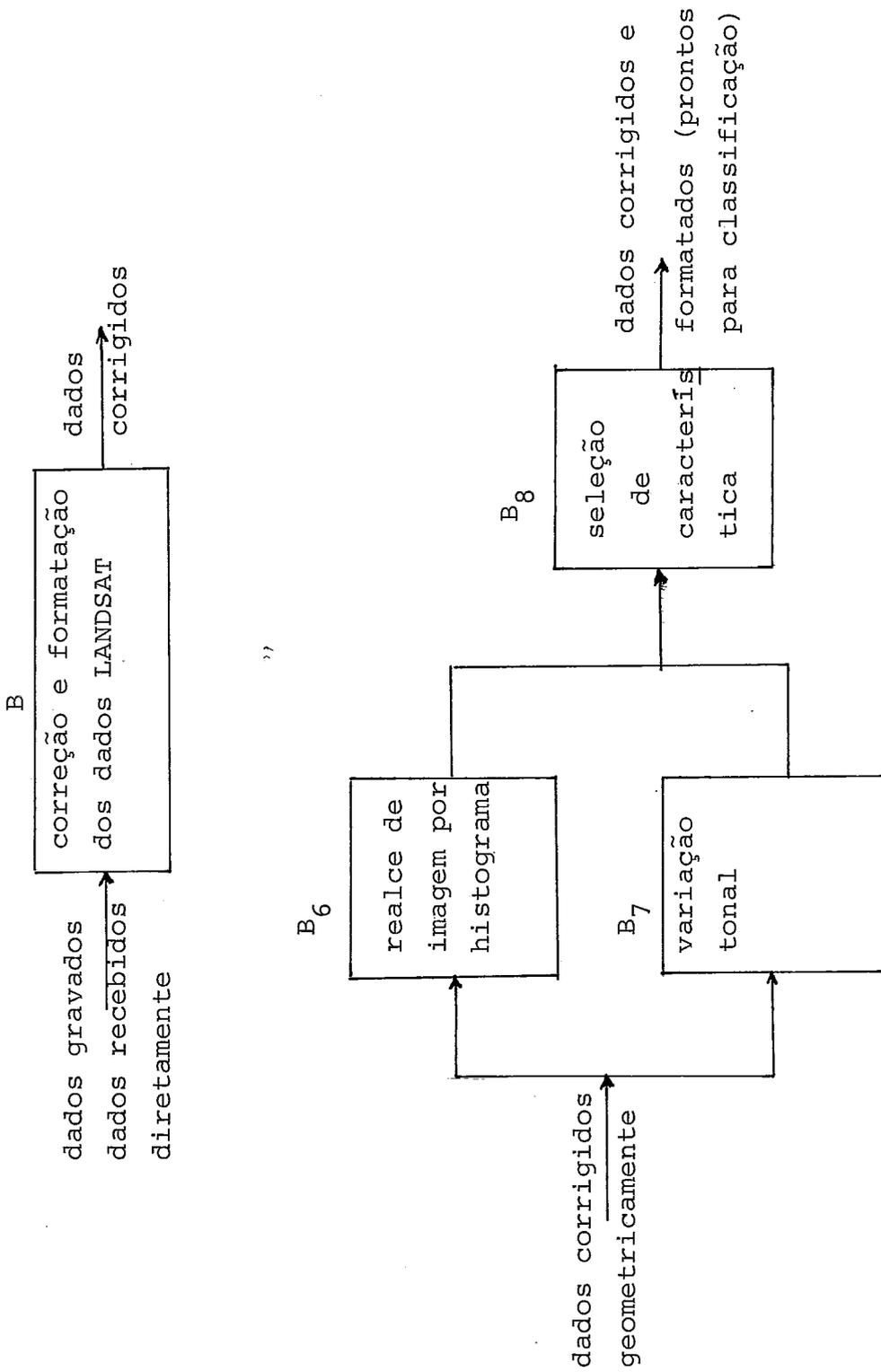


Figura III.12 : Expansão do bloco B da Fig. III.1, em continuação à Fig. III.10.

técnica torna-se de muito valor auxiliando na escolha da melhor banda onde se está representando o dado, objeto de estudo.

Utilizando a idéia mencionada anteriormente podemos utilizar o algoritmo abaixo, que ao final nos fornecerá um histograma bi-dimensional dos níveis de cinza contidos na imagem por bandas do espectro eletromagnético que estão sendo utilizados. No eixo x estarão representados os níveis de cinza e no eixo y as bandas sob estudo.

- Algoritmo.

- ~ Passo 0 - Considere $I = 1, 2, \dots, n$ sendo o número de imagens (bandas) sob exame. No caso LANDSAT, teremos $n = 4$ no lançado em 1972 e $n = 5$ nos mais modernos. Faça $I = 0$ neste passo.
- ~ Passo 1 - Faça $I = I + 1$. Se I for maior que n termina-se a confecção do histograma, indo-se ao passo 3.
- ~ Passo 2 - Considere $g_i = f(a, b)$, $i = 1, 2, \dots, k$, o valor do nível de cinza de cada pixel i na banda I e plote estes valores no histograma da banda I examinando a banda I até que acabem os pontos de imagem (pixels). Aqui, a e b são as dimensões da imagem examinada. Quando acabar a banda I , retorne ao passo 1 para analisar uma nova banda.
- ~ Passo 3 - Plotar o histograma final obtido, reunindo todas as bandas analisadas.

O histograma final gerado fornece as informações necessárias para que se escolha a melhor banda representativa dos dados. Seu formato final, pensando no nosso exemplo inicial (trigo e arroz), seria como na Fig. III.13.

Não é difícil concluir que a escolha da banda 3 seria mais adequada ao estudo do plantio do arroz, enquanto a banda 2 seria útil para estudar plantio de trigo.

Entretanto, há casos em que o histograma em si não acrescenta nenhuma informação para se tomar a decisão acertada. Para esses casos existem dois métodos muito interessantes propostos por Hummel em /HUMMR75/, que ajustam os níveis de cinza, pela eliminação do ruído presente na imagem para que possamos ter uma me

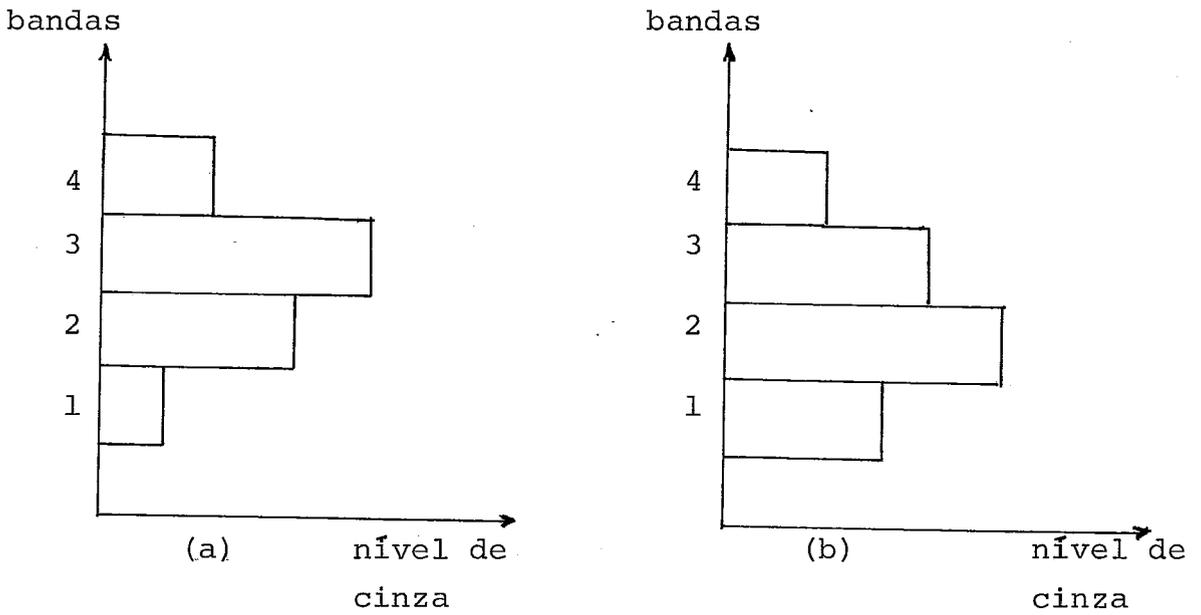


Figura III.13 : Exemplo de histograma.

(a) - Histograma para a classe "arroz".

(b) - Histograma para a classe "trigo".

-1	-1	+2	n = 3
-1	+2	-1	
+2	-1	-1	

Figura III.14 : Modo de enfatizar contornos.

lhor visão da distribuição das classes por banda. Vejamos esses métodos.

- Método 1: Correção da média local.

O primeiro método, chamado de correção de média local, tenta ajustar o nível de cinza médio de cada ponto em relação ao nível médio de cinza da imagem inteira (nível de cinza médio global).

Considere μ_0 denotando a média global. Suponha que o nível médio de cinza em uma janela (uma janela é uma determinada área na imagem, de pequenas dimensões) de $n \times n$ pixels, nas vizinhanças de um pixel qualquer vale μ . Considere o nível de cinza do pixel específico sendo g , se μ é mais escuro que a média total μ_0 e maior que g , se μ é mais claro que a média total μ_0 . Especificamente, dá-se ao pixel um novo nível de cinza,

$$g - \alpha(\mu - \mu_0) \quad (\text{Eq. III.13})$$

onde α é uma constante, $0 \leq \alpha \leq 1$. Os dois parâmetros para esse método são o tamanho m da janela e o coeficiente α .

Podemos fazer algumas considerações sobre esse método. Observemos a Eq. III.13. Para altos valores de α ocorre aumento do realce de linhas e bordas nas imagens sob estudo. As linhas podem ser rios, estradas e as bordas podem ser separações de tipos de terrenos, separação de campos agrícolas, etc...

Há realce de tal forma que os pixels contidos em regiões grandes, ou seja, os pixels contidos dentro de regiões com altos valores de m , são aproximados ao valor μ_0 (nível de cinza global). Quando o nível médio de cinza da janela é menor que o nível médio de cinza das regiões predominantes, altos valores para α destroem os vários níveis de cinza interiores a essas janelas enquanto realçam as bordas nas regiões predominantes.

- Método 2: Modificação do histograma local.

O segundo método é chamado de modificação do histograma local. Este método tem a vantagem no caso de produção de foto-mosaicos (delineamento de estruturas ou tipos de terrenos pela su

perposição de várias imagens). Ao contrário do método anterior (correção da média local), este método não precisa de parâmetros para ajustar o grau de correção fotométrica (correção do nível de cinza).

O cálculo das médias locais no método anterior é simples, desde que se assuma uma janela quadrada $m \times m$. Na modificação do histograma local requer-se um trabalho um pouco maior e a transformação que determina o novo nível de cinza do ponto central depende da integral do histograma, que pode ser calculada por uma somatória a partir da base,

$$T(z) = N. \left(\sum_{k=1}^z p(k) + \frac{1}{2}.p(k+1) \right) \quad (\text{Eq. III.14})$$

N é o número de níveis de cinza (no caso LANDSAT $N = 64$) e $p(k)$ é o valor do nível de cinza do histograma local, z é o número de janelas da imagem total. Como mencionamos anteriormente, este método demonstra ser eficaz para a produção de fotomosaicos onde se necessita de uma separação precisa entre duas regiões distintas.

III.5.2.c - Variação tonal /BELKN72/, /BAUEM76/ (Fig. III.12, bloco B₇).

A variação dos tons de cinza, dentro de uma mesma classe, tem sido aproveitada para determinar moléstias em plantações como citado em /BAUEM76/. Por exemplo, suponhamos um campo de trigo: normalmente sua imagem apresenta uma coloração cinza escuro na imagem do satélite. Se alguma moléstia ataca a plantação, a coloração das folhas muda caracterizando a ocorrência de moléstias. Entretanto, esta não é a única aplicação para o método. Podemos usá-lo também para realce de imagens e conseqüentemente conseguindo atenuar o ruído presente nas imagens LANDSAT. Várias soluções têm sido apresentada para implementar o método de variação tonal dois exemplos comuns são o operador linear geral e o gradiente de Roberts /BELKN72/. Vejamos essas implementações.

III.5.2.c.α - O operador linear.

O operador linear pode ser empregado para realçar níveis de cinza em diferentes direções. Em somatória digital, ele consiste

de um 'array' bidimensional, onde cada elemento é associado a algum valor $w(x,y)$ positivo ou negativo, de tal modo que,

$$\sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n w(x,y) = 0 \quad (\text{Eq. III.15})$$

onde n é o número de pixels em uma determinada janela. Se por exemplo são conhecidos os contornos na imagem em determinados ângulos, digamos 45 graus, então o peso $w(x,y)$, pode ser arranjado, de modo a enfatizar esses contornos como mostrado na Fig. III.14.

III.5.2.C.β - Gradiente de Roberts.

A técnica de gradiente de Roberts emprega uma matriz 2×2 que mede a diferença absoluta em níveis de cinza entre pares de pontos diagonalmente adjacentes na imagem. O valor do gradiente de Roberts é determinado como se segue:

$$g'_{i,j} = |x_{i,j} - x_{i+1,j+1}| + |x_{i+1,j} - x_{i,j+1}| \quad (\text{Eq. III.16})$$

onde os pixels $x_{i,j}$ são distribuídos em uma matriz 2×2 , na seguinte forma:

$x_{i,j}$	$x_{i,j+1}$
$x_{i+1,j}$	$x_{i+1,j+1}$

Este operador é aplicado a cada ponto do 'array', consistindo de $x'_{i,j}$ elementos cujos valores refletem os gradientes de níveis locais. Esta informação pode ser usada de dois modos:

1) A média local de todos os valores $x'_{i,j}$ do novo 'array' fornecem um valor médio de nível de cinza para a imagem original, uma estatística que é bastante útil quando se está estabelecendo características de classes de membros de um mesmo agrupamento.

2) Serve para limitar o novo 'array' a um nível que fornece a localização espacial de áreas de maior variação tonal na imagem.

Baseado principalmente no segundo modo acima mencionado é que se pode analisar um certo campo agrícola quanto à ocorrência de qualquer fato estranho (por exemplo, no caso citado no início da seção, moléstias de plantações).

III.5.2.d - Seleção de características (Fig. III.12, bloco B₈).

Seleção de características é um ponto muito importante em projetos de sistemas de reconhecimento de padrões. Como um sistema de processamento de imagens LANDSAT utiliza basicamente técnicas de Reconhecimento de Padrões para fazer análise dos dados, devemos também considerar a seleção de características como um fator importante neste problema.

A seleção de características, tais como os algoritmos de serviços gerais mencionados na seção III.5, tem suas soluções dirigidas em geral, para resolver um problema específico. Para se concluir qual algoritmo de seleção de características é o mais apropriado para a solução de um problema é necessário que antes se façam experiências com três ou quatro algoritmos; para então tirar-se as conclusões necessárias.

A seleção de características ajuda a economizar bastante o custo computacional do processo todo, porque é através desse método que se consegue redução considerável dos dados a estudar, com sacrifício mínimo de informações acerca desses dados. Por exemplo, suponhamos uma imagem LANDSAT formada de milhões de pixels (isto é o que realmente acontece). Se olharmos uma região de 8x8 pixels, provavelmente todos eles apresentarão as mesmas características. Então, em vez de trabalharmos com todos os pixels de região considerada, basta trabalharmos com um "representante" eleito com base nos algoritmos de seleção de características.

Como já mencionado existem vários algoritmos de seleção de características de acordo com a aplicação e para ilustrar este trabalho foi escolhido um algoritmo muito usual para problemas gerais de reconhecimento de imagens LANDSAT que descreveremos a seguir.

- Método de subespaços para seleção de características /THERC75/.

Assuma que os padrões, que devem ser classificados em uma

classe i são descritos por vetores em um espaço vetorial linear F (o espaço de característica). A finalidade do método de sub-espaço é desenvolver um conjunto de sub-espaços de F que relacionam as características de distinção importantes de cada classe. Se P_i é definido como operador de projeção correspondente a tal sub-espaço, então a característica z_i pode ser definida como:

$$z_i = |x_{(i)}|^2 = x^T \cdot P_i \cdot x, \quad i=1,2,\dots,k, \quad (\text{Eq. III.17})$$

onde x é o valor sendo classificado (pixel ou também padrão) e $x_{(i)}$ denota a projeção de x no sub-espaço $S(P_i)$. Os sub-espaços mencionados, $S(P_i)$, são gerados como se segue.

É gerado primeiro um sub-espaço ótimo para representação de cada classe usando a expansão Karhunen-Loève /CHIEY67/. Em particular, se é desejado representar os vetores da classe i com algum limite ϵ para o erro médio quadrático:

$$\epsilon \geq \epsilon_i = \frac{E_i(|x - x_{(i)}|^2)}{E_i(|x|^2)}, \quad (\text{Eq. III.18})$$

onde E_i denota o valor esperado usando a densidade da classe i , então o sub-espaço de menor dimensão m_i que alcança a condição da Eq. III.18 é formado por auto-vetores da matriz de correlação correspondente aos m_i maiores auto-valores*. Se ϵ for especificado m_i pode ser determinado da Eq. III.18 e a relação,

$$\epsilon_i = \frac{\sum_{j=m_i+1}^n \lambda_j^{(i)}}{\sum_{j=1}^n \lambda_j^{(i)}}, \quad (\text{Eq. III.19})$$

onde os $\lambda_j^{(i)}$, $j=1,2,\dots,n$ são auto-valores da matriz de correlação da classe i ,

$$R_i = E_i(x \cdot x^T), \quad (\text{Eq. III.20})$$

assumidos ordenados como $\lambda_1^{(i)} \geq \lambda_2^{(i)} \geq \dots \geq \lambda_n^{(i)}$, fica válida. Os operadores de projeção P_i , $i = 1,2,\dots,k$ correspondentes aos sub-espaços de representação são gerados usando a fórmula:

* : Ver deduções matemáticas em /CHIEY67/.

$$P = \sum_{j=1}^m e_j e_j^T \quad (\text{Eq. III.21})$$

onde os e_j são auto-vetores.

Os sub-espacos de caracteristicas são formados de sub-espacos de representação, removendo a interseção desses sub-espacos. Se P_i representa o operador de projeção do i -ésimo sub-espaco de caracteristica, então:

$$\begin{aligned} P_i' &= P_i \cap \left(\bigcap_{\substack{Q=1 \\ Q \neq i}}^k \bar{P}_Q \right) \\ &= P_i \cap \left(\bigcap_{\substack{Q=1 \\ Q \neq i}}^k (I - P_Q) \right), \quad I \text{ é a matriz de identidade} \end{aligned} \quad (\text{Eq. III.22})$$

O operador de projeção correspondente à porção do espaco de observação não incluído em qualquer dos sub-espacos de caracteristica é dado por:

$$P_{k+1}' = \overline{\bigcup_{i=1}^k P_i'} = I - \bigcup_{i=1}^k P_i' \quad (\text{Eq. III.23})$$

No passo final, vetores no espaco de observação são transformados via uma transformação ortonormal B para,

$$x^* = B \cdot x \quad (\text{Eq. III.24})$$

e os operadores de projeção são transformados para;

$$P_i^* = B \cdot P_i' \cdot B^T \quad i = 1, 2, \dots, k+1 \quad (\text{Eq. III.25})$$

com $S(P_i^*) = S(P_i')$.

A transformação B é escolhida de tal modo que P_i^* toma uma forma simples, particular, com 1's nos elementos da diagonal e 0's nos outros locais. Assim o cálculo das caracteristicas z_i envolvem somente quadrados das componentes de x^* . Deste modo cada z_i representa a caracteristica de cada classe i que será usada para posterior classificação.

III.5.3 - Algoritmos de agrupamento e classificação dos dados LANDSAT por funções de distância.

III.5.3.a - Prólogo.

Nas seções III.5.1 e III.5.2 mostramos as técnicas para aplicação de correções aos dados LANDSAT. Após os dados estarem corrigidos, o próximo passo é a classificação desses dados; ou seja devemos formar agrupamentos na imagem LANDSAT sob estudo, para dividi-la de acordo com as regiões que estão contidas nessa imagem.

Para fazer o agrupamento e classificação dos dados, existem dois métodos, conforme mostrado na Fig. III.15. O método manual foi descrito na seção III.2 e é conseguido através do uso de imagens LANDSAT sob a forma de fotografias, usando a percepção humana. O método automático usando algoritmos computacionais é o que será detalhado nesta seção.

Ainda para os métodos automáticos faremos uma sub-divisão, por questões de apresentação, quanto às teorias dos algoritmos empregados. Dividiremos esses algoritmos (veja Fig. III.16) naqueles que se baseiam em funções de distância (esta seção) e aqueles que se baseiam em funções de probabilidade (seção III.5.4).

III.5.3.b - Busca e critérios de agrupamento.

É evidente que a capacidade de determinar protótipos representativos de um dado agrupamento simbolizando uma classe tem uma importância vital no projeto de classificadores baseados em conceitos de funções de distância. Nesta seção consideraremos vários métodos de busca de agrupamentos, com algum detalhe.

Uma busca de agrupamento ou simplesmente um procedimento de agrupamento ('clustering') é um método para determinar o tipo de estrutura descrevendo um conjunto de dados empíricos. Os dados similares em alguma forma convencional, são agrupados formando uma classe sendo então isolados ou particionados do conjunto de dados restantes. Existem vários procedimentos de busca de agrupamento. Em geral esses procedimentos seguem o roteiro a seguir.

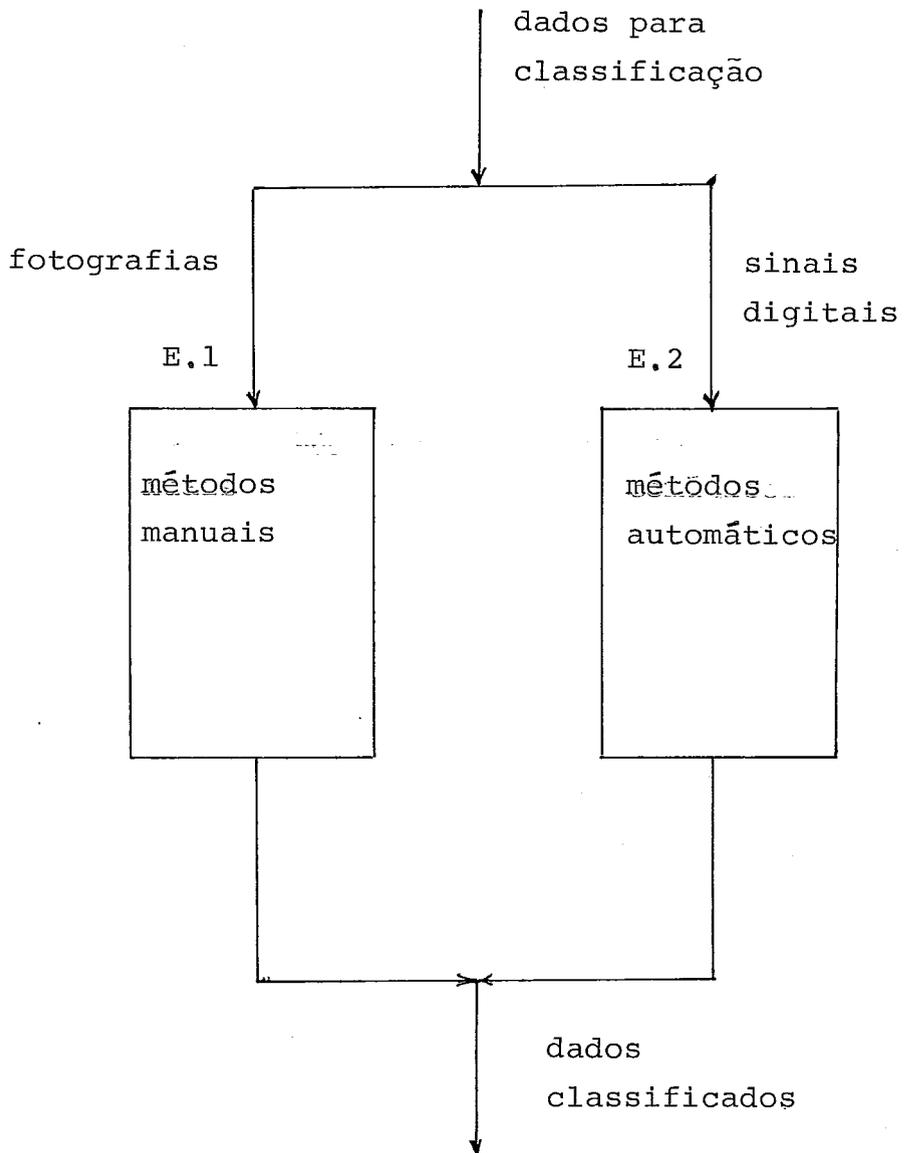


Figura III.15 : Métodos para agrupamento e classificação dos dados LANDSAT.
Expansão do bloco E da Fig. III.1.

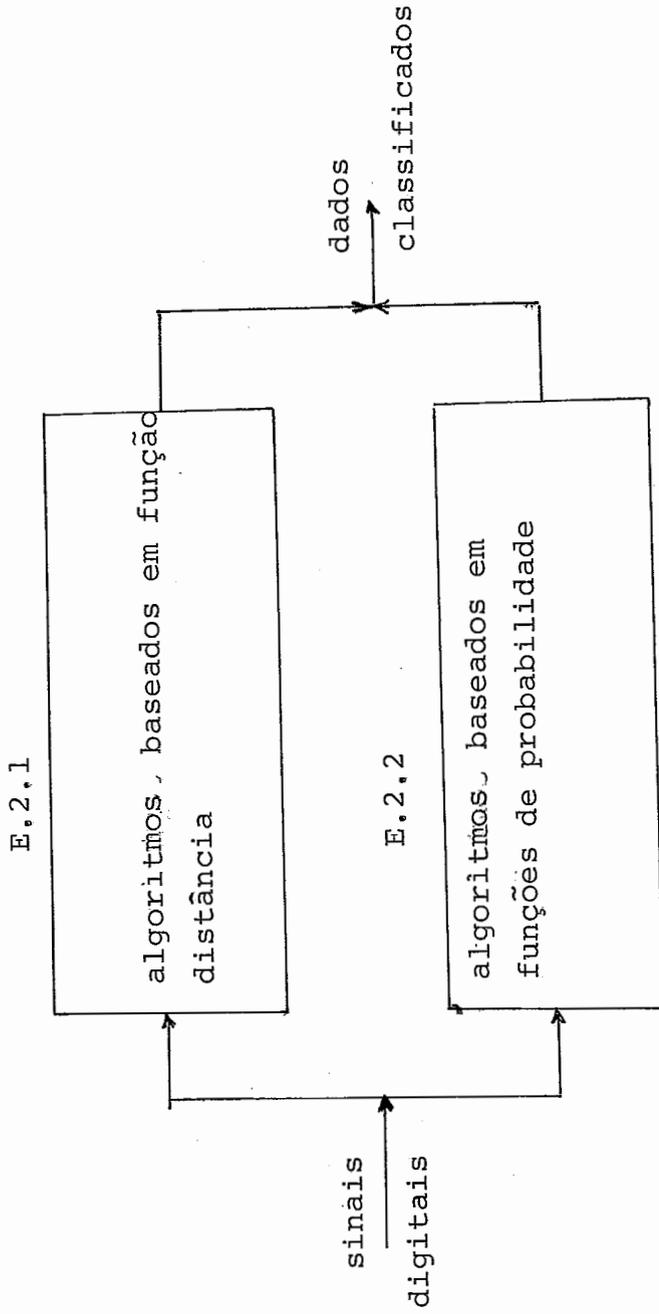


Figura III.16 : Divisão dos algoritmos relativos às técnicas automáticas para agrupamento e classificação dos dados LANDSAT. (Expansão do bloco E.2 da Fig. III.15).

- Passo 1 - Particionar o conjunto de dados usando uma medida de similaridade apropriada levando em conta algum critério pré-especificado. Padrões considerados similares, são agrupados na mesma classe.
- Passo 2 - Testar a partição conseguida no passo 1 para determinar se ela é significativa. Isto é, se os subconjuntos de padrões são ou não suficientemente distintos (por exemplo, em termos de distância entre agrupamentos). Se não, reagrupar os subconjuntos que não são suficientemente distintos entre si.
- Passo 3 - Particionar repetitivamente os subconjuntos criados, testando cada passo como no passo 2, até que não resulte mais subdivisão, ou até que um outro procedimento definido de parada seja satisfeito. O critério de parada pode ser estabelecido satisfazendo-se a informação acerca do número de classes desejadas, ou determinado tempo de computação seja alcançado.

É importante ressaltar que a busca de agrupamento é muito mais uma arte experimental-orientada, no sentido de que o desempenho de um algoritmo não é somente dependente do tipo de dado sendo analisado. É também fortemente influenciado pela escolha da medida de similaridade do padrão e o método utilizado para identificação dos agrupamentos dos dados.

A busca de agrupamentos é feita com base no conceito de medida de similaridade entre o pixel que está sendo classificado e a classe a que ele pertence.

Após a medida de similaridade entre os pixels ter sido tomada, nós ainda estamos com o problema de especificar um procedimento para repartir a imagem em agrupamentos. O critério de agrupamento usado, pode representar um esquema heurístico, ou pode ser usado com base na minimização (ou maximização) de certos índices de desempenho. A aproximação heurística é ditada pela experiência e intuição, consistindo em especificar um conjunto de regras que utilizam a medida de similaridade como escolha, a fim de associar pixels a agrupamentos.

O critério baseado em índices de desempenho é guiado pelo desenvolvimento de um procedimento que irá minimizar ou maximizar a escolha do índice de desempenho. Um dos índices comumente usados é o índice de soma dos erros médios quadráticos dado por:

$$J = \sum_{j=1}^{N_c} \sum_{x \in S_j} |x - m_j|^2 \quad (\text{Eq. III.26})$$

onde N_c é o número de agrupamentos, S_j é o conjunto de amostras pertencentes ao j -ésimo domínio, e

$$m_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} x \quad (\text{Eq. III.27})$$

é o vetor médio amostra do conjunto S_j . Na Eq. III.27, N_j representa o número de amostras em S_j . O índice de desempenho da Eq. III.26 representa a soma total dos erros médios quadráticos entre as amostras de um agrupamento e suas médias correspondentes.

Nas próximas seções apresentaremos um conjunto de algoritmos (veja Fig. III.17) baseados nos princípios expostos aqui e que conseguem a classificação dos dados LANDSAT. Qualquer deles pode ser aplicado para conseguir a classificação, porém cada qual tem seu desempenho específico e a escolha final de um deles depende de experiências.

III.5.3.c - Classificação de campos agrícolas por distância mínima /TOU*J74/ (Fig. III.17, bloco E.2.1.a).

Em muitas situações os pixels que formam determinada classe (no nosso caso consideraremos classes como campos agrícolas) tendem a agrupar-se, rigidamente em torno de um padrão típico representativo daquela classe. Este padrão típico é a média.

Considere M regiões diversas em uma imagem LANDSAT representando classes de padrões e assuma que estas classes são representáveis por suas médias em níveis de cinza, ou usando terminologia de padrões, protótipos Z_1, Z_2, \dots, Z_M . A distância euclidiana entre um pixel arbitrário x e o i -ésimo protótipo é dado por:

$$D_i = |x - Z_i| = \sqrt{(x - Z_i)' (x - Z_i)} \quad (\text{Eq. III.28})$$

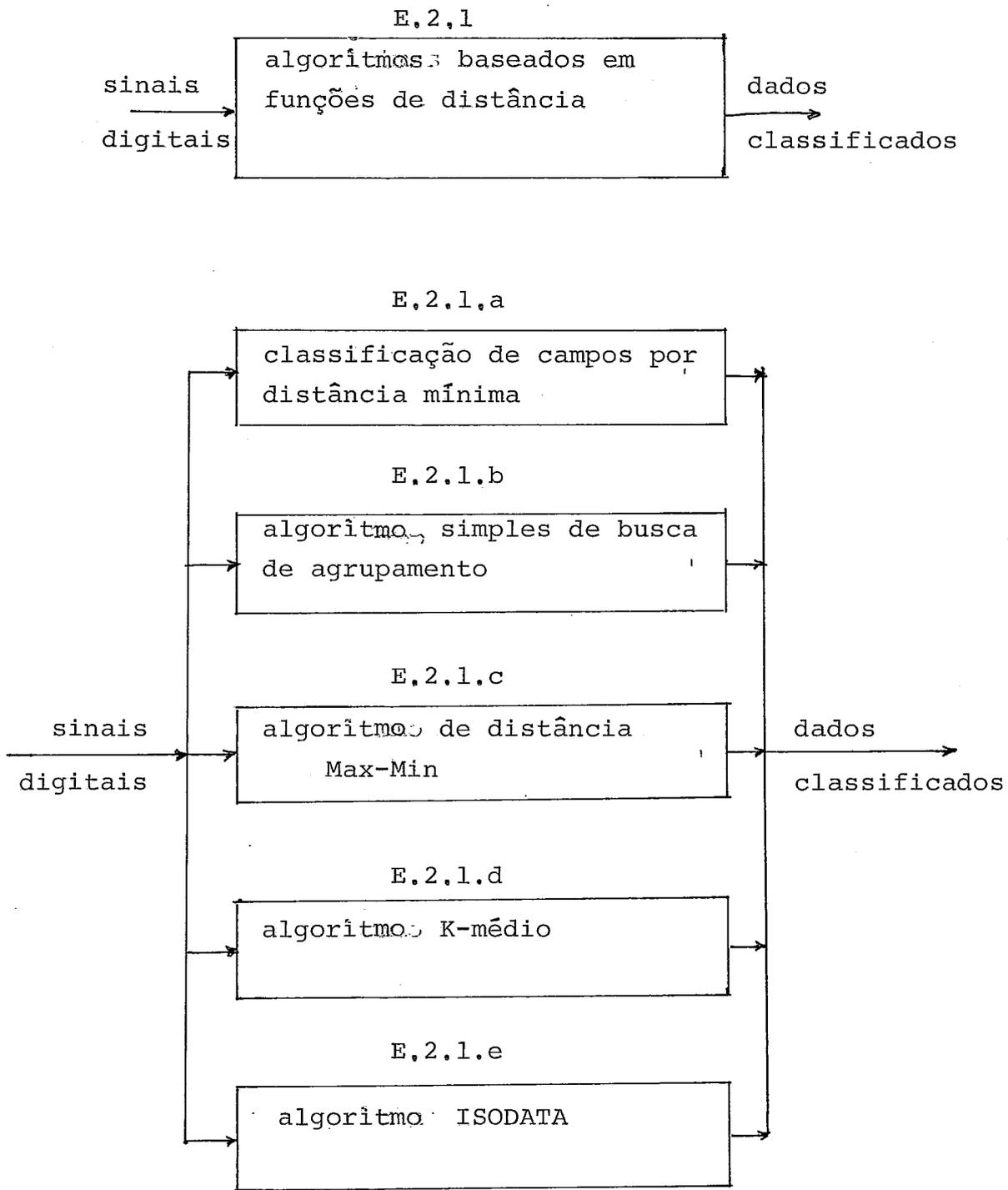


Figura III.17 : Algoritmos baseados em funções distância que servem para agrupar e classificar os dados LANDSAT.

Um classificador de distância mínima calcula a distância do pixel desconhecido x , para os protótipos de cada classe envolvida e associa o pixel para a classe com a qual ele mais se identifica. Em outras palavras, x é associado a classe w_i se $D_i < D_j$ para qualquer $i \neq j$. Os empates são resolvidos arbitrariamente.

A Eq. III.28 pode ser expressa em termos mais convenientes. Elevando ao quadrado os membros desta equação obteremos:

$$\begin{aligned} D_i^2 &= |x - z_i|^2 = (x - z_i)' \cdot (x - z_i) \quad (\text{Eq. III.29}) \\ &= x'x - 2(x'z_i - \frac{1}{2}z_i'z_i) \end{aligned}$$

Escolher o D_i^2 mínimo é equivalente a escolher o D_i mínimo de vez que todas as distâncias são positivas. Da Eq. III.29 vemos que o termo $x'x$ é independente de i (e portanto constante) para qualquer que seja o D_i^2 , $i = 1, 2, \dots, M$ e escolhendo D_i^2 mínimo é equivalente a escolher o máximo de $(x'z_i - \frac{1}{2}z_i'z_i)$. Consequentemente podemos definir a função de decisão:

$$d_i(x) = x'z_i - \frac{1}{2}z_i'z_i, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (\text{Eq. III.30})$$

onde um pixel x é associado a classe w_i se $d_i(x) > d_j(x)$ para todo $i \neq j$. Esta solução é também conhecida como correlação ou 'cluster matching'.

III.5.3.d - Um algoritmo simples de busca de agrupamentos /TOU*J74/ (Fig. III.17, bloco E.2.1.b).

Suponha que temos um conjunto de n pixels amostras $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Considere o primeiro centro de agrupamento Z_1 igual a qualquer um dos pixels de amostra e selecione um limite de similaridade T não negativo. Por conveniência, escolhamos $Z_1 = x_1$.

Como próximo passo calculamos a distância D_2 de x_2 para Z_1 pela Eq. III.28. Se esta distância excede T , é iniciado um novo centro de agrupamento $Z_2 = x_2$. Se não excede, associamos x_2 ao domínio de agrupamento de centro em Z_1 .

Suponha que $D_{21} > T$ de modo que Z_2 é estabelecido. No próximo

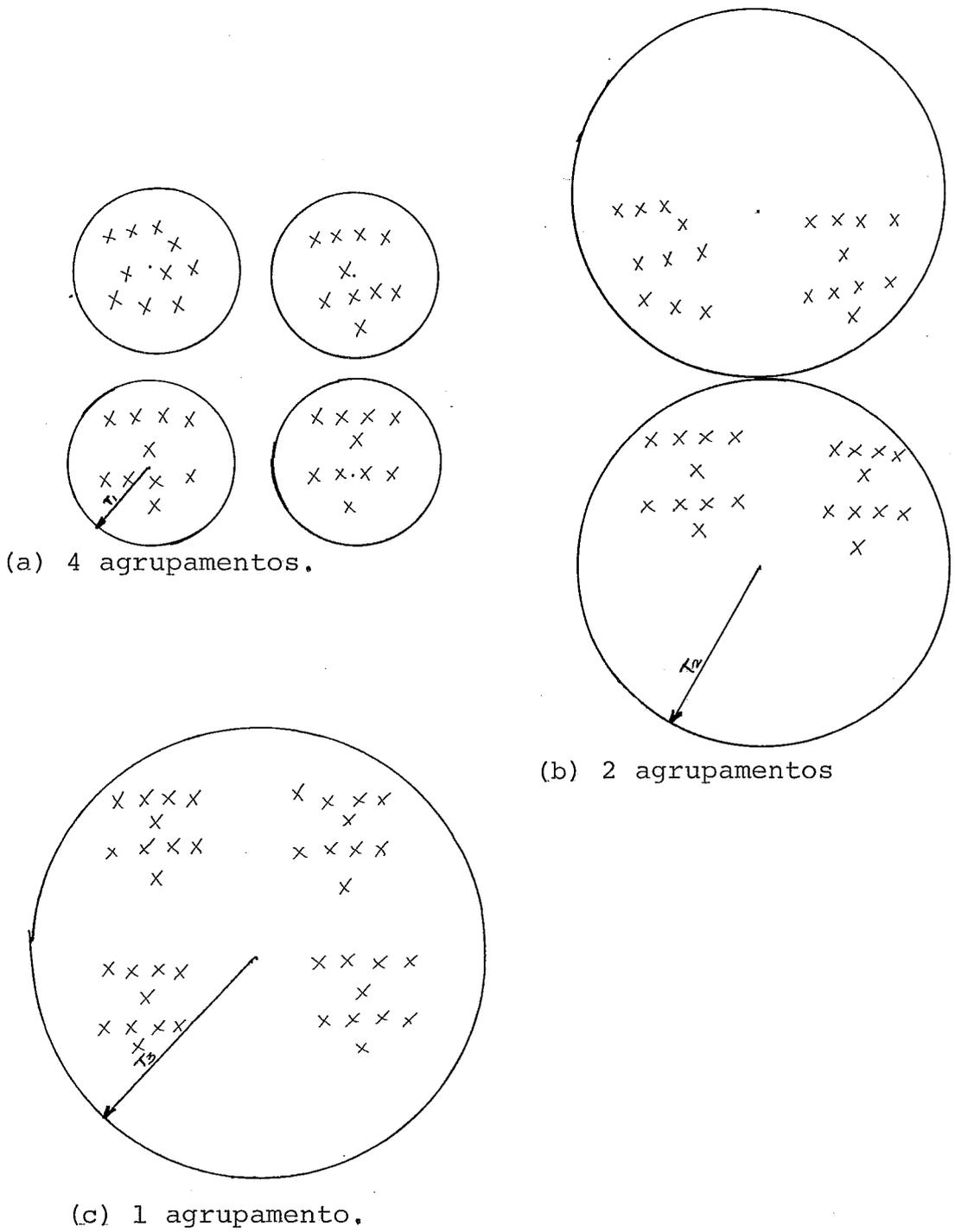


Figura III.18 : Efeito de limites e pontos de partida em busca de agrupamentos.

no passo, as distâncias D_{31} e D_{32} de x_3 para Z_1 e Z_2 devem ser calculadas. Se ambas, D_{31} e D_{32} , são maiores que T é criado um novo centro de agrupamento $Z_3 = x_3$. Se não são maiores associamos x_3 ao agrupamento cujo centro está mais próximo e assim prosseguimos até terminar a classificação.

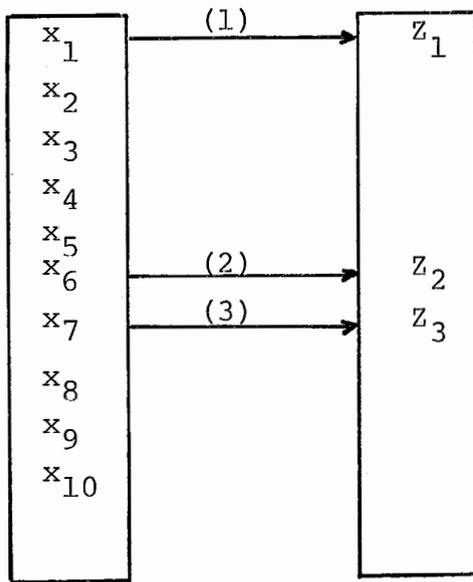
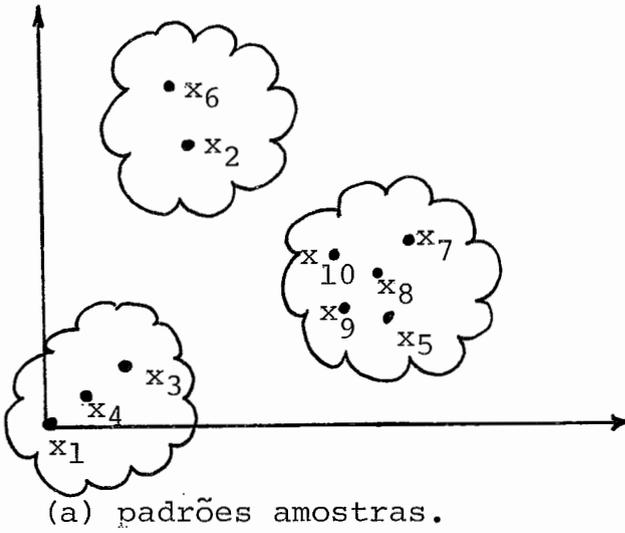
Os resultados de procedimentos posteriores dependem do primeiro centro de agrupamento escolhido, da ordem na qual os padrões são considerados, do valor de T e naturalmente das propriedades geométricas dos dados. Estes efeitos são ilustrados na Fig. III.18 onde três diferentes centros de agrupamentos são obtidos com o mesmo dado, simplesmente variando T e o ponto de partida.

III.5.3.e - Algoritmo de distância Max-Min / TOU*J74 / (Fig. III.17, bloco E.2.1.c).

O algoritmo de distância Max-Min é um outro procedimento heurístico que leva em conta a distância euclidiana. Este princípio, é similar ao esquema apresentado na seção III.5.3.d, com exceção de que ele primeiro identifica as regiões de agrupamentos mais distantes. O procedimento é melhor entendido com um exemplo.

Considere a amostra de 10 elementos mostrada na Fig. III.19.a. Uma tabela contém as amostras; a outra uma lista de centros de agrupamentos associados no desenvolvimento do algoritmo. A última tabela está inicialmente vazia. No primeiro passo, nós arbitrariamente consideramos x_1 pertencente ao centro de agrupamento Z_1 (Fig. III.19.b). O número sobre as setas nesta figura indicam os passos nos quais os centros de agrupamentos foram colocados.

Em seguida nós determinamos a amostra mais distante de x_1 , que no caso é x_6 e chamaremos a ela centro de agrupamento 2, Z_2 . No terceiro passo calculamos a distância de cada amostra restante em relação a Z_1 e Z_2 . Para cada par desses cálculos salvamos a distância mínima. Então, selecionamos o máximo dessas distâncias mínimas. Se esta distância é uma fração apreciável da distância entre os centros de agrupamentos Z_1 e Z_2 (digamos, metade ou mais) chamamos a amostra correspondente 3, Z_3 . De outro modo o algoritmo está terminado. Se nós usamos o critério no exemplo dado, é fácil verificar, que x_7 torna-se o centro de a



(b) Tabelas de classificação dos centros de agrupamentos.

Figura III.19 : Exemplo de padrões distribuidos para agrupamentos pelo algoritmo Max-Min.

grupamento Z_3 .

No próximo passo, calculamos a distância de cada um dos três centros estabelecidos para as amostras restantes e salvamos o mínimo para todo grupo dessas três distâncias. Então novamente selecionamos o máximo dessas distâncias mínimas e assim prosseguimos até que nenhum novo centro seja detectado. Obtemos 3 centros de agrupamentos x_1, x_6, x_7 . Para as amostras restantes ao domínio destes centros nós associamos cada amostra para seu mais próximo centro de agrupamento vizinho. Assim da Fig. III.19.a nós obtemos os domínios $\{x_1, x_3, x_4\}$, $\{x_2, x_6\}$ e $\{x_5, x_7, x_8, x_9, x_{10}\}$. Para obter um centro de agrupamento representativo poderíamos usar a amostra média de cada agrupamento como centro de agrupamento usando a Eq. III.27. Estas médias podem então ser usadas como novos centros de agrupamentos.

III.5.3.f - Algoritmo K-médio /TOU*J74/ (Fig. III.17, bloco E.2.1.d).

O algoritmo apresentado abaixo é baseado na minimização de um índice de desempenho que é definido como a soma das distâncias quadráticas de todos os pontos no domínio de um agrupamento em relação ao centro deste. Este procedimento, é chamado de algoritmo K-médio, consistindo dos seguintes passos.

Passo 1 - Escolha K centros de agrupamento iniciais $Z_1(1), Z_2(1), \dots, Z_K(1)$. Eles são arbitrários e normalmente selecionados como as primeiras K-amostras de um dado conjunto de amostras.

Passo 2 - Ao K-ésimo passo iterativo distribua as amostras $\{x\}$ entre os domínios dos K grupos, usando a relação:

$$x \in S_j(K) \text{ se } |x - Z_j(K)| < |x - Z_i(K)| \quad (\text{Eq. III.31})$$

para todo $i = 1, 2, \dots, K, i \neq j$, onde $S_j(K)$ denota o conjunto de amostras cujo centro de agrupamento é $Z_j(K)$. Os empates na Eq. III.31 são resolvidos arbitrariamente.

Passo 3 - Pelos resultados do passo 2 calcule os novos centros de agrupamento $Z_j(K+1)$, $j = 1, 2, \dots, K$, tal que a soma das distâncias quadradas de todos os pontos $S_j(K)$ para novos agrupamentos seja minimizado. Em outras palavras, o novo centro de agrupamento $Z_j(K+1)$ é calculado de modo que o índice de performance

$$J_j = \sum_{x \in S_j(K)} |x - Z_j(K+1)|^2 \quad j = 1, 2, \dots, K \quad (\text{Eq. III.32})$$

seja minimizado. O $Z_j(K+1)$ que minimiza este índice de performance é simplesmente a média amostral de $S_j(K)$. Portanto o novo centro de agrupamento é dado por

$$Z_j(K+1) = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j(K)} x, \quad j = 1, 2, \dots, K, \quad (\text{Eq. III.33})$$

onde N_j é o número de amostras em $S_j(K)$. O nome K-médio é derivado da maneira pela qual os centros de agrupamentos são sequencialmente atualizados.

Passo 4 - Se $Z_j(K+1) = Z_j(K)$, $j = 1, 2, \dots, K$, o algoritmo é convergente e o processo termina. De outro modo volte ao passo 2.

O comportamento do algoritmo K-médio é influenciado pelo número de centros de agrupamento especificados, pela escolha dos centros iniciais, pela ordem no qual as amostras são tomadas e naturalmente pelas propriedades geométricas do dado. Em muitos casos práticos a aplicação deste algoritmo requer experimentação de vários valores de K bem como diferentes configurações de partida.

III.5.3.g - Algoritmo ISODATA ('Iterative Self-Organizing Analysis Techniques A', o 'A' é colocado para tornar a palavra pronunciável) /TOU*J74/ (Fig. III.17, bloco E.2.1.e).

O algoritmo ISODATA, apresentado aqui, é similar ao algoritmo K-médio no sentido em que os centros de agrupamento são deter

minados de maneira iterativa com base na média das amostras. Ao contrário do último algoritmo, contudo, o ISODATA representa um conjunto de amostras mais completas de procedimentos heurísticos que são incorporados no esquema iterativo.

Antes de começar o algoritmo é necessário especificar um conjunto N_c de agrupamentos iniciais Z_1, Z_2, \dots, Z_{N_c} . Este conjunto, que não necessita ser necessariamente igual, em número de elementos, aos centros de agrupamento desejados, pode ser formado selecionando as amostras de um certo conjunto de dados.

Para um conjunto de N amostras $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, o algoritmo ISODATA consiste dos seguintes passos:

Passo 1 - Especificar os parâmetros seguintes do processo;

- K - o número de centros de agrupamento desejados.
- θ_N - Um parâmetro contra o qual vai ser comparado um determinado número de amostras em um domínio de agrupamento.
- θ_s - parâmetro de desvio padrão.
- θ_c - parâmetro de aglomeração.
- L - número máximo de pares de centros de agrupamento que podem ser aglomerados.
- I - número de iterações desejadas.

Passo 2 - Distribuir as N amostras entre os centros de agrupamento presentes escolhidos inicialmente, usando a relação

$$x \in S_j, \text{ se } |x - Z_j| < |x - Z_i|, \quad i = 1, 2, \dots, N_c \\ i \neq j$$

para todo x do conjunto de amostra. Nesta notação S_j representa um subconjunto de amostras associadas ao centro de agrupamento Z_j . Ao sair deste passo já teremos N_c agrupamentos, cada agrupamento é um S_j .

Passo 3 - Descarregar os subconjuntos de amostra com menos de θ_N membros, ou seja, se para qualquer j , $N_j < \theta_N$, descarregar S_j e diminuir 1 de N_c .

Passo 4 - Atualizar cada centro de agrupamento Z_j , $j = 1, 2, \dots, N_c$, colocando-o igual a média do conjunto amostra correspondente; isto é,

$$Z_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} x, \quad j = 1, 2, \dots, N_c, \quad (\text{Eq. III.34})$$

onde N_j é o número de amostras em S_j . Este passo é igual ao modo como a média é calculada no algoritmo K-médio.

Passo 5 - Calcular a distância média, \bar{D}_j das amostras no domínio do agrupamento S_j de seus respectivos centros de agrupamento, usando a relação

$$\bar{D}_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} |x - Z_j|, \quad j = 1, 2, \dots, N_c, \quad (\text{Eq. III.35})$$

Passo 6 - Calcule a distância média total das amostras de seus respectivos centros de agrupamento, usando a relação

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_c} N_j \cdot \bar{D}_j \quad (\text{Eq. III.36})$$

N é o total das amostras em todas as classes.

Passo 7 - a) Se esta é a última iteração ($I = 0$), colocar $\theta_c = 0$ e vá ao passo 11.

b) Se $N_c \leq \frac{K}{2}$ (metade ou menos do número de agrupamento desejado) vá ao passo 8.

c) Se esta é uma iteração ímpar ou se $N_c > 2 \cdot K$ vá ao passo 11.

d) Caso não seja nenhum destes casos vá ao passo 8.

Passo 8 - Ache o vetor desvio padrão $\sigma_j = (\sigma_{1j}, \sigma_{2j}, \dots, \sigma_{nj})'$ para cada subconjunto de amostras usando a relação:

$$\sigma_{ij} = \sqrt{\frac{1}{N_j} \sum_{x \in S_j} (x_{ik} - z_{ij})^2} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \\ j = 1, 2, \dots, N_c \end{array}$$

(Eq. III.37)

onde n é a dimensionalidade da amostra, x_{ik} é o i -ésimo componente da k -ésima amostra em S_j , z_{ij} é o i -ésimo componente de Z_j e N_j é o número de amostras em S_j . Cada componente de σ_j representa o desvio padrão das amostras em S_j ao longo de um eixo coordenado principal.

Passo 9 - Ache o componente máximo de cada σ_j , $j = 1, 2, \dots, N_c$ e denote-o como $\sigma_{j\max}$.

Passo 10 - Se para qualquer $\sigma_{j\max}$, $j = 1, 2, \dots, N_c$, nós temos;

a) $\sigma_{j\max} > \theta_s$, $\bar{D}_j > \bar{D}$ e $N_j > 2(\theta_N + 1)$ ou

b) $N_c \leq \frac{K}{2}$;

então divida Z_j em dois novos centros de agrupamento Z_j^+ e Z_j^- , deletar Z_j e aumentar N_c de 1. O centro de agrupamento Z_j^+ é formado adicionando-se uma certa quantidade γ_j ao componente de Z_j que corresponde ao máximo componente de σ_j , Z_j^- é formado subtraindo γ_j do mesmo componente de Z_j . Um modo de estipular γ_j é considerá-lo igual a alguma fração de $\sigma_{j\max}$, isto é $\gamma_j = k \cdot \sigma_{j\max}$, onde $0 < k \leq 1$.

A exigência básica para a escolha de γ_j , é que ele seja suficiente para produzir uma diferença detectável na distância de uma dada amostra arbitrária para os dois novos centros de agrupamento, mas não tão grande a ponto de variar apreciavelmente o resto dos arranjos de agrupamentos. Se a divisão toma lugar neste passo, vá ao passo 2; de outro modo, continue.

Passo 11 - Calcule a distância entre pares de centros D_{ij} , entre todos os centros de agrupamentos:

$$D_{ij} = |z_i - z_j| \quad i = 1, 2, \dots, N_c - 1 \\ j = 1, 2, \dots, N_c \quad (\text{Eq. III.38})$$

Passo 12 - Compare as distâncias D_{ij} com o parâmetro θ_c . Arranje as L menores distâncias que são menores que θ_c em ordem ascendente $(D_{i_1j_1}, D_{i_2j_2}, \dots, D_{i_Lj_L})$ onde $D_{i_1j_1} < D_{i_2j_2} < \dots < D_{i_Lj_L}$ e L é o número máximo de pares de centros de agrupamentos que podem ser amontoados (reunidos em um só). O processo de amontoamento é discutido no próximo passo.

Passo 13 - À cada distância $D_{i_\ell j_\ell}$ existe um par associado de centros de agrupamentos $z_{i_\ell j_\ell}$. Iniciando com a menor dessas distâncias, faça uma operação de amontoamento aos pares de acordo com a seguinte regra:

$$z_\ell^* = \frac{1}{N_{i_\ell} + N_{j_\ell}} \cdot (N_{i_\ell} (z_{i_\ell}) + N_{j_\ell} (z_{j_\ell})) \quad (\text{Eq. III.39})$$

Faça a deleção z_{i_ℓ} e z_{j_ℓ} e diminua N_c de 1.

Note-se que é conseguido somente amontoamento aos pares e que um centro de agrupamento amontoado é obtido da média ponderada de cada um dos centros de agrupamento antigos pelo número de amostras nestes domínios. A experiência indica que amontoamentos mais complexos produzem resultados insatisfatórios.

O procedimento acima torna o centro do agrupamento amontoado, representativo do ponto médio verdadeiro dos subconjuntos combinados. É também importante notar que, como um centro de agrupamento pode ser amontoado somente uma vez, este passo não irá resultar em L centros agrupados, sempre que for executado.

Passo 14 - Se esta iteração é a última, o algoritmo chega ao seu final. De outro modo deve-se voltar ao passo 1 se qualquer um dos parâmetros do processo requer vari

ação ou vá ao passo 2 se os parâmetros permanecem os mesmos para a próxima iteração. Uma iteração é contada toda vez que o procedimento retorna ao passo 1 ou 2.

III.5.4 - Algoritmos de agrupamento e classificação dos dados LANDSAT por funções de probabilidade.

III.5.4.a - Prólogo.

Na seção III.5.3, mostramos os algoritmos de agrupamento e classificação de dados LANDSAT baseados em funções de distância. Nesta seção, apresentaremos os algoritmos que se baseiam em funções de probabilidade (veja Fig. III.20) e que servem para a mesma finalidade dos algoritmos da seção anterior.

A grande diferença entre os dois grupos de algoritmos é que o primeiro não dá importância primordial às propriedades estatísticas dos agrupamentos existentes na imagem, os algoritmos desse primeiro grupo são todos baseados em procedimentos heurísticos. O segundo grupo, apresentado nesta seção, considera em primeiro lugar as propriedades estatísticas dos agrupamentos, utilizando para isso ferramentas da teoria das probabilidades.

Novamente, voltamos a citar, que qualquer algoritmo, tanto da seção anterior, quanto a da atual consegue a classificação e portanto pode ser aplicado sem problemas.

III.5.4.b - Classificação por campo /FU**K76/ (Fig. III.20, bloco E.2.2.a).

Este tipo de classificação baseia-se em experiências que se tem obtido de acordo com as práticas agrícolas. Se um campo agrícola numa imagem tem a maioria de seus pixels classificados em uma classe w_1 então é razoável supor que toda aquela região onde foram extraídos aqueles elementos é a classe w_1 . Baseado na exposição acima, é formulado um procedimento de reconhecimento de padrões como se segue.

Considere F_1, F_2, \dots, F_m sendo as distribuições de probabilidade de vetores correspondentes a classes w_1, w_2, \dots, w_m , respectivamente. Então, dado um conjunto de pontos (padrões) $\{x_1$

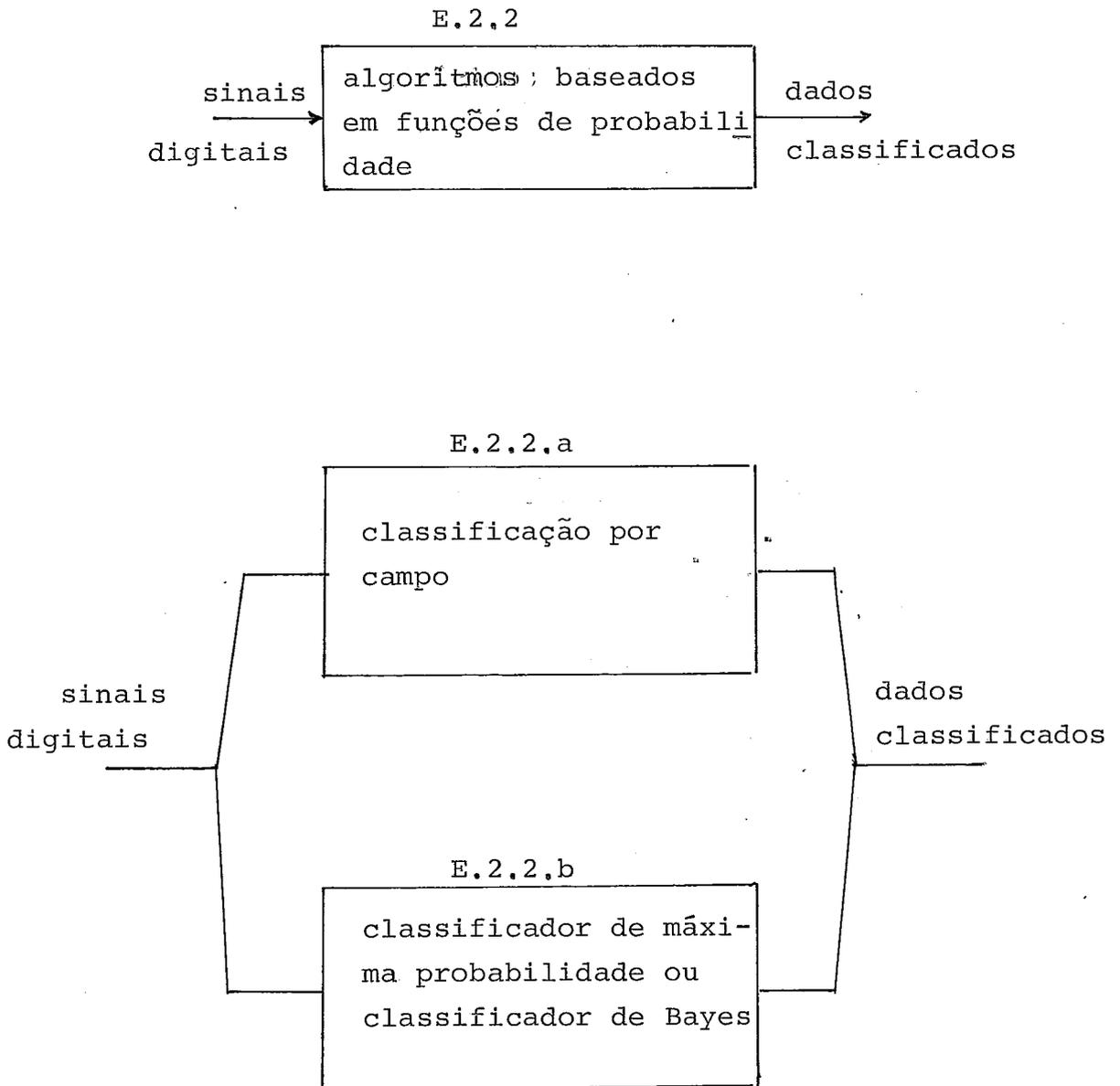


Figura III.20 : Grupo de algoritmos baseados em funções de probabilidade que servem para agrupar e classificar os dados LANDSAT.
(Expansão do bloco E.2.2 da Fig. III.16).

$x_2, \dots, x_n\} = \{X\}$ todos da mesma imagem, o problema será o de decidir a qual F_i eles pertencem e conseqüentemente classificá-los. Define-se uma medida de distância $d(F_i, F_j)$ como uma métrica de separação entre as distribuições F_i e F_j e esta métrica será usada como regra de tomada de decisão. Considere $G(X)$ sendo a distribuição governando $\{X\}$. A classificação será decidida comparando-se as distâncias $d(G, F_i)$; a distribuição F_i que minimiza a distância $d(G, F_i)$ provavelmente será a distribuição que contém $G(X)$. Portanto o vetor $\{X\}$ é classificado em uma classe conhecida.

Considere $F_i(X)$ e $F_j(X)$ sendo as distribuições das classes w_i e w_j , respectivamente. Então a distância entre as distribuições F_i e F_j é definida como:

$$d^2(F_i, F_j) = \int_C (\sqrt{\rho(X/w_i)} - \sqrt{\rho(X/w_j)})^2 dx \quad (\text{Eq. III.40})$$

onde C é o espaço de classificação (seção III.4.1.c).

Se nós definirmos

$$\rho(F_i, F_j) = \int_C \sqrt{\rho(X/w_i)} \cdot \sqrt{\rho(X/w_j)} dx \quad (\text{Eq. III.41})$$

teremos

$$d^2(F_i, F_j) = 2 - 2\rho(F_i, F_j); \quad (\text{Eq. III.42})$$

a quantidade $\rho(F_i, F_j)$ expressa a correlação entre a distribuição F_i e F_j , e poderemos usar $\rho(F_i, F_j)$ na tomada de decisão. É importante notar que para minimizar $d(F_i, F_j)$ é o mesmo que maximizar $\rho(F_i, F_j)$. Portanto a classificação (decisão) pode ser feita escolhendo a classe que maximize a função de correlação ρ .

A distância $d(F_i, F_j)$ definida na Eq. III.40 é aplicável a qualquer par de distribuição.

III.5.4.c - Classificador de máxima probabilidade ou classificador de Bayes /TOU*J74/ (Fig. III.20, bloco E.2.2.b).

Suponha w_1, w_2, \dots, w_m como classes (no nosso caso campos agrícolas) e que desejamos classificar um determinado vetor x em uma das classes existentes. Suponha $p(w_i/x)$ a probabilidade que x seja de w_i . Se o classificador de Bayes decide que x é de w_j quando realmente ele é de w_i , ele incorre em erro ou perda igual a L_{ij} . Como o padrão x pode pertencer a qualquer uma das classes sob consideração, o valor esperado da perda (risco de erro) associado a observação x para a classe w_j é dado por,

$$r_j = \sum_{i=1}^M L_{ij} \cdot p(w_i/x) ; \quad (\text{Eq. III.43})$$

M é o número de classes. Esta equação é referenciada como risco médio condicional ou perda.

O classificador tem M classes possíveis para escolha. Se ele calcula antes a quantidade $r_1(x), r_2(x), \dots, r_M(x)$, para qualquer x e associa cada padrão à classe com a menor perda, é claro que a perda total esperada com respeito a todas as decisões será minimizada.

Usando a fórmula de Bayes

$$p\left(\frac{w_i}{x}\right) = \frac{p(w_i) \cdot p(x/w_i)}{p(x)} \quad (\text{Eq. III.44})$$

podemos expressar a Eq. III.43 na forma:

$$r_j(x) = \frac{1}{p(x)} \sum_{i=1}^M L_{ij} \cdot p(x/w_i) \cdot p(w_i) . \quad (\text{Eq. III.45})$$

Podemos eliminar a constante $\frac{1}{p(x)}$, já que ela não influirá na comparação, a expressão da Eq. III.45 reduz-se a:

$$r_j(x) = \sum_{i=1}^M L_{ij} \cdot p(x/w_i) \cdot p(w_i) . \quad (\text{Eq. III.46})$$

Resumindo, x é classificado em w_i se $r_i(x) \leq r_j(x)$ para $j = 1, 2, \dots, M$ e $j \neq i$.

Em muitos casos, a perda L_{ij} é zero para decisões corretas e

e tem o mesmo valor para decisões errôneas. Sob essas condições, a função perda pode ser expressa como

$$L_{ij} = 1 - \delta_{ij} , \quad (\text{Eq. III.47})$$

onde $\delta_{ij} = 1$ quando $i = j$ e $\delta_{ij} = 0$ quando $i \neq j$. Substituindo a Eq. III.47 na Eq. III.46 obteremos:

$$\begin{aligned} r_j(x) &= \sum_{i=1}^M (1 - \delta_{ij}) \cdot p(x/w_i) \cdot p(w_i) \\ &= p(x) - p(x/w_i) \cdot p(w_j) . \end{aligned} \quad (\text{Eq. III.48})$$

O classificador de Bayes associa um padrão x a classe w_i se

$$p(x) - p(x/w_i) \cdot p(w_i) < p(x) - p(x/w_j) \cdot p(w_j)$$

ou

$$\begin{aligned} p(x/w_i) \cdot p(w_i) &> p(x/w_j) \cdot p(w_j) , \quad j = 1, 2, \dots, M \\ & \quad i \neq j \end{aligned} \quad (\text{Eq. III.49})$$

A regra de decisão de Bayes da Eq. III.49 nada mais é que a especificação de uma métrica

$$d_i(x) = p(x/w_i) \cdot p(w_i) , \quad i = 1, 2, \dots, M , \quad (\text{Eq. III.50})$$

onde um padrão x é associado a classe w_i se para este padrão o corre $d_i(x) > d_j(x)$ para todo $i \neq j$.

Para melhor entendimento da regra de decisão de Bayes representamos na Fig. III.21 o esquema de decisão final. O projeto de um classificador de Bayes usando a Eq. III.50 requer conhecimento da probabilidade a priori e das densidades de cada classe bem como dos riscos da decisão. Contudo, mesmo que não se conheça a densidade a priori, ainda é possível alcançar boas decisões, por estimação da média e covariância e a partir daí fazer a construção das densidades de probabilidade para cada classe. Para maiores esclarecimentos nesse sentido consulte /TOU*J74/.

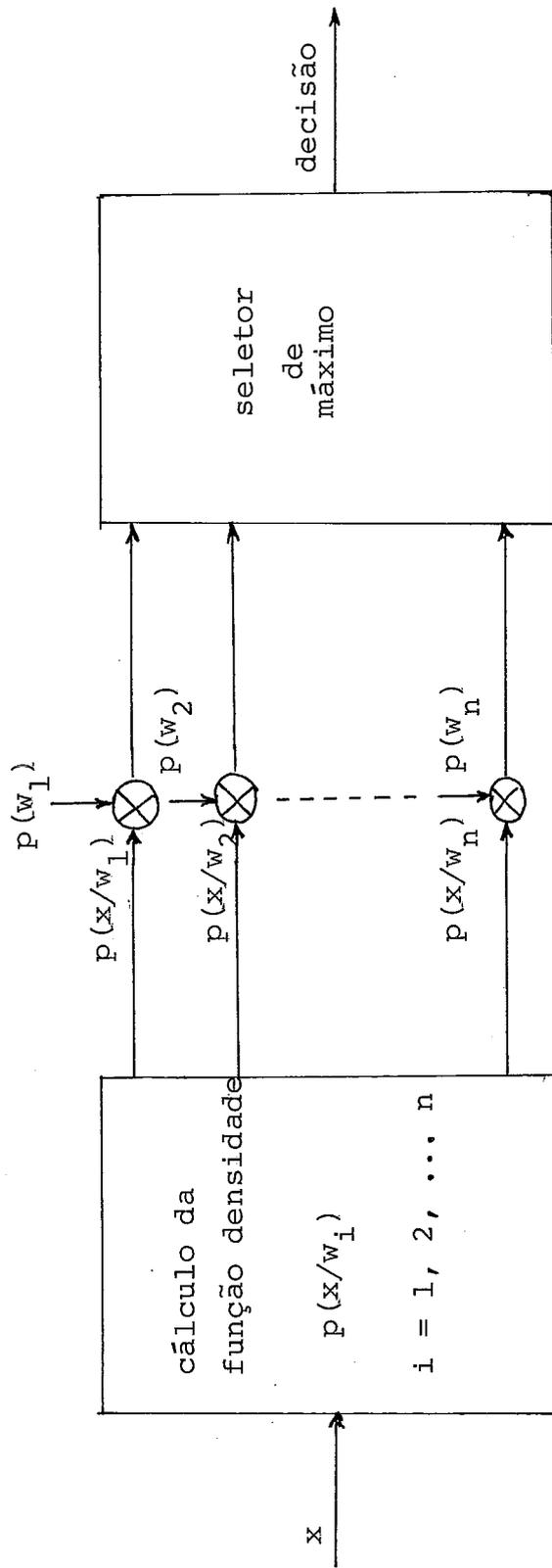


Figura III.21 : Esquema de classificação de Bayes.

III.6 - Resumo do capítulo.

Neste capítulo completamos o ciclo para o tratamento dos dados LANDSAT, desde que são recebidos até que se obtenha a classificação final.

Todos os algoritmos, apresentados até aqui, são projetados para uso em computadores comuns (sequenciais) e abusam da recursividade.

No próximo capítulo, apresentaremos uma proposta para um sistema em tempo real, com a finalidade de tratar mais eficientemente os dados LANDSAT e assim oferecer um tempo de resposta mais adequado aos usuários do sistema.

A proposta girará em torno de novos algoritmos que podem trabalhar em paralelo e a sugestão do uso de um processador de 'array' para conseguir um tempo de resposta melhor.

Capítulo IV - Processamento de Imagens LANDSAT em Tempo Real

IV.1 - Introdução	113
IV.1.a - O Processo Antigo	113
IV.1.b - O Processo Proposto	113
IV.2 - Descrição e Atribuição dos Módulos no Modelo para Processamento em Tempo Real	115
IV.2.a - Registro e Monitoração dos Sinais	115
IV.2.b - Demodulação do Sinal	117
IV.2.c - Dados de Calibração da Imagem	117
IV.2.d - Dados de Órbita e Comportamento do satélite	117
IV.2.e - Mapas Terrestres	118
IV.2.f - Módulo de Imagem Digital	118
IV.2.g - Monitor de Imagem	118
IV.2.h - Processador Central	118
IV.2.i - O 'Plotter' como Suporte para Produção de Co pias Coloridas	119
IV.3 - Algoritmos Empregados	120
IV.3.1 - Realce e Filtragem de Imagens Digitais Atrá vés do Uso de Estatística Local: Aplicações a Imagens LANDSAT	120
IV.3.1.a - Esclarecimentos e Justificativas	120
IV.3.1.b - Notação Empregada	121
IV.3.1.c - Filtragem de Ruído Aditivo	124
IV.3.1.d - Filtragem de Ruído Multiplicativo	125
IV.3.1.e - Filtragem de Ruído Aditivo e Múltiplicati vo Combinados	127
IV.3.1.f - Observações Finais Sobre o grupo de algo ritmos	128

IV.3.2 - Segmentação de Imagens LANDSAT em Tempo Real	129
IV.3.2.a - Esclarecimentos e Justificativas	129
IV.3.2.b - O Esquema de Segmentação	130
IV.3.2.c - Notação Empregada	132
IV.3.2.d - O Esquema de Árvore Direcionada	132
IV.3.2.e - Rotulando os Nodos da Árvore	136
IV.3.2.f - Utilização nas Imagens LANDSAT	136
IV.3.2.g - Modificação Adicional ao Algoritmo de Segmentação de Imagens	137
IV.3.2.h - Descrição do Algoritmo para a modificação	137
IV.3.2.i - Observações Finais Sobre o Algoritmo de Narenda	138
IV.4 - O PM ⁴ ('Purdue Multi-Mode Multi-Microprocessor')	139
IV.4.a - Esclarecimentos e Justificativas	139
IV.4.b - Arquitetura do Sistema PM ⁴	142
IV.4.c - Os Modos de Operação do PM ⁴ Aplicados ao caso LANDSAT	147
IV.5 - Resumo do Capítulo	149

FIGURAS DO CAPÍTULO IV

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
IV.1	Diagrama de blocos mostrando o fluxo de dados no tratamento atual dos dados LANDSAT no Brasil	114
IV.2	Diagrama de blocos para o processamento proposto, em tempo real, com processador de 'array' paralelo	116
IV.3	Imagem de 8 x 8 pixels para exemplificar o cálculo de média local	123
IV.4	(a) Exemplo unidimensional de uma imagem	131
	(b) Gradiente 'edge' correspondente a imagem	131
	(c) Imagem 'edge' invertida	131
IV.5	Disposição dos vizinhos do ponto (i,j)	132
IV.6	Uma ilustração de árvore direcionada com pontos de imagem como nós	133
IV.7	Exemplo de particionamento	138
IV.8	Resumo da capacidade de operação para o MPP	141
IV.9	A arquitetura do PM ⁴	144
IV.10	Detalhes da VCU	145
IV.11	Detalhes da PMU	145
IV.12	Imagem LANDSAT, idealizada, para introduzir os modos de operação SIMD e MSIMD ao caso LANDSAT	148

IV.1 - Introdução.

No capítulo II e III vimos, de uma maneira geral, todo o longo trajeto percorrido por uma imagem LANDSAT a partir da emissão de seus sinais até ser transformado em produto "fotográfico" ou em fitas magnéticas, a fim de serem distribuídos aos usuários finais do processo.

Este capítulo tem a intenção de propor uma alternativa para abordar o problema do tratamento de imagens em tempo real, eliminando as etapas intermediárias do processo, como por exemplo, a transformação dos sinais em fotografias, com a finalidade de conseguir melhor otimização no processo como um todo.

IV.1.a - O processo Antigo.

O tratamento das informações LANDSAT pelo processo antigo, pode ser visto em diagrama de blocos na Fig. IV.1. Esta figura faz um resumo do que foi visto nos capítulos II e III, quanto ao fluxo de tratamento de dados e serve para apontar os problemas que podem justificar a aplicação do esquema proposto.

Além dos problemas citados nos capítulos II e III, devemos ainda apontar aqui o longo trajeto físico da informação, a qual é descentralizada em demasia, tornando por isso muito demorado os resultados finais do processo.

Podemos notar que os dados começam a ser tratados em Cuiabá (Mato Grosso), passam por São José dos Campos em São Paulo, onde está a coordenadoria do programa, e finalmente seguem para Cachoeira Paulista, também em São Paulo onde está situado o laboratório de processamento eletrônico e fotográfico, para só então serem distribuídos para pesquisa.

IV.1.b - O processo proposto.

O processo proposto preocupa-se em centralizar o tratamento dos dados, para evitar este trajeto físico citado no item acima. Desta maneira ganha-se tempo no tratamento das informações, que aliadas às novas técnicas de processadores paralelos e novos al

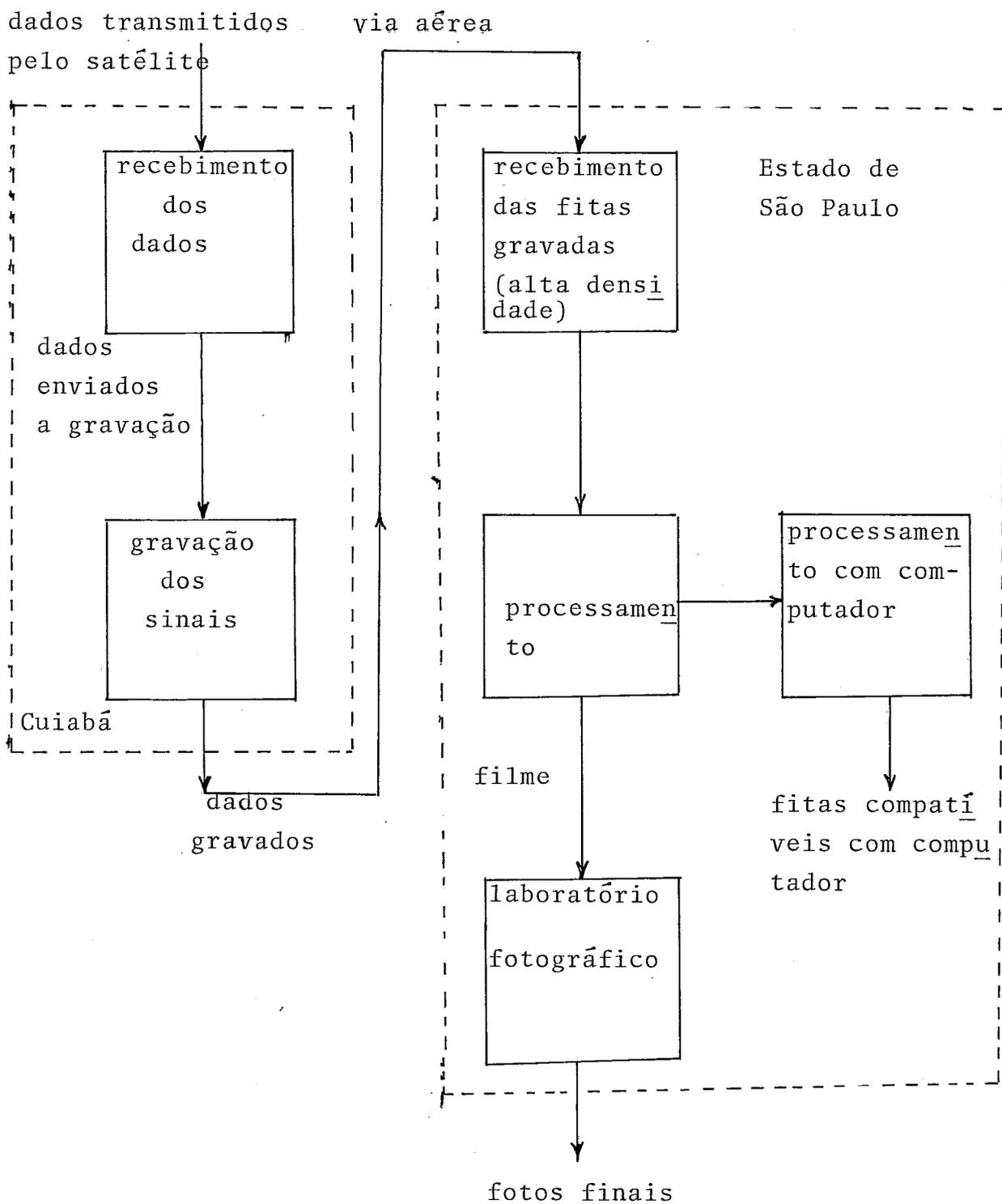


Figura IV.1 : Diagrama de blocos mostrando o fluxo de dados no tratamento atual de dados LANDSAT no Brasil.

goritmos de tratamento de dados voltados para esses processadores, nos permitem ter resultados quase imediatos à análise de qualquer dado, que chegue em certo momento.

O processamento em tempo real proposto, pode ser visto em diagrama de blocos na Fig. IV.2. Este esquema foi idealizado em módulos, de modo a permitir um acompanhamento de cada etapa que compõe o tratamento da informação.

Os pontos de maior realce neste capítulo são a montagem do sistema em torno de um processador de 'array' paralelo e a adaptação de novos algoritmos "paralelos" para processamento digital de imagens adaptados ao caso LANDSAT.

IV.2 - Descrição e atribuição dos módulos no modelo para processamento em tempo real.

Na Fig. IV.2 apresentamos o sistema modularizado, versão tempo real, de maneira geral. Este esquema deve ser "ligado" ao processo de recepção/tratamento de imagens LANDSAT em substituição ao módulo QLM ('Quick Look Monitor'), observado na Fig. II.13. Em caso de uma eventual falha do sistema proposto, o método antigo pode ser utilizado como sistema reserva. Nas próximas seções passaremos a descrever cada módulo e seu funcionamento.

IV.2.a - Registro e monitoração dos sinais.

O módulo de registro e monitoração dos sinais transmitidos pelo satélite, terá a responsabilidade de receber os dados do satélite e fazer uma primeira monitoração destes, para verificação da qualidade do sinal que chega naquele instante. Este módulo terá autoridade para rejeitar sinais por demais corrompidos por qualquer dos motivos descritos no capítulo II (relembrando: ruído, mau funcionamento dos sensores, nuvens em demasia, etc...).

Na realidade esta parte (veja pontilhado na Fig. IV.2) já existe no sistema atual. A diferença é que a monitoração é feita no QLM sem capacidade de rejeição automática do sinal que chega naquele instante.

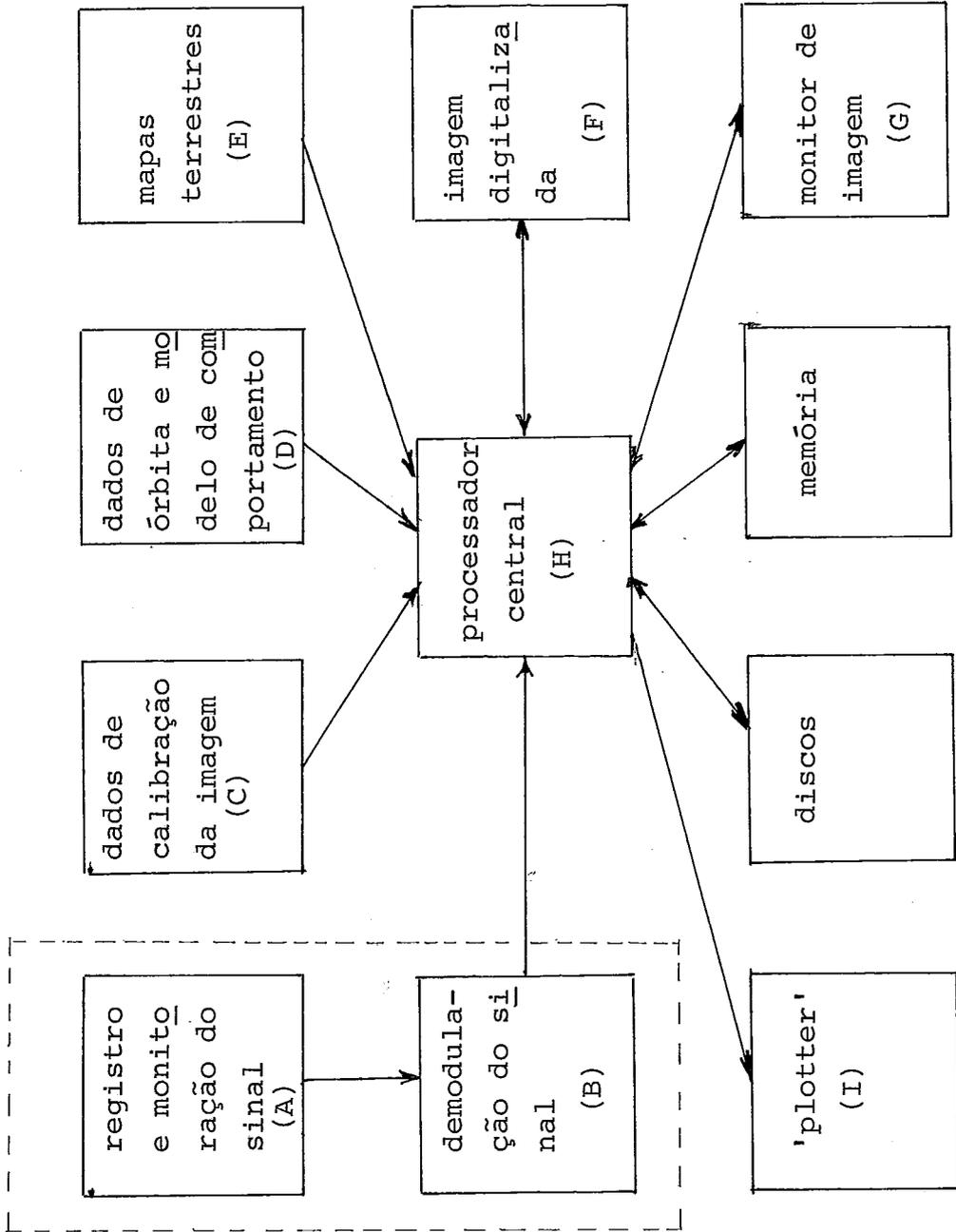


Figura IV.2 : Diagrama de blocos para o processamento em tempo real com processador de 'array' paralelo.

IV.2.b - Demodulação do sinal.

O módulo de demodulação do sinal também já existe, integrado ao sub-sistema de gravação dos dados LANDSAT, no sistema atual. Este módulo tem a responsabilidade de transformar o sinal original, recebido em PCM ('Pulse Coded Modulation'), para sinais digitais tratáveis por computador. Este módulo é um elemento sem muita inteligência no processo, que somente faz a tarefa de demodular o sinal recebido para entregá-lo posteriormente ao processador central.

IV.2.c - Dados de calibração da imagem.

O módulo de dados para calibração da imagem, deverá ter a responsabilidade de manter as informações relativas à calibração da imagem recebida. Estas informações incluem dados para correção dos defeitos que aparecem na imagem, devido à operação dos sensores e outras anomalias conhecidas previamente e de comportamento estável, como aquelas descritas na seção II.5.

Tendo estes dados, o processador central seleciona a partir de uma biblioteca os algoritmos apropriados para com o auxílio destes executar as correções necessárias de modo a facilitar a tarefa de classificação das imagens.

IV.2.d - Dados de órbita e comportamento do satélite.

Este módulo terá a atribuição de manter os dados sobre a órbita e o modelo de comportamento do satélite. Estas informações incluem: órbita propriamente dita, velocidade, ângulo de inclinação, ângulo de elevação do sol, coordenadas da imagem, etc... Com estes dados o processador central seleciona os algoritmos, apropriados para correção geométrica da imagem, para ajustar possíveis deformações nos objetos integrantes da imagem. Este módulo pode ser visto trabalhando integrado com o módulo de mapas terrestres, para efeito do produto final, ou seja, a imagem corrigida.

IV.2.e - Mapas terrestres.

Este módulo terá a responsabilidade de manter os mapas terrestres, usados para correlação com a imagem recebida, para corrigir eventuais deformações na mesma. Os mapas terrestres deverão ser os mais completos e detalhados possíveis, para proporcionar uma perfeita localização dos pontos de controle terrestres, usados para a correção das imagens.

Como um bom exemplo dos mapas idealizados aqui, podemos citar, como modelo, o UTM do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, mencionado na seção III.5.1.d.

Como já mencionado na seção IV.2.d, este módulo trabalha integrado ao módulo de dados de órbita e comportamento do satélite, para efeito do produto final.

IV.2.f - Módulo de imagem digitalizada.

Este módulo terá a responsabilidade de armazenar o produto digital da imagem (imagem digitalizada) após o trabalho ter-se encerrado. Este esquema é necessário devido à necessidade de se formar um "banco de imagens" LANDSAT de modo que se possa ter acesso a qualquer imagem quando for necessário. Podemos armazenar os dados em disco magnético (ou fita) e assim ter uma espécie de biblioteca de imagens.

IV.2.g - Monitor de imagem.

Este módulo deverá ser formado por um terminal interativo, que permitirá ao pesquisador acompanhar o desenvolvimento das etapas do processamento.

IV.2.h - Processador central.

Este módulo deverá ser o "cérebro" gerenciador de todo o processo. Deverá ser o coordenador e o executor de todas as tarefas feitas pelo sistema.

A idéia é projetar o módulo processador, com base em um processador de 'array' paralelo, de modo a aumentar o desempenho

do sistema. O processador de 'array' paralelo torna-se necessário devido à grande quantidade de informações envolvida para tratar a imagem, sempre da mesma maneira. Em outras palavras: teremos sempre que calcular a média e variância, por exemplo, para cada pixel dentre os milhões que compõem a imagem. Então, com o processador de 'array' paralelo poderemos fazer o cálculo simultaneamente para vários pixels acelerando grandemente o processo.

É importante resaltar aqui, qual é o significado do termo paralelo, para nós. Este termo significa operações paralelas nos pixels que compõem a imagem. O tratamento do processo em si, com vistas ao objetivo final, continua sendo composto de fases sequenciais quanto à execução, tais como recepção, correção, classificação, etc... O tratamento de cada fase é que será grandemente agilizado, usando um processador de 'array' paralelo.

IV.2.i - O 'plotter' como suporte para produção de cópias coloridas.

Este módulo pode ser considerado opcional no sistema, mas como alternativa para o projeto e implementação do sistema proposto nos parece uma consideração válida.

O módulo poderá funcionar inclusive 'off-line', para não gastar recursos de máquina, que poderiam ser usados para tarefas mais imediatas. O módulo aproveitará os registros feitos em disco (ou fita magnética) no módulo descrito na seção IV.2.f (imagem digitalizada) e assim poderá produzir cópias das imagens desejadas, bem mais rapidamente que pelo processo fotográfico normal.

A sugestão do 'plotter', prende-se a três fatores principais:

- 1) A representação alfanumérica, em geral, não é boa, a gráfica é melhor;
- 2) É desejável ter uma cópia à cores da imagem, sem tentar simulá-la em tons de cinza em impressora ou mesmo reproduzi-las por processo fotográfico, o que não é uma atividade rentável;

- 3) A possibilidade da distribuição e utilização das cópias por pessoas que não tem acesso ao equipamento central.

Como um bom exemplo de um desses 'plotters' podemos citar o descrito em /BLADK80/ e que possui algumas características importantes, que passaremos a citar.

O sistema permite plotagem de 3.000 x 3.250 pixels em uma cópia, cada pixel tem o tamanho, na cópia, de 0,2 x 0,2 mm² e pode conter qualquer combinação de cores possível ao sistema. Cada pixel é colocado no papel com precisão de ± 0,05 mm. Uma cópia é feita em 450 segundos e são possíveis 7 cores sólidas e 15.000 variações tonais, tudo sob controle de um sistema de software chamado COLOR.

IV.3 - Algoritmos empregados.

IV.3.1 - Realce e filtragem de imagens digitais através de estatística local: Aplicações à imagens LANDSAT /LEE*J80/.

IV.3.1.a - Esclarecimentos e justificativas.

Algumas técnicas computacionais tipicamente sequenciais, envolvendo realce de contraste e filtragem de ruído em imagens LANDSAT, foram mencionadas na seção III.5.2, fazendo uso de média e variância local. Embora naquela ocasião não fosse explicitamente declarado, as causas que originaram aqueles algoritmos de correção, foram o ruído presente na transmissão dos sinais nas suas duas formas: aditivo e multiplicativo, os quais corrompem a imagem.

Para nossa finalidade, esses algoritmos não teriam bom desempenho porque, além de serem sequenciais, eles apresentam o problema da recursividade o que causa um custo computacional alto (altos tempos de CPU). O grupo de algoritmos que será descrito, foi apresentado por LEE em /LEE*J80/ e elimina a recursividade, não requer nenhum tipo de transformação na imagem e cada pixel pode ser processado independentemente. Consequentemente esta solução tem uma vantagem óbvia, quando usado em processamento de imagens em tempo real e onde é necessário usar

um processador de 'array' paralelo. Estes algoritmos substituem com vantagem todos os algoritmos da seção III.5.2, relativos a distorções por ruído e que são mostrados na Fig. III.12 (Realce de Imagem e Variação Tonal).

É bem conhecido da experiência que a transformação de matrizes de dados bidimensionais é uma atividade que consome tempo de mais de computação, mesmo com técnicas de transformações rápidas. A potência de algoritmos recursivos, para processamento em uma dimensão, é boa. Contudo, quando aplicado a um 'array' bidimensional, que é o caso de imagens LANDSAT, os algoritmos operam no domínio espacial em que os pixels devem ser processados sequencialmente. Como consequência, os procedimentos computacionais habituais não são eficientes e perdem seus atrativos para processamento em tempo real.

Uma outra vantagem desses novos algoritmos propostos é que eles tratam ambos os casos de ruídos: o aditivo e o multiplicativo. Estes tipos de ruídos perturbam a imagem e causam distorções do tipo daquelas mencionadas nas seções II.5.2.d e II.5.7.

O grupo de algoritmos descritos aqui compartilhem uma característica particular em que cada pixel pode ser processado separadamente, sem esperar que seus pixels vizinhos sejam processados. Esta propriedade permite a implementação desses algoritmos para processamento em tempo real. Há também a possibilidade de se tratar os casos de ruído conjuntos, ou seja, ruído aditivo e multiplicativo combinados; ou separadamente, dependendo da vontade do pesquisador e das condições da imagem.

A idéia básica dos algoritmos é essencialmente a mesma dos anteriores (sequenciais): a média e a variância local de todos os pixels dentro de uma região fixa, denominada janela, devem ser supostas iguais.

IV.3.1.b - Notação empregada.

Considere $x_{i,j}$ o nível de cinza do pixel (i,j) em uma imagem bidimensional $N \times M$. A média e variância locais são calculadas sobre uma janela de $(2n + 1) \times (2m + 1)$ pixels. A média local é definida como:

$$m_{i,j} = \frac{1}{(2n+1) \cdot (2m+1)} \sum_{k=i-n}^{n+i} \sum_{\ell=j-m}^{m+j} x_{k,\ell}; \quad (\text{Eq. IV.1})$$

similarmente, a variância local é definida como:

$$v_{i,j} = \frac{1}{(2n+1) \cdot (2m+1)} \sum_{k=i-n}^{n+i} \sum_{\ell=j-m}^{m+j} (x_{k,\ell} - m_{i,j})^2, \quad (\text{Eq. IV.2})$$

Aqui i e j representam as linhas e colunas, respectivamente, do centro de cada janela. Para entender como o método é implementado e onde entra a vantagem do uso do processador de 'array' paralelo, vamos apresentar um exemplo.

Exemplo.

Suponhamos uma imagem de 8×8 pixels ($M = 8$ e $N = 8$), com janelas de 3×3 pixels. Veja Fig. IV.3. A média $m_{i,j}$ é a média em nível de cinza, da janela que tem como centro o pixel $x_{i,j}$. Na imagem (veja tracejado), determinamos 9 janelas; portanto, teremos que calcular 9 médias. As médias a serem calculadas são: $m_{3,1}$, $m_{3,4}$, $m_{6,1}$, $m_{6,4}$. As janelas de borda da imagem, não estão completas na forma 3×3 , então teremos que emprestar os pixels vizinhos mais próximos, para completar o conjunto. Assim encontramos as médias das janelas: $m_{1,1}$, $m_{1,2}$, $m_{3,6}$, $m_{4,6}$.

Para mostrar o uso do processador de 'array' paralelo escolhemos, ao acaso, a média $m_{3,4}$.

$$m_{i,j} = \frac{1}{(2n+1) \cdot (2m+1)} \sum_{k=i-n}^{n+i} \sum_{\ell=j-m}^{m+j} x_{k,\ell};$$

Para $m_{3,4}$ temos que $i = 3$ e $j = 4$; sabemos também que:

$$2n + 1 = 3 \quad \text{implicando que } n = 1$$

e

$$2m + 1 = 3 \quad \text{implicando que } m = 1.$$

Portanto;

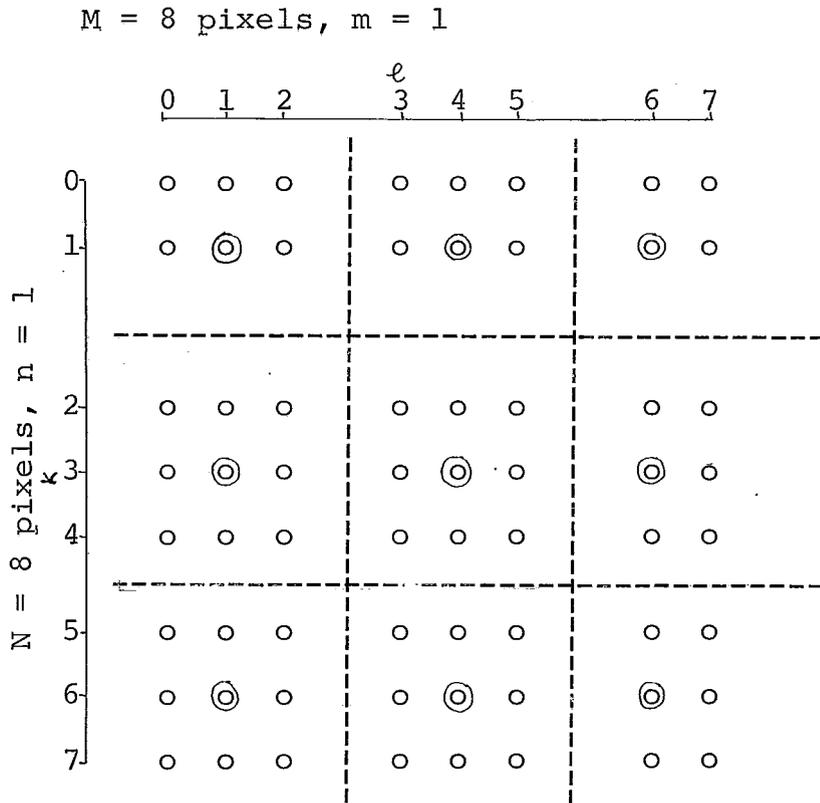


Figura IV.3 : Imagem de 8 x 8 pixels, para exemplificar o cálculo de média local. Note o tracejado indicando janelas de 3 x 3 pixels. Os pontos dentro de círculos são centros de janelas.

$$m_{3,4} = \frac{1}{9} \sum_{k=2}^4 \sum_{\ell=3}^5 x_{k,\ell}$$

$$m_{3,4} = \frac{1}{9} (x_{2,3} + x_{2,4} + x_{2,5} + x_{3,3} + x_{3,4} + x_{3,5} + \\ + x_{4,3} + x_{4,4} + x_{4,5})$$

onde $x_{2,3}, \dots, x_{4,5}$ são os níveis de cinza dos pixels que compõem a janela.

Num processador sequencial, este cálculo seria feito passo a passo; parcela por parcela. Num processador de 'array' paralelo isto poderá ser feito com uma instrução somente, digamos, num 'add' paralelo. O cálculo da variância seria um procedimento análogo ao aqui descrito.

IV.3.1.c - Filtragem de ruído aditivo.

Considere $z_{i,j}$ sendo o pixel $x_{i,j}$ degradados; então,

$$z_{i,j} = x_{i,j} + w_{i,j} \quad (\text{Eq. IV.3})$$

onde $w_{i,j}$ é uma sequência de ruído randômico com $E(w_{i,j}) = 0$, (o E é a esperança matemática ou o valor esperado) e $E(w_{i,j} w_{k,\ell}) = \sigma_1^2 \delta_{i,k} \delta_{j,\ell}$; σ_1 é o desvio padrão do ruído e $\delta_{i,k}$ e $\delta_{j,\ell}$ representa a função delta, E é o operador de esperança matemática. O problema para ser resolvido é estimar (ou seja, recuperar) $x_{i,j}$, dado $z_{i,j}$ e a estatística do ruído.

Da Eq. IV.3, temos:

$$\bar{x}_{i,j} \triangleq E(x_{i,j}) = E(z_{i,j}) = \bar{z}_{i,j} \quad (\text{Eq. IV.4})$$

e

$$Q_{i,j} \triangleq E((x_{i,j} - \bar{x}_{i,j})^2) = E((z_{i,j} - \bar{z}_{i,j})^2) - \sigma_1^2.$$

(Eq. IV.5)

Assumimos que $\bar{x}_{i,j}$ e $Q_{i,j}$ são a média e variância a priori de $x_{i,j}$, que por sua vez são aproximadas pela média e variância local da Eq. IV.4 e IV.5. Sob esta suposição é fácil obter o algoritmo de filtragem minimizando o erro médio quadrático ou estimando o mínimo quadrático ponderado. Ambos os métodos darão o mesmo resultado. O pixel estimado $x_{i,j}$, denotado por $\hat{x}_{i,j}$ é calculado por:

$$\hat{x}_{i,j} = \bar{x}_{i,j} + k_{i,j} (z_{i,j} - \bar{x}_{i,j}) \quad (\text{Eq. IV.6})$$

onde o ganho $k_{i,j}$ vale:

$$k_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{Q_{i,j} + \sigma_1^2} \quad (\text{Eq. IV.7})$$

O pixel estimado, já filtrado, é dado pela Eq. IV.6 que pode ser reescrita como:

$$\hat{x}_{i,j} = (1 - k_{i,j}) \cdot \bar{x}_{i,j} + k_{i,j} \cdot z_{i,j} \quad (\text{Eq. IV.8})$$

Como $Q_{i,j}$ e σ_1^2 são positivos, $k_{i,j}$ permanecerá entre 0 e 1.

IV.3.1.d - Filtragem de ruído multiplicativo.

As imagens contendo ruído multiplicativo apresentam-se luminosas e pigmentadas. Matematicamente, o pixel degradado por este tipo de ruído pode ser representado por:

$$z_{i,j} = x_{i,j} \cdot \mu_{i,j} \quad (\text{Eq. IV.9})$$

onde $\mu_{i,j}$ é uma sequência de ruído randômico multiplicativo e,

$$E(\mu_{i,j}) = \bar{\mu}_{i,j} \quad \text{e}$$

$$E((\mu_{i,j} - \bar{\mu}_{i,j}) \cdot (\mu_{k,l} - \bar{\mu}_{k,l})) = \sigma_2^2 \delta_{i,k} \delta_{j,l} \cdot$$

Uma aproximação linear pode ser usada para a Eq. IV.9, para produzir um algoritmo de filtragem similar àquele para o caso de ruído aditivo. Os resultados experimentais mostram que o algoritmo mesmo com esta aproximação é bastante promissor.

Considere,

$$z'_{i,j} = A \cdot x_{i,j} + B \cdot \mu_{i,j} + C \quad (\text{Eq. IV.10})$$

onde A, B, C são variáveis não-aleatórias. Elas são escolhidas de modo a amenizar o erro médio quadrático entre $z'_{i,j}$ e $z_{i,j}$ e também para fazer de $z'_{i,j}$ uma estimativa imparcial de $z_{i,j}$.

Para $z'_{i,j}$ ser imparcial, devemos ter:

$$A \cdot \bar{x}_{i,j} + B \cdot \bar{\mu}_{i,j} + C = \bar{x}_{i,j} \cdot \bar{\mu}_{i,j}$$

ou

$$C = \bar{x}_{i,j} \cdot \bar{\mu}_{i,j} - A \cdot \bar{x}_{i,j} - B \cdot \bar{\mu}_{i,j} \quad (\text{Eq. IV.11})$$

Substituindo a Eq. IV.11 na Eq. IV.10 e formando o erro médio quadrático, chegaremos ao índice de performance para minimização:

$$J = E(A(x_{i,j} - \bar{x}_{i,j}) + B(\mu_{i,j} - \bar{\mu}_{i,j}) - (x_{i,j} \cdot \mu_{i,j} - \bar{x}_{i,j} \cdot \bar{\mu}_{i,j}))^2$$

e após procedimentos matemáticos, obteremos a seguinte relação:

$$z_{i,j} = \bar{\mu}_{i,j} \cdot x_{i,j} + \bar{x}_{i,j} (\mu_{i,j} - \bar{\mu}_{i,j}) \quad (\text{Eq. IV.12})$$

A média e a variância a priori de $x_{i,j}$ são calculadas da Eq. IV.9 e dados por:

$$\bar{x}_{i,j} = \frac{\bar{z}_{i,j}}{\bar{\mu}_{i,j}} \quad (\text{Eq. IV.13})$$

e

$$Q_{i,j} = \frac{\text{var}(z_{i,j}) + \bar{z}_{i,j}^2}{\sigma_2^2 + \bar{\mu}_{i,j}^2} - \bar{x}_{i,j}^2 \quad (\text{Eq. IV.14})$$

$\text{var}(z_{i,j})$ é a variância de $z_{i,j}$. As quantidades $\bar{z}_{i,j}$ e $\text{var}(z_{i,j})$ são aproximadas pela média e variância local da imagem cor

rompida. Usando as Eq. IV.13, IV.14 e aplicando filtragem de Kalman na Eq. IV.12, temos que:

$$\hat{x}_{i,j} = \bar{x}_{i,j} + k_{i,j} (z_{i,j} - \bar{\mu}_{i,j} \cdot \bar{x}_{i,j}) \quad (\text{Eq. IV.15})$$

onde

$$k_{i,j} = \frac{\bar{\mu}_{i,j} \cdot Q_{i,j}}{\bar{x}_{i,j}^2 \cdot \sigma_2^2 + \bar{\mu}_{i,j} \cdot Q_{i,j}} \quad (\text{Eq. IV.16})$$

Novamente $\hat{x}_{i,j}$ é o pixel recuperado do ruído multiplicativo.

IV.3.1.e - Filtragem de ruído aditivo e multiplicativo combinados.

Nesta seção é feita a extensão dos algoritmos das seções anteriores para tratar imagens corrompidas por ruído aditivo e multiplicativo combinados.

Um pixel de imagem corrompida é descrito por

$$z_{i,j} = x_{i,j} \cdot \mu_{i,j} + w_{i,j} \quad (\text{Eq. IV.17})$$

Assumindo que $\mu_{i,j}$ e $w_{i,j}$ são independentes e seguindo a ideia da aproximação linear do algoritmo anterior, teremos:

$$z_{i,j} = \bar{\mu}_{i,j} \cdot x_{i,j} + \bar{x}_{i,j} (\mu_{i,j} - \bar{\mu}_{i,j}) + w_{i,j};$$

as fórmulas para a média e variância das seções IV.3.1.c e IV.3.1.d são modificadas para

$$\bar{x}_{i,j} = \frac{(\bar{z}_{i,j} - \bar{w}_{i,j})}{\bar{\mu}_{i,j}} \quad (\text{Eq. IV.18})$$

e

$$Q_{i,j} = \frac{\text{var}(\bar{z}_{i,j}) + \bar{z}_{i,j}^2}{\sigma_2^2 + \bar{\mu}_{i,j}^2} - \bar{x}_{i,j}^2 - \sigma_1^2$$

O algoritmo de filtragem ficará:

$$\hat{x}_{i,j} = \bar{x}_{i,j} + k_{i,j} (z_{i,j} - \bar{\mu}_{i,j} \cdot \bar{x}_{i,j} - \bar{w}_{i,j}) \quad (\text{Eq. IV.19})$$

onde

$$k_{i,j} = \frac{\bar{u}_{i,j} \cdot \Omega_{i,j}}{\bar{x}_{i,j}^2 \cdot \sigma_2^2 + \bar{u}_{i,j}^2 \cdot \Omega_{i,j} + \sigma_1^2}$$

O valor final de $\hat{x}_{i,j}$ é o pixel regenerado.

IV.3.f - Observações finais sobre o grupo de algoritmos.

Uma interpretação para o valor de $k_{i,j}$, referindo-nos ao caso do ruído aditivo, é que numa baixa relação sinal/ruído o valor $\Omega_{i,j}$ é pequeno comparado com σ_1^2 , então $k_{i,j} \approx 0$ e o $\hat{x}_{i,j}$ estimado é o próprio $\bar{x}_{i,j}$. Contrariamente, para uma alta relação sinal/ruído o valor $\Omega_{i,j}$ é muito maior que σ_1^2 ; então $k_{i,j} \approx 1$ e $\hat{x}_{i,j} \approx z_{i,j}$ o próprio pixel corrompido. O uso de diferentes tamanhos de janelas irá afetar grandemente a qualidade das imagens processadas. Se a janela é muito pequena, o algoritmo de filtragem não é suficiente. Por outro lado, se a janela é grande demais, os detalhes muito tênues irão desaparecer no processo de filtragem. As experiências de Lee /LEE*J80/, demonstram que uma janela de 7x7 pixels é uma boa escolha.

Numa comparação com o algoritmo da seção III.5.2.b (Realce de Imagem por Histograma), o parâmetro α , usado naquela ocasião funciona similarmente ao parâmetro $k_{i,j}$. Porém a importância do algoritmo descrito aqui é devido principalmente a três fatores:

- 1) É bem mais moderno que o anterior, levando em conta tanto o ruído aditivo como o multiplicativo;
- 2) Elimina a recursividade existente no algoritmo anterior (seção III.5.2.b);
- 3) Como consequência de 2, pronto para ser implementado em processadores de 'array' paralelos.

O grupo de algoritmos vistos aqui, considera todas as possibilidades de o ruído corromper a imagem. Após a aplicação desses algoritmos a imagem fica corrigida e realçada, portanto, pronta para ser segmentada em classes, o que será feito pelo algoritmo seguinte, da seção IV.3.2.

IV.3.2 - Segmentação de imagens LANDSAT em tempo real /NAREP80/.

IV.3.2.a - Esclarecimentos e justificativas.

Existem basicamente duas classes de esquemas de segmentação de imagens: segmentação por detecção de fronteiras entre as classes componentes da imagem e segmentação por detecção de regiões na imagem.

Esta última classe é a base teórica para os algoritmos de agrupamentos descritos na seção III.5.3.

Nas soluções de detecção de fronteiras é aplicado, primeiramente um operador 'edge', o qual fornece altos valores, nos pontos de descontinuidade da imagem. A segmentação é formada traçando contornos, ligando os pontos de descontinuidade achados pelo operador 'edge'.

Nas soluções por detecção de regiões, os pontos de imagem contíguos, que não diferem nas características de imagens, por um dado limite, são associados na mesma região. Isso é feito examinando os vizinhos dos pontos já associados para uma dada região. O crescimento da região é encerrado quando os pontos de fronteira entre duas regiões possuem características marcadamente diferentes daqueles de dentro da região.

Narenda /NAREP80/ apresenta um esquema de detecção de fronteiras que consegue o limite absoluto e portanto fornece regiões com fronteiras bem definidas, mesmo quando a transição de uma região para outra apresenta-se "lenta", ou seja, um pouco misturada na fronteira.

Este esquema foi escolhido porque ele, de uma vez só, resolve o problema de particionamento da imagem (divisão em agrupamentos) e especificação das fronteiras de separação das regiões que compõem a imagem. Ele, sozinho, substitui todos os algoritmos descritos na seção III.5.3 e III.5.4. Além disso tem a vantagem de poder trabalhar concorrentemente, sendo proveitoso para o nosso objetivo final, quanto ao uso do processador de 'array' paralelo.

Depois que se consegue o particionamento da imagem, basta denominar as classes ou regiões resultantes do particionamento de acordo com o nível de cinza de cada classe e, para isso, sugerimos

uma adição ao algoritmo que será descrito na seção IV.3.2.g.

Resumindo, na primeira parte do algoritmo é feito o particionamento da imagem em regiões e a especificação das fronteiras entre essas regiões. Adicionalmente com a modificação sugerida, podemos fazer também a classificação dessas regiões.

O esquema de Narendra consiste de uma aplicação independente de um operador de conectividade direcional, localmente em todos os pontos da imagem. Isto resulta em um conjunto com estrutura de árvore direcionada que identifica os pontos de imagem pertencentes a cada uma das regiões homogêneas encontradas, sendo que para cada árvore corresponde uma região homogênea ou classe.

IV.3.2.b - O esquema de segmentação.

O conceito básico é mais facilmente compreendido com um exemplo simples. A Fig. IV.4 (a) é uma ilustração unidimensional de uma imagem onde as descontinuidades marcam as fronteiras das regiões.

A Fig. IV.4 (b) é a imagem resultante da aplicação do operador 'edge' obtida a partir da Fig. IV.4 (a). A Fig. IV.4 (c) é uma versão invertida da Fig. IV.4 (b).

Vemos que os segmentos da Fig. IV.4 (a) correspondem, aproximadamente, às regiões unimodais da Fig. IV.4 (c) indicados por vales na imagem invertida. As fronteiras cortam os pontos mais agudos ao longo das separações, como mostrado pelas linhas pontilhadas da Fig. IV.4.

No esquema de Narendra, o operador 'edge' é aplicado primeiramente em toda a imagem, ponto a ponto, após isso a imagem 'edge' é invertida como na Fig. IV.4 (c). Para agrupar os pontos encontrados são construídas árvores direcionadas tendo os pixels como nodos. As árvores direcionadas são formadas dirigindo os elos cuja associação é baseada nos valores 'edges' locais. Os pontos de imagem conectados por cada árvore formam um segmento que é unimodal no valor 'edge' invertido. Isso resulta em um algoritmo simples e eficiente para detecção e particionamento de regiões homogêneas na imagem.

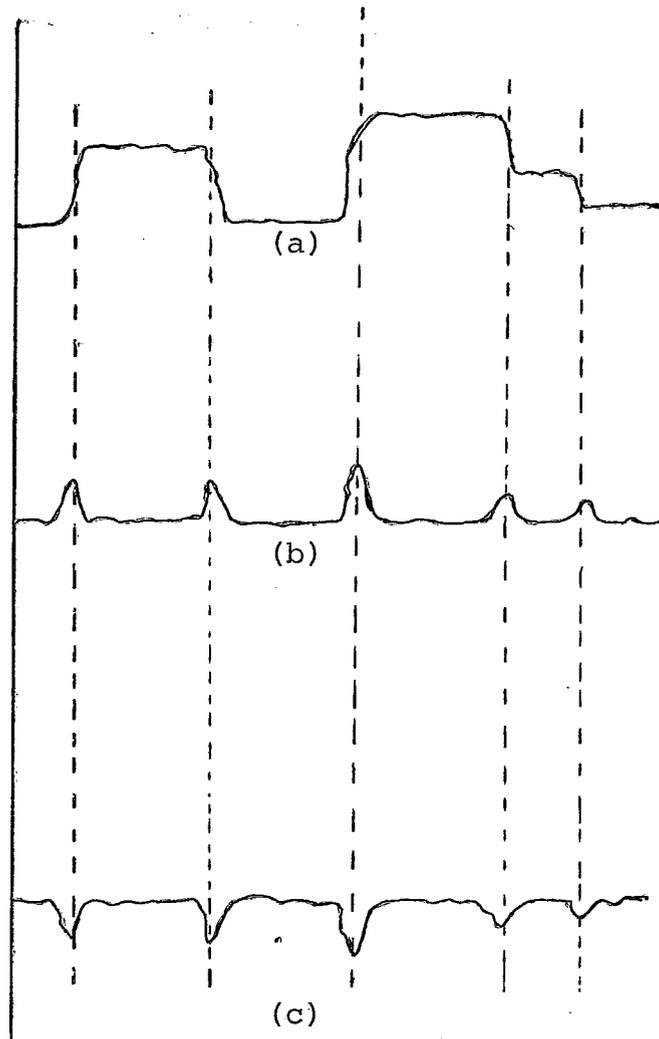


Figura IV.4 : (a) Exemplo unidimensional de uma imagem.
(b) Gradiente 'edge' correspondente à imagem.
(c) Imagem 'edge' invertida /NAREP80/.

IV.3.2.c - Notação empregada.

Considere a imagem sendo segmentada, composta de $M \times N$ pixels cujos valores de intensidade são:

$$P = \{x_{i,j}, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N\}. \quad (\text{Eq. IV.20})$$

A correspondente imagem 'edge' é dada por:

$$E = \{e(i,j), i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N\}. \quad (\text{Eq. IV.21})$$

Pressupõe-se para discussão subsequente que o valor 'edge' invertido $\bar{e}(i,j)$ é o valor negado de $e(i,j)$, ou seja:

$$\bar{e}(i,j) = -e(i,j). \quad (\text{Eq. IV.22})$$

Denotemos os vizinhos de um ponto (i,j) pelo conjunto $n(i,j)$. No caso mais simples, este conjunto n pode ter oito elementos como na Fig. IV.5.

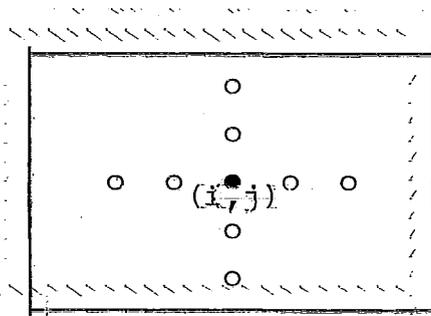


Figura IV.5 : Disposição dos vizinhos do ponto (i,j) .

IV.3.2.d - O esquema de árvore direcionada.

A Fig. IV.6 ilustra algumas definições da teoria de grafos, que serão necessárias para compreensão do algoritmo. Cada pixel é chamado de nodo. Existe um elo direcionado de um nodo para um de seus oito vizinhos.

O vizinho de um nodo é chamado de parente do nodo. Por exemplo, há um elo direcionado do nodo A para seus parentes na estrutura da árvore. Estes parentes são rotulados como

$P(A)$ (lê-se: parente de A). Estes elos direcionados formam árvores direcionadas. Existem duas árvores direcionadas na Fig. IV.6 com raízes em R_1 e R_2 . Um nodo é chamado raiz se ele não tem elo direcionado com origem nele (isto é, não tem parentes). Cada nodo pertence a somente uma árvore direcionada. Existe um único caminho do nodo para a raiz (via $P(A)$, $P(P(A))$...) da árvore a que ele pertence (por exemplo, o caminho 1-2-3-4-5-6-7- R_1 , do nodo 1 para a raiz R_1). Note que a árvore direcionada não pode ter ciclos direcionados, ou seja, não existe caminho do nodo A para ele mesmo. Na Fig. IV.6, o elo de R_1 para o nodo B criará um ciclo direcionado do nodo B para ele mesmo. A ausência do ciclo direcionado fornece uma única maneira de identificar a raiz a qual um dado nodo pertence, dado somente o parente de cada nodo.

As duas árvores da Fig. IV.6 segmentam uma imagem em duas regiões diferentes. Narenda fornece um procedimento para associação do elo direcionado a todo nodo, dependendo do valor da imagem 'edge' invertida naquele ponto. Isto, junto com o procedimento para traçar o contorno resultante de cada árvore, forma o esquema de segmentação.

Para segmentar a imagem como proposto precisaríamos de segmentos estritamente unimodais. Porém os segmentos na realidade não são assim em $\bar{e}(i,j)$ devido à presença de ruído, como podemos ver na Fig. IV.4 (c), nas pequenas ondulações nas regiões planas, antes de chegar aos vales. Vale a observação que, mesmo após a aplicação do mais refinado algoritmo de tratamento de ruído, sempre sobrarão algum indício deste. O ruído nunca poderá ser eliminado totalmente, apenas podemos minimizar seus efeitos.

Neste ponto introduziremos um parâmetro de sensibilidade ϵ , que distingue gradientes 'edge' de regiões planas; em outras palavras, o parâmetro ϵ permite diferenciar vales verdadeiros das ondulações presentes nas regiões planas. Com esta característica os segmentos da imagem podem ser obtidos diretamente da imagem 'edge', porque as regiões planas com ruído, não poderão mais ser confundidas com regiões de vales. Assim podemos até eliminar a inversão, como feito na Fig. IV. (c). Porém no nosso caso vamos manter a função invertida, para obdecer à terminologia de regiões planas e vales.

Define-se um gradiente 'edge' para um pixel $x_{i,j}$ por:

$$G(i,j) = \max(\bar{e}(i,j') - \bar{e}(i,j)) \quad (\text{Eq. IV.23})$$

onde (i,j') \in $n(i,j)$, ou seja, o gradiente 'edge' para um ponto \bar{e} é simplesmente a diferença máxima entre o valor 'edge' entre esse ponto e seus vizinhos.

Um ponto (i,j) é dito pertencente a uma região plana se:

$$|G(i,j)| \leq \epsilon. \quad (\text{Eq. IV.24})$$

O procedimento para associar elos direcionados aos pontos é aplicado em dois passos. Primeiro, todos os pontos não planos (não pertencentes a regiões planas), são considerados, um por um em paralelo, e os parentes de cada ponto determinados. No segundo passo os parentes dos elementos que pertencem a regiões planas são determinados, tomando o cuidado de não causar ciclos direcionados. Veremos os passos a seguir:

Passo 1 - Aplicar os itens seguintes para cada (i,j) que não faz parte de regiões planas (pertencem a vales).

- a) Se $G(i,j) < 0$, então $P(i,j) = 0$ (parente nulo), ou seja, (i,j) é raiz (centro de agrupamento ou classe).
- b) Se $G(i,j) > 0$, então $P(i,j) = (k,l)$ para o ponto (k,l) onde $\bar{e}(k,l) - \bar{e}(i,j) = G(i,j)$. Os empates são resolvidos arbitrariamente ($G(i,j) = 0$).

Colocando em palavras o item b podemos dizer que o parente de (i,j) é o vizinho que fornece o mais alto valor positivo do gradiente 'edge' invertido entre os vizinhos de (i,j) . Se não existe vizinho, (i,j) não tem parentes e portanto é nó-ou-raiz.

Passo 2 - Aplicar os itens seguintes, um por vez, para todos os pontos pertencentes à regiões planas (não considerados no passo 1).

- a) Remover o vizinho (k,l) da lista de vizinhos $n(i,j)$, se ocorre $|\bar{e}(k,l) - \bar{e}(i,j)| > \epsilon$. Isto é, retém somente os vizinhos que estão na mesma região plana que (i,j) .

- b) A seguir, remover de $n(i,j)$ qualquer (k,l) tal que $P(k,l)$ ou $P(P(k,l)) \dots = i,j$. Isto é, qualquer vizinho que tem caminho direto para (i,j) . Se tal (k,l) fosse associado como um parente, resultaria num ciclo direcionado.
- c) Arbitrariamente, associe a qualquer um dos elementos remanescentes de $n(i,j)$ como $P(i,j)$. Se $n(i,j)$ está vazio então $P(i,j) = 0$ e (i,j) é raiz.

IV.3.2.e - Rotulando os nodos da árvore.

Uma vez que os parentes de cada ponto foram determinados, um pixel pode ser rotulado pela árvore direcionada à qual ele pertence. Isto é conseguido primeiro rotulando as raízes $1, \dots, M$. Uma vez que as raízes foram rotuladas, o rótulo de cada nodo (i,j) é determinado por sua vez, pelos ancestrais $(P(i,j), P(P(i,j)), \dots \text{etc})$ até que seja achado um ancestral já rotulado. Uma sugestão para minimizar o tempo de computação é ir empilhando esses ancestrais de (i,j) em uma pilha à medida que eles vão sendo encontrados. Quando um ancestral já rotulado for achado, os nodos podem ser retirados da pilha e rotulados com o mesmo rótulo da raiz. Deste modo, um nodo é considerado uma única vez e poderemos garantir que o tempo de computação dependerá somente do número de pixels da imagem, sem perda de tempo com redundâncias.

Nesse ponto já temos a imagem particionada e com as fronteiras entre as classes perfeitamente determinadas.

IV.3.2.f - Utilização nas imagens LANDSAT.

O esquema de segmentação proposto por Narendra, pode ser usado sem problemas para o tratamento de imagens LANDSAT. Para isso é feita uma modificação no operador 'edge' que será usado, por causa da natureza das imagens LANDSAT. Isto é, sabemos que toda a informação está contida nas quatro bandas nas quais o satélite opera. Para levar em conta toda a informação, o operador 'edge' ficará da seguinte maneira:

$$e(i,j) = \sum_{m=1}^4 \sum |x_m(i,j) - x_m(k,l)|, \quad (\text{Eq. IV.25})$$

$(k, \ell) \in n(i, j)$ e os $m = 1, 2, 3, 4$ representam as bandas. Os x 's correspondem às intensidades dos níveis de cinza dos pixels.

IV.3.2.g - Modificação adicional ao algoritmo de segmentação de imagens.

A modificação proposta é para adicionar um pequeno algoritmo simples que deverá fazer a interpretação dos dados após o resultado final obtido pelo algoritmo visto anteriormente. Na realidade o algoritmo simplesmente dá nome às regiões obtidas pelo algoritmo de Narendra com base no nível médio de cinza dessas regiões.

O nível médio de cinza para cada região, deverá constar de uma tabela onde se mapeia para cada valor do nível médio de cinza um significado no mundo real.

A tabela funciona como um banco de informações acerca das características espectrais dos objetos na cena. A cada novo objeto encontrado devemos fazer a atualização da tabela, para que o novo valor tenha um correspondente no mundo real.

IV.3.2.h - Descrição do algoritmo para a modificação.

Abaixo estão descritos os passos a serem executados:

Passo 1 - Requerer atualização para o banco de informações (tabela de mapeamento: nível de cinza - objeto real).

Passo 2 - Para todo m_i , $i = 1, 2, \dots, M$ procurar um significado no banco de informações e emitir relatório apropriado. Aqui m é o nível de cinza médio da região e i é o índice por região contida na imagem.

Passo 3 - Repetir o passo 2 até que não haja mais região para classificação. Então o processo termina.

Eventualmente, pode-se admitir uma faixa de tolerância para m_i . Assim supomos $m_i \pm k\%$. A faixa $\pm k\%$, é para aceitar uma variação nos níveis médio de cinza das regiões.

Exemplo.

Suponhamos que após a passagem do algoritmo de Narenda, tenhamos obtido a segmentação mostrada na Fig. IV.7, onde os números dentro das regiões são os níveis médio de cinza.

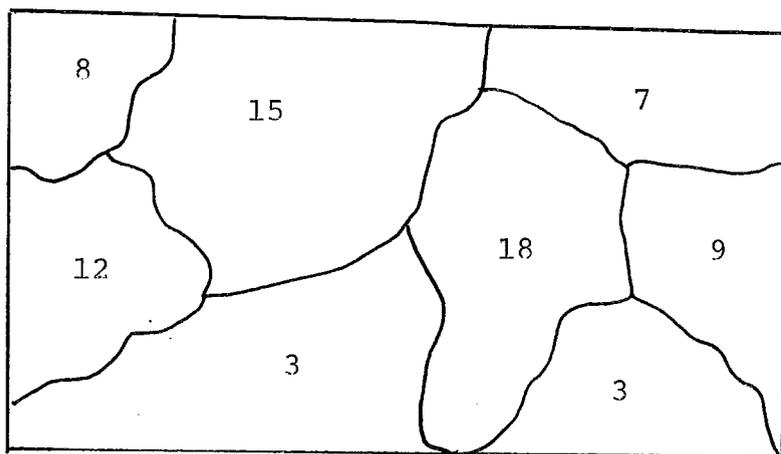


Figura IV.7 : Exemplo de particionamento e posterior denominação das regiões obtidas.

Num banco de informações teríamos:

- 3 - água
- 7 - milho
- 8 - trigo
- 9 - arroz
- 12 - feijão
- 15 - capim.

O algoritmo aplicado a este particionamento, nos informaria que na região rotulada como número 3 existe água, na 12 existe feijão, etc... No caso da região 18, seria uma região desconhecida. O procedimento então seria verificar a correspondência no mundo real para este nível de cinza e fazer uma atualização do banco de informações como no passo 1 do algoritmo.

IV.3.2.i - Observações finais sobre o algoritmo de Narenda.

Este algoritmo é bastante eficaz porque economiza recursos com a reunião de duas funções clássicas de tratamento de imagens LANDSAT (agrupamento e classificação dos dados) em uma só.

Adicionalmente ainda permite que se possa implementá-lo em paralelo. Se observarmos a arquitetura do algoritmo, veremos como as funções por ele executadas são independentes de classe a classe, isto é, as árvores direcionadas que determinam as classes, vão se formando de acordo com níveis planos e vales, e cada conjunto nível-plano e vale, pode ser considerado independentemente.

IV.4 - O PM⁴ ('Purdue Multi-Mode Multi-Microprocessor')/BRIGF79/.

IV.4.a - Esclarecimentos e justificativas.

Nesta seção será introduzido o processador de 'array' paralelo escolhido para dar suporte ao projeto proposto.

A tarefa de análise de padrões requer uma larga variedade de técnicas de processamento e ferramentas matemáticas. Em sistemas para reconhecimentos de padrões, geralmente grandes computadores são empregados para realizarem estas tarefas. Encontramos um bom exemplo em /VORGK76/ onde se aplicam cinco computadores IBM 360/65 ligados em paralelo para resolver os problemas do projeto LACIE ('Large Crops Inventory Exchange'), ligado ao uso de imagem LANDSAT nos Estados Unidos.

Devido ao fato que muitas tarefas de processamento de imagens requererem somente operações booleanas repetitivas ou operações aritméticas simples, definidas sobre grandes 'arrays' de pixels, o uso de grandes computadores com estrutura rigidamente sequencial ou mesmo com processamento paralelo (por exemplo duas ou mais UCP's) pode tornar-se um desperdício grande de recursos muito custoso para a instalação.

Existem alguns processadores paralelos, que estão já em uso, como por exemplo o ILLIAC IV citado em /BARNG68/, /SIEGH80/ e o STARAN citado em /THURK76/, /VORGK76/, /SIEGH80/. Estes sistemas são eficientes para processar vetores de comprimento fixo, porém são muito ineficientes para tratarem operações escalares e vetoriais misturadas no processo, devido ao fato que não existem nesses supercomputadores cadeias de instruções múltiplas simultâneas para tratar esse tipos de operações.

Foi analisado ainda, um outro processador chamado de MPP ('Massively Parallel Processing') /BATCK80/. Este processador está encomendado pela NASA exclusivamente para processar imagens LANDSAT. O prazo de entrega deste processador é para abril de 82. Ele possui um grande número de elementos de processamento configurados em um 'array' quadrado (16.384 elementos de processamento).

Sua capacidade de operação é resumida na Fig. IV.8. Entretanto este sistema tem um grande problema, a nosso ver, e por isso não foi o escolhido. Ele precisa de um computador central para poder trabalhar. Na realidade, ele funciona como um grande e poderoso calculador. Ele não pode fazer as tarefas "administrativas" que também são necessárias a um sistema de tratamento de dados LANDSAT.

Quando se parte para o campo de aplicações em tarefas de reconhecimento de padrões aplicados a processamento de imagem, deseja-se que o sistema computacional escolhido maximize a utilização do paralelismo embutido nas operações para tratamento dos dados da imagem. Para isso um sistema deve ser capaz de executar mais de 100 MIPS (Milhões de Instruções Por Segundo), com uma memória de 256 Mbytes ou mais /BRIGF79/.

Com o rápido crescimento da tecnologia dos circuitos integrados, já é possível considerar o uso de grande número de microprocessadores como elementos de processamento, de um sistema de computador para reconhecimento de padrões.

Para nossa finalidade escolhemos o sistema PM⁴. Este sistema está ainda em aperfeiçoamento pela Universidade de Purdue em seu laboratório de pesquisas avançadas AARL ('Advanced Automation Research Laboratory'). O sistema consiste em centenas de microprocessadores, com um grande número de módulos de memória compartilhadas e uma malha de interconexão flexível, para tratamento eficiente de problemas de processamento de imagens e aplicações de reconhecimento de padrões.

o sistema PM⁴, é capaz de se auto-reconfigurar para assumir quatro modos diferentes de operação:

Representação dos dados	Tipo de operação	Quantidades (MOPS) *
8 bits dados inteiros	Soma	6.553 MOPS
	Multiplificação	1.861 MOPS
32 bits dados ponto flutuante	Soma	430 MOPS
	Multiplificação	216 MOPS

* MOPS - Milhões de Operações Por Segundo

Figura IV.8 : Resumo da capacidade de operação para o MPP
('Massively Parallel Processing') /BATCK80/.

```

SIMD ('Single Instruction, Multiple Data');
MIMD ('Multiple Instruction, Multiple Data');
MSIMD ('Multiple SIMD');

```

Modos Misturados ou Distribuídos.

Esses modos de operação são os que realmente traduzem as funções de processamento paralelo do processador.

São incorporados ao sistema operações de entrada e saída juntamente com um grande banco de dados de imagens, que, no nosso caso, pode servir para análise de dados temporais da imagem ou mesmo como simples fonte de arquivamento.

Como podemos notar pelas razões descritas, o PM⁴ possui as principais características desejadas do processador, para o nosso objetivo, de substituição do sistema antigo pelo proposto.

Para verificação de como são implementados os modos de operação do PM⁴, consulte o Apêndice A.

IV.4.b - Arquitetura do sistema PM⁴.

A arquitetura do sistema PM⁴ foi projetada levando em consideração, e melhorando, as organizações dos sistemas já disponíveis (ILLIAC IV, por exemplo em /BARNG68/). O objetivo da arquitetura implementada é permitir que o sistema se auto-reconfigure, naturalmente, para executar processos que necessitem de operações vetoriais, chamados aqui de processos SIMD, ou processos que necessitem de operações escalares, chamados aqui de processos MIMD, a chamamos que este é o maior defeito normalmente encontrado nas arquiteturas encontradas de processadores de 'array' paralelo.

Em outras palavras, a auto-reconfiguração é disparada pela instrução a ser executada, conforme as necessidades do momento, sem nenhuma interferência externa.

Na verdade a flexibilidade foi estendida de modo que o sistema pode ser particionado em grupos de processadores, que podem associar-se a diferentes processos que necessitem de operações vetoriais, criando-se o modo de operação múltiplo SIMD. Portanto múltiplos processos SIMD, chamados aqui de MSIMD e processos MIMD podem ser executados concorrentemente. Isto é, poderá haver mistura

de processos com operações escalares e vetoriais.

Os componentes básicos do PM⁴ são: N unidades idênticas de processadores ('PMU - Processor Memory Unit'); K unidades idênticas de unidades de controle de vetores ('VCU - Vector Control Unit'), uma memória hierárquica de três níveis, conectadas por um conjunto de redes de interconexão e unidades de gerenciamento de memória. A Fig. IV.9 mostra um diagrama de blocos da arquitetura do PM⁴.

A seguir é dada uma breve descrição dos componentes básicos e sua interrelação no sistema:

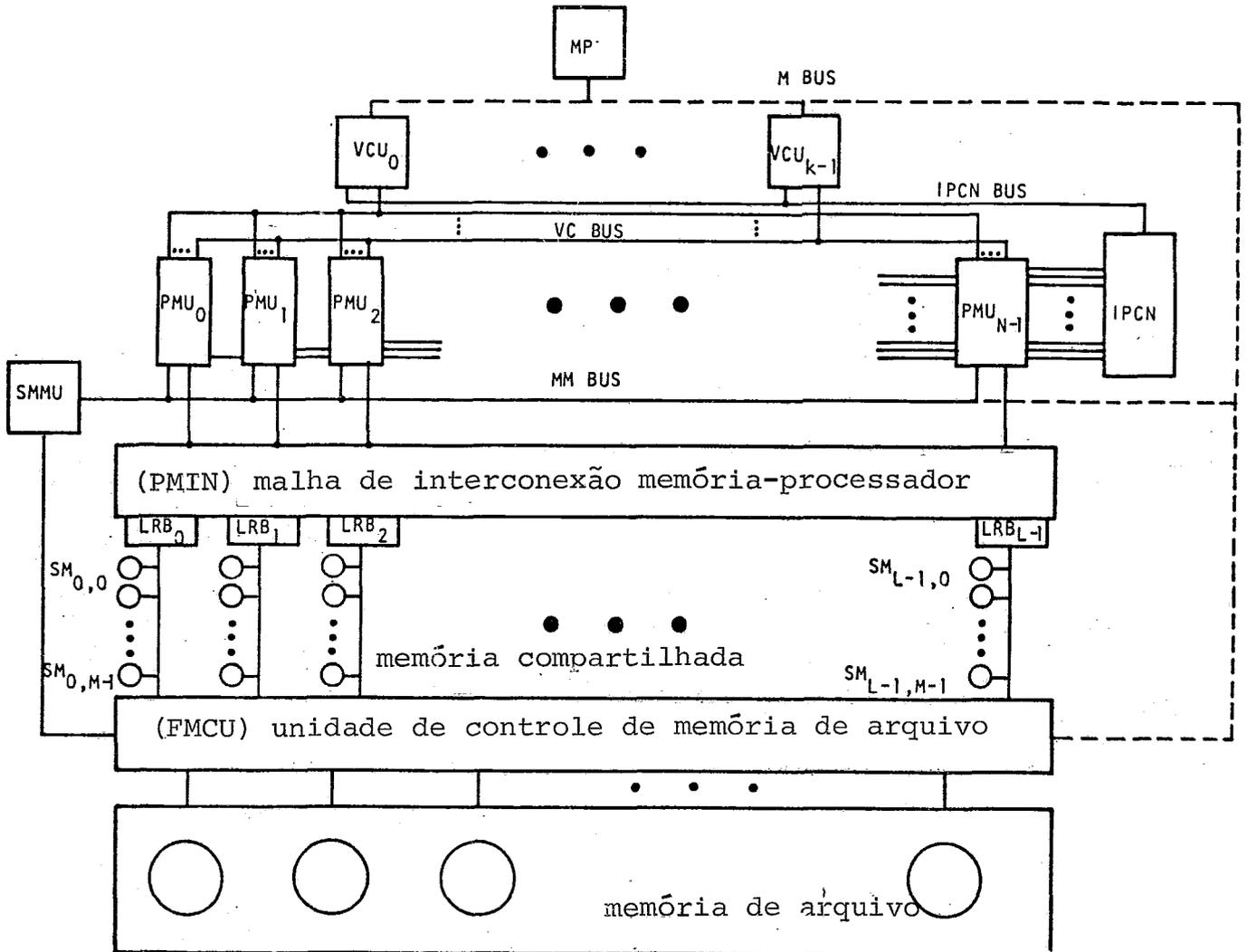
1) - As VCU's são usadas no modo de operação SIMD. Cada uma dessas VCU's tem um microprocessador e uma memória local ('LM - Local Memory') que é gerenciada pela sua própria unidade de gerenciamento de memória local ('LMMU - Local Memory Management Unit') como mostrado na Fig. IV.10.

As instruções de controle e de programa de um processo SIMD são carregadas dentro da memória local da VCU antes da execução. Quando o processo SIMD está pronto para rodar, a VCU transmite as instruções para todas as unidades de memória do processador (PMU) que são associadas ao processo SIMD. A VCU pode também enviar uma função de permutação de comandos para a malha de comunicação entre processos ('IPCN - InterProcessor Communication Network') para trocar os dados num grupo de PMU's de modo que somente os PMU's desmascarados ou não ativos executem as instruções transmitidas.

2) - As PMU's consistem fundamentalmente de três unidades funcionais: um microprocessador (P); uma memória local (LM) e uma unidade de gerenciamento da memória local (LMMU) como mostrado na Fig. IV.11.

A LMMU na PMU é similar àquela na VCU. Cada memória local, que age como uma memória 'cache' para seu processador associado, é interligada para permitir os requerimentos de velocidade exigidos pela LMMU.

A VCU e PMU operam sob sistema de memória virtual, e portanto têm facilidades de hardware para mapear endereços virtuais em endereços físicos. Cada processador foi implementado de modo



onde : MP - Monitor Process

VCU - unidade de controle de vetores

PMU - unidade de memória de processador

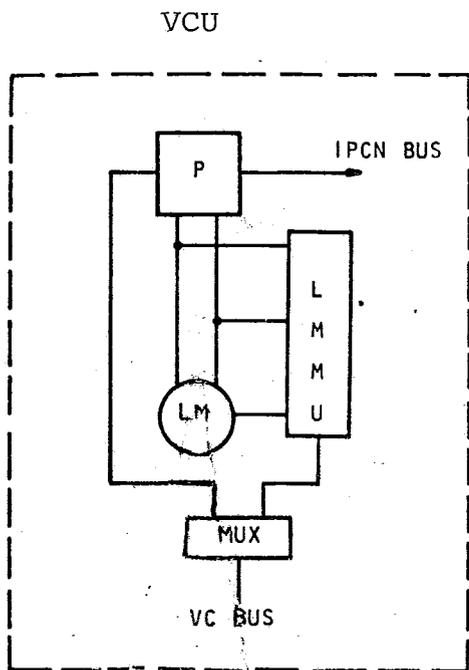
IPCN - malha de intercomunicação entre processos

SMMU - unidade de gerenciamento de memória compartilhada

LRB - 'buffer' de requisição de linha

SM - memória compartilhada

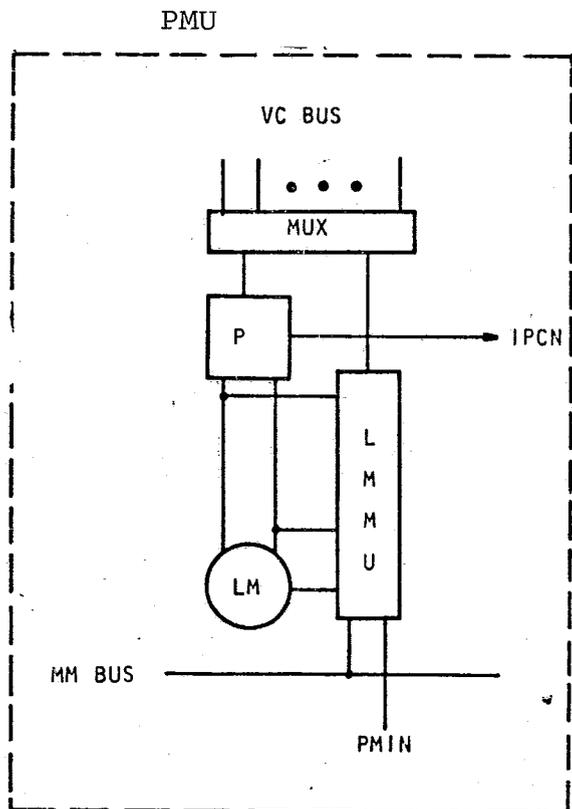
Figura IV.9 : A arquitetura do PM⁴ /BRIGF79/.



onde:

- P - Processador
- LM - memória local
- LMMU - unidade de gerenciamento da memória local
- IPC� - malha de comunicação entre processos
- VC - controle de vetor

Figura IV.10 : Detalhes da VCU ('Vector Control Unit') /BRIGF79/.



onde :

- VC - controle de vetor
- P - processador
- IPC� - malha de comunicação entre processos
- LM - memória local
- LMMU - unidade de gerenciamento da memória local
- MM - gerência de memória
- PMIN - malha de interconexão memória processador

Figura IV.11 : Detalhes da PMU ('Processor Memory Unit') /BRIGF79/.

que ele endereçe diretamente toda a memória compartilhada.

A LMMU da PMU é também usada para carregar e descarregar a memória local de uma PMU. Além disso, ela pode agir como um canal transferindo um bloco da memória compartilhada para qualquer memória VCU que esteja associada com aquela PMU. Cada LMMU em uma PMU ou VCU manuseia a política de paginação para sua memória local. Em ambos os casos, a transferência pode ser iniciada por um comando de um processador da PMU para suas LMMU's. Um multiplexador foi convenientemente colocado entre cada PMU e as vias de controle de vetores, para chavear o sinal de qualquer VCU para o processador (P) ou para a LMMU da PMU. Portanto, o programa para um processo SIMD pode ser transferido da memória compartilhada para a memória local da VCU através da LMMU de uma PMU associada. Além disso, durante a execução do processo SIMD o multiplexador pode encaminhar a instrução transmitida de uma VCU para a PMU.

3) - A malha de comunicação entre processadores ('IPCN - InterProcessor Communications Network'), é usada para implementar as funções de permutação necessárias durante a execução dos processos SIMD. Esta malha permite a permutação concorrente de dados de múltiplos processos SIMD, que são associados a subconjuntos distintos de PMU's, para serem feitos simultaneamente.

A IPCN é controlada pelas VCU's sobre a via de tempo compartilhado e contém sua própria lógica de resolução de conflitos internos.

4) - A unidade de gerenciamento de memória compartilhada ('SMMU - Shared Memory Management Unit'), é conectada a cada LMMU de uma PMU pela via de gerenciamento de memória ('MM - Management Memory'). A SMMU age para controlar o uso de memória compartilhada, pela comunicação com cada LMMU ou com a unidade de controle de gerência de arquivos ('FMCU - File Management Control Unit') e efetuando a política de paginação na memória compartilhada.

5) - A malha de interconexão de memória de processador ('PMIN - Processor Memory Interconnection Network') é usada para transferir informação entre a memó

ria compartilhada e as LMMU's, as transferências são feitas em 'burst-mode' na malha. Portanto, uma vez que o caminho através da malha foi estabelecido, ele é mantido até que a transação esteja completada.

6) - A unidade de controle de memória de arquivo ('FMCU - File Memory Control Unit') controla a transferência de informações entre a memória compartilhada e a memória de arquivo.

Para finalidade de medida de desempenho, foi incorporado um monitor de processos ('MP - Monitor Processor') para monitorar as atividades dos vários módulos do sistema como mostrado na Fig. IV.9. A informação coletada será usada para determinar as características operacionais do sistema.

O PM⁴ possui também incorporado capacidade de tolerância para falhas através da modularização da estrutura do sistema. Isso, por exemplo, pode permitir uma PMU ou VCU ser isolada logicamente do resto do sistema quando é detectado um erro na unidade. O isolamento lógico da unidade irá permitir seu diagnóstico sem afetar apreciavelmente o desempenho do sistema.

O grande propósito dessa seção foi dar uma visão geral da arquitetura do sistema PM⁴, para mostrar como é feita a distribuição de tarefas nos diversos níveis do sistema.

IV.4.c - Os modos de operação do PM⁴ aplicados ao caso LANDSAT.

Para melhor entender como as operações do PM⁴ podem ser aplicadas a um sistema para tratamento de imagens LANDSAT, vamos apresentar um exemplo.

Uma operação SIMD (Apêndice A, seção A.2.a) pode ser, por exemplo, o cálculo do nível de cinza médio para cada janela de uma imagem LANDSAT. Este tipo de operação, presente no PM⁴, permite o cálculo, concorrentemente, da soma dos níveis de cinza de todos os pixels compondo a janela e então calcular a partir daí o nível médio de cinza da janela. Veja a Fig. IV.12 para acompanhar o exemplo.

Na janela da Fig. IV.12, todos os níveis de cinza dos pixels contidos na janela k, são somados concorrentemente para se obter

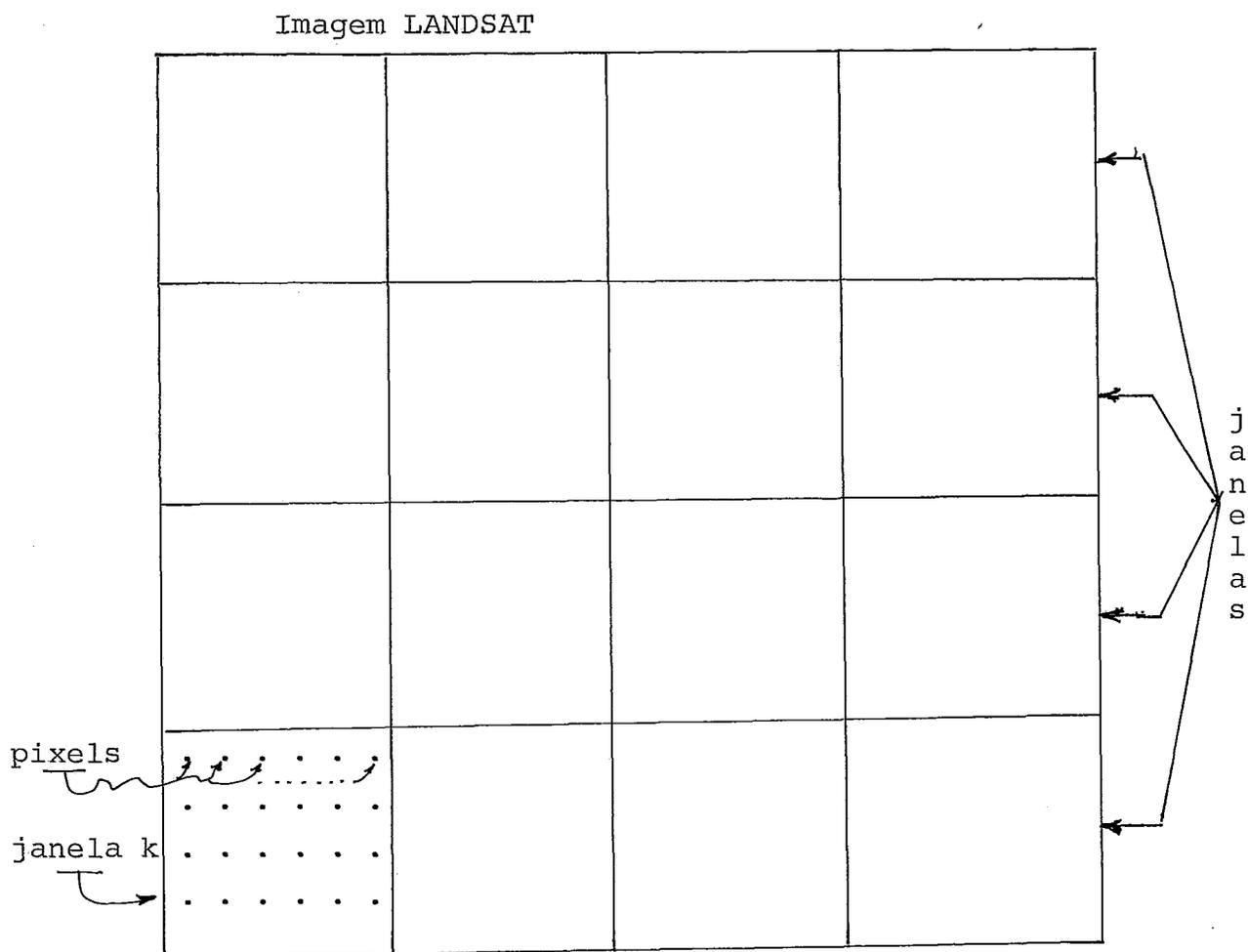


Figura IV.12 : Imagem LANDSAT, idealizada, para introduzir os modos de operação SIMD e MSIMD ao caso LANDSAT.

o nível médio de cinza da janela k. Fazendo uso de um modo múltiplo SIMD (MSIMD) (Apêndice A, seção A.2.b), podemos calcular o nível médio de cinza para cada janela componente da imagem, con-
correntemente. Deste modo, somente com estes dois processos, te-
mos praticamente resolvidos nossos problemas para análise LANDSAT.

A função de permutação de comandos, mencionada na seção IV. 4.b, é importante para resolver os problemas de concorrência nos processos SIMD. Vamos supor, que estamos calculando o nível mé-
dio de cinza da janela k da Fig. IV.12, usando uma PMU (1). Ao
vir a ordem para calcular o nível médio de cinza de uma outra ja-
nela, irá ocorrer a transferência pela VCU dos dados para o novo
cálculo, à uma PMU (2), de vez que a PMU (1) está ainda ocupada
com o cálculo da janela k. Esta transferência é possível devido à
ordem dada pela função de permutação de comandos.

IV.5 - Resumo do capítulo.

Neste capítulo foi apresentada a proposta de um novo esquema
para tratamento dos dados LANDSAT, de forma centralizada e com
base no uso de um processador de 'array' paralelo.

Foram apresentados os principais defeitos do sistema antigo
e as vantagens para utilização do novo esquema.

Os algoritmos apresentados neste capítulo, para executar as
tarefas de correção, realce, particionamento e classificação dos
dados, são originariamente algoritmos de tratamento de transmis-
são digital de imagens. Porém, até que se obtenha os resultados
finais, o processamento de imagens LANDSAT pode ser tratado com
procedimentos referentes à transmissão digital de imagens com pe-
quenas modificações. Daí a idéia de utilizar esses algoritmos pa-
ra nossa finalidade.

Foi também apresentado, informalmente, o processador de
'array' PM⁴, que foi nosso escolhido como suporte do modelo pro-
posto e foi mostrado como esse processador pode nos ajudar a re-
solver os problemas de tratamento de imagens LANDSAT.

Até este ponto esperamos ter dado base suficiente para que
"acreditemos" que um esquema do tipo proposto, realmente ameniza
a necessidade de resposta imediata às requisições LANDSAT.

No próximo capítulo (capítulo V), apresentaremos algumas justificativas a mais para o uso do esquema proposto, comparações entre processadores de 'array' paralelo e processadores sequenciais e uma visão geral dos passos futuros no programa LANDSAT, no Brasil e no mundo.

Capítulo V: Conclusão

V.1 - Justificativas para o Emprego do Esquema Proposto	153
V.1.a - A Centralização do Processo	153
V.1.b - A Substituição do Processador Sequencial pelo Paralelo	154
V.2 - Os Anos 80	158
V.2.a - Lançadeira Espacial	158
v.2.b - Mapeador Temático	159
V.3 - O Futuro Brasileiro	159

FIGURAS	TÍTULO	PÁGINA
V.1	Gráfico relacionando velocidade de <u>pro</u> cessamento e número de tarefas	155
V.2	Gráfico relacionando tempo de <u>resposta</u> e número de tarefas	155
V.3	Gráfico relacionando complexidade do sistema e número de processadores	157
V.4	Gráfico relacionando custo do sistema e número de processadores	157
V.5	Tabela comparando as principais <u>carac</u> terísticas dos antigos LANDSAT's e do novo LANDSAT-D	160
V.6	Total de cenas <u>previstas</u> para serem <u>ob</u> tidas com o novo LANDSAT-D	161
V.7	Modo como o LANDSAT-D colhe informações	162

V.1 - Justificativas para o emprego do esquema proposto.

No capítulo IV apresentamos o: esquema de funcionamento antigo e um novo esquema como proposição. Cabe aqui, justificar com alguns argumentos, a escolha do esquema proposto, já que não temos nenhuma prova formal para fazê-lo.

Vamos dividir a justificativa em duas partes: uma que mostra rá vantagens, em usar o sistema de tratamento das informações de maneira centralizada e outra que justificará a substituição do processador sequencial por um que trabalhe em paralelo.

V.1.a - A centralização do processo.

A centralização do processo é necessária no nosso caso pelas razões que exporemos abaixo:

1) Nem sempre a descentralização é uma solução para os problemas que tentamos resolver. No caso espe cífico do sistema de tratamento de informações antigo, onde se nota a descentralização, vemos que o sistema não funciona a contento devido principalmente ao grande intervalo de tempo decorrido desde que a imagem chega à estação receptora, até que ela seja colocada em forma reconhecível pelo pesquisador.

O nosso pensamento é que o importante é descentralizar a in formação e não o processo pelo qual ela é obtida.

Com o esquema proposto, o processo ficará centralizado e a informação gerada por ele poderá ser distribuída a qualquer pes quisador interessado rapidamente.

2) Teremos uma economia de custos no processo, de a cordo com o progresso tecnológico e devido também a valiosa ajuda do sistema opcional para produção de cópias coloridas das imagens.

3) Teremos uma economia de tempo, evitando todo o tra jeto mencionado na seção IV.1; esta é uma vanta gem consequente da centralização do processo. Pre vemos a grosso modo, um ganho razoável no tempo decorrido pa ra gerar informações úteis ao pesquisador. De um tempo de 2 - 3

dias atuais, reduzir-se-ã para 3 - 4 horas ou menos, o volume total processado, de um dia de trabalho.

V.1.b - A substituição do processador sequencial pelo paralelo.

Achamos que a necessidade do processador paralelo é bem clara. É necessário entretanto, justificar a escolha do PM⁴, em lugar de outros processadores existentes.

Todo processador paralelo que pretendamos usar no nosso projeto, deve ter por premissa os seguintes fatores principais:

- 1) As tarefas paralelas e/ou cadeias de caracteres simples, devem ser executados eficientemente. Isto é, não queremos apenas um grande calculador como o MPP, por exemplo (veja seção IV.4.).
- 2) A programação não deve se desviar fortemente daquela dos computadores sequenciais ou computadores Von Newman.
- 3) A falha de um módulo (ou elemento de processamento) não poderá causar a falha da máquina inteira.

O PM⁴ possui todas essas características juntas enquanto que outros (STARAN, MPP, ILLIAC IV) falham em uma ou mais dessas premissas.

Além de satisfazer as condições acima, o PM⁴ pode funcionar 'Stand-Alone', ao contrário dos processadores de 'arrays' comuns que precisam de uma interface com um computador central e que, ao final, servem apenas como um grande calculador, além de ter o problema da criação de interfaces específicos.

Para completar a justificativa, apresentaremos alguns gráficos construídos empiricamente, mas que nos darão idéia do comportamento relativo dos dois tipos de processadores (sequencial e paralelo), quanto a diversos itens sob consideração.

Na Fig. V.1, relacionamos a velocidade de execução de tarefas (velocidade de processamento) com o número de tarefas. Como ponto de partida podemos notar o maior valor da velocidade de processamento do processador paralelo em relação ao sequencial no ponto referente aos valores máximos dessa velocidade.

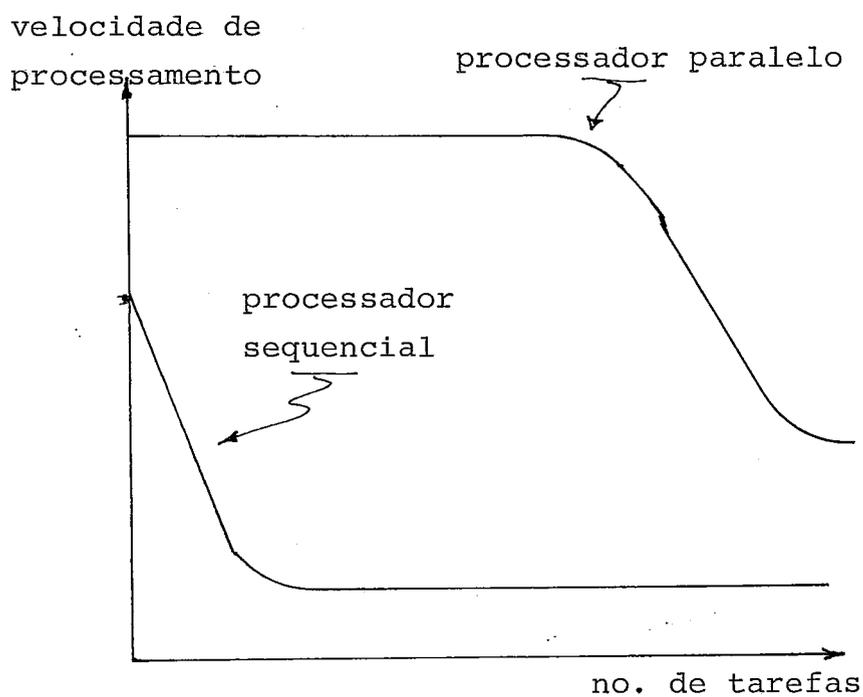


Figura V.1 : Gráfico relacionando velocidade de processamento e número de tarefas.

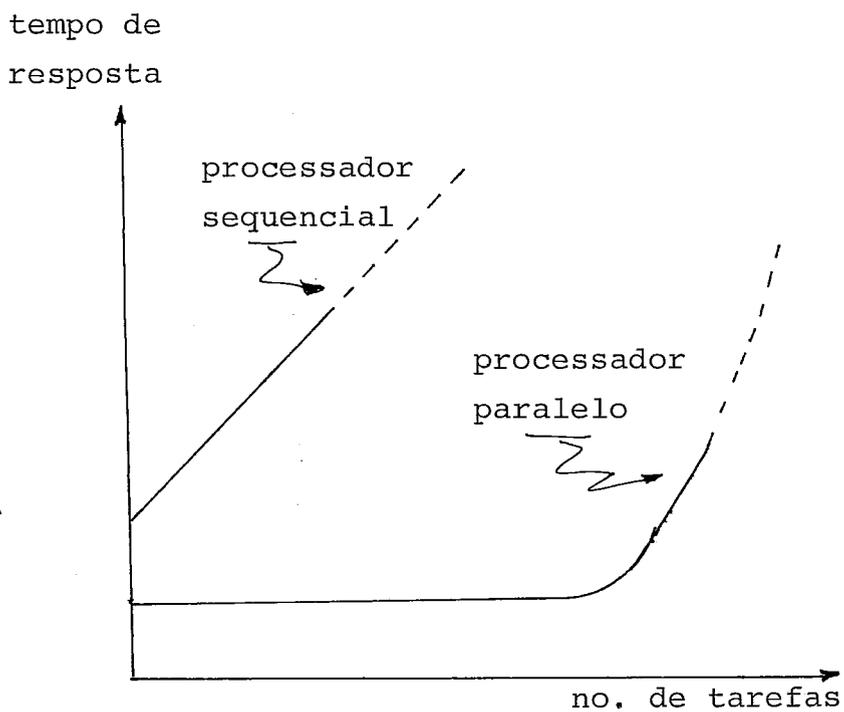


Figura V.2 : Gráfico relacionando tempo de resposta e número de tarefas.

Vemos que, pela inclinação negativa, relativa ao processador sequencial, que quanto mais se fornece tarefas a este tipo de processador, mais diminui sua velocidade de processamento até a saturação.

No caso paralelo, a velocidade de processamento permanece constante, devido à distribuição das tarefas que chegam pelos diversos processadores. Quando o número de tarefas submetidas chega a um determinado valor (digamos, 80% do total de processadores ocupados no sistema), há o decréscimo da velocidade e após isso a saturação.

Como observação final, verificamos que o ponto de saturação do processador paralelo deve ficar acima do ponto de saturação do processador sequencial.

Na Fig. V.2, relacionamos o tempo de resposta do sistema à tarefas, com o número de tarefas submetidas. Vemos que, para o caso sequencial o tempo de resposta cresce com o número de tarefas, simbolicamente até o infinito.

Na realidade o limite é ditado pelo limite físico dos equipamentos envolvidos na composição do sistema e o tempo de resposta cresce até o ponto visto na Fig. V.2, a continuação da curva é mostrada em tracejado.

No caso paralelo, a curva permanece constante enquanto o número de tarefas submetidas não ocupa um número determinado de processadores para resolvê-las (como anteriormente, digamos 80% do total de processadores). Após atingir esse limite a curva cresce simbolicamente até o infinito. Novamente o limite real é ditado pelo limite físico dos equipamentos compondo o sistema. Contudo este ponto se situa num nível mais baixo que o do processador sequencial.

Na Fig. V.3, relacionamos a complexidade do sistema com o número de processadores. Para um processador o sistema com processadores paralelos é um pouco mais complicado que o sequencial devido a complexidade ser transferida para as malhas de comunicação.

Entretanto, com o aumento do número de processadores, a complexidade cresce até o limite de saturação. O ponto de saturação é ditado pelo limite tecnológico para se agrupar processadores.

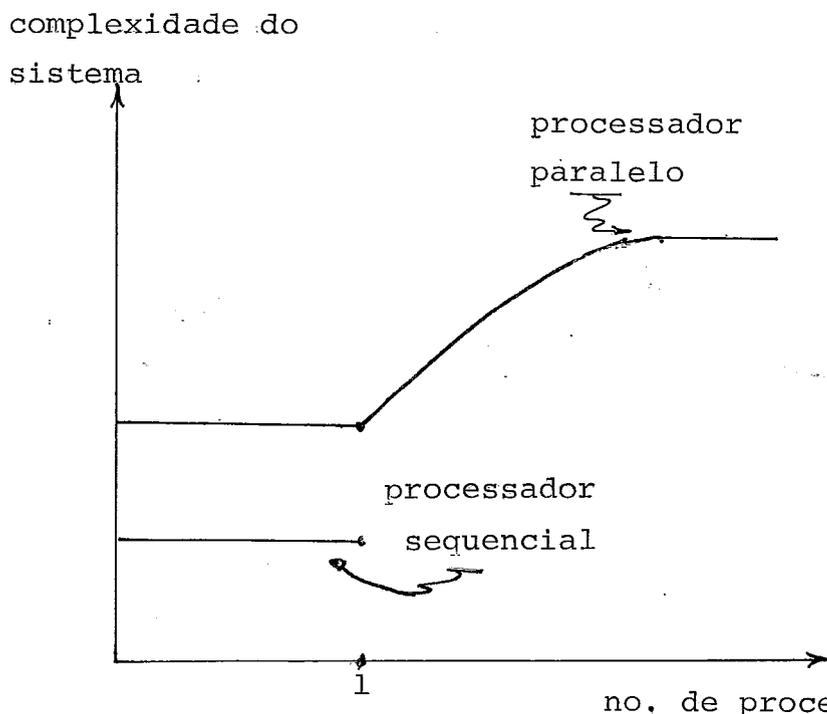


Figura V.3 : Gráfico relacionando complexidade do sistema e número de processadores.

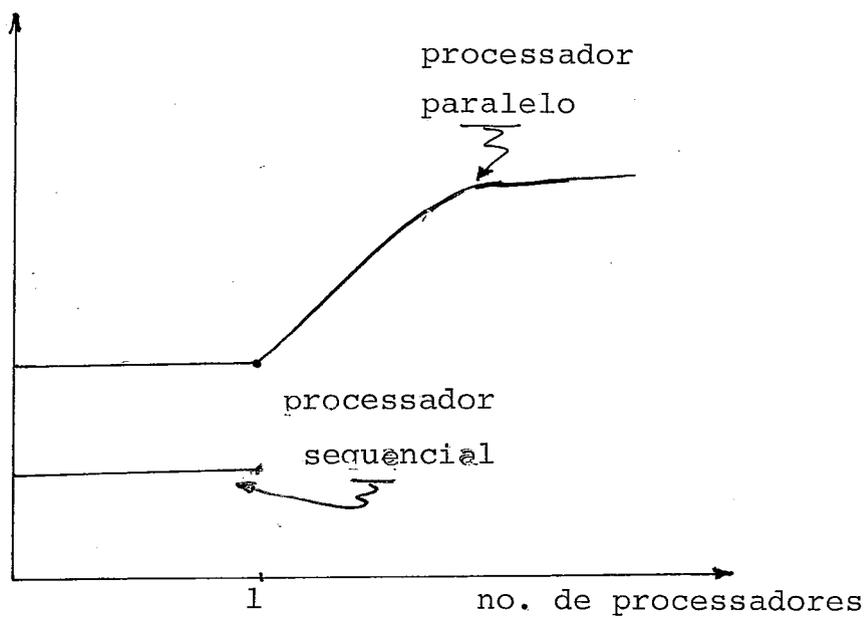


Figura V.4 : Gráfico relacionando custo do sistema com número de processadores.

Finalmente na Fig. V.4, relacionamos o custo do sistema com o número de processadores. Esta figura deverá se modificar no decorrer dos anos, devido ao grande avanço tecnológico existente. Portanto, é esperado que num futuro próximo a diferença entre os níveis da Fig. V.4 caia bastante, e além disso o crescimento na curva de custos para um sistema paralelo não cresça tão rapidamente.

V.2 - Os anos 80.

As inovações técnicas no desenvolvimento da tecnologia de satélites em geral, irão ter profundas influências nas aplicações práticas e científicas. Por exemplo, hoje o tempo de vida útil de órbita dos satélites varia de 3 até 7 ou 10 anos. Isto, é considerado uma desvantagem, ainda, por muitos usuários convidados a participar desses programas, devido ao custo do projeto em relação a sua vida útil. Entretanto, no futuro esta dificuldade será eliminada, pois certamente a tendência é aumentar a vida útil dos satélites.

Para o futuro, talvez, o grande benefício da tecnologia de satélites seja, além da agricultura, a localização de novos recursos naturais, especialmente petróleo e recursos minerais.

A tecnologia de análises LANDSAT está apenas na sua infância como ciência (cerca de 8 anos), contudo avanços reais já começam a ser notados. Por exemplo, os dois 'scanners' multiespectrais a bordo do LANDSAT 1 e 2, são muito inferiores ao recentemente lançado no LANDSAT-3. Este por sua vez bastante inferior ao do LANDSAT-D, que será lançado num futuro próximo. Além disso, os planos para os próximos anos incluem o seguinte.

V.2.a - Lançadeira espacial.

O maior programa da NASA hoje é a lançadeira espacial, que irá fornecer transporte espacial nas próximas duas décadas. O veículo é projetado para trabalhar no espaço e no solo, como uma avião; portanto ele pode ser reciclado. A NASA estima que haverá entre 30 e 50 missões por ano feitas com a lançadeira.

Qualquer experimento pode ser montado em seu bojo de 18,3 x

4,6 metros ou ser colocado lá e lançado ao espaço. Pretende-se deste modo colocar os futuros LANDSAT's em órbita, além de outros experimentos da NASA.

O LANDSAT-D que será lançado em 1982 já será colocado no espaço por esse veículo. Houve em Abril/81 o primeiro voo experimental desse veículo. Uma vantagem adicional do uso desse veículo é que ele pode, também, recuperar satélites antigos o que poderá contribuir para a redução dos custos de novos satélites.

V.2.b - Mapeador temático /BLANL80/.

O LANDSAT-D, previsto para ser lançado no início de 1982 pela lançadeira espacial, irá monitorar em seis ou sete bandas e fornecer 6 vezes a resolução do LANDSAT 1 ou 2 (veja na Fig. V.5 as características comparadas). O Mapeador Temático (uma segunda geração de 'MultiSpectral Scanner') irá diferenciar e registrar até 256 níveis de cinza em comparação com os 64 níveis atuais, irá ter alta sensibilidade às cores, terá aumentado a sensibilidade do canal infravermelho, podendo funcionar inclusive à noite também e terá alta capacidade de registro geométrico e radiométrico reduzindo sensivelmente os erros mencionados no capítulo II. Além disso tudo, podemos anotar como os maiores benefícios o aumento da resolução para 30 metros; o aumento do número de cenas por dia (veja Fig. V.6) consequente do aumento da taxa de dados para 85 Mbits/s (anterior 15 Mbits/s); a cobertura em 16 dias em vez de 18 dias. Isto tudo devido à modificação no sistema de rastreamento para coletar dados, que funcionará nas duas direções em vez de uma só (veja Fig. V.7).

V.3 - O futuro brasileiro.

O Brasil através do INPE, submeteu em Dezembro/80 um relatório à SEPLAN - Secretaria de Planejamento. O objetivo desse relatório era justificar a continuação do programa LANDSAT no Brasil e requisitar verbas para compra de novos equipamentos que se tornarão necessários para o acompanhamento da evolução do sistema.

Certamente não deverá haver nenhum problema para a cessão das

	Mapeador Temático TM	MultiSpectral Scanner MSS
Banda 1	0,45 - 0,52 μm	0,5 - 0,6 μm
Banda 2	0,52 - 0,60 μm	0,6 - 0,7 μm
Banda 3	0,63 - 0,69 μm	0,7 - 0,8 μm
Banda 4	0,76 - 0,90 μm	0,8 - 1,1 μm
Banda 5	1,55 - 1,75 μm	
Banda 6	2,08 - 2,35 μm	
Banda 7	10,40 - 12,50 μm	
IFOV*	30 m (banda 1-6) 120 m (banda 7)	82 m (banda 1-4)
Taxa de dados.	85 Mbits/s	15 Mbits/s
Níveis de cinza.	256 níveis	64 níveis
Peso	227 Kg	68 Kg

* IFOV - Intantaneous Field Of View

Figura V.5: Tabela comparando as principais características dos antigos LANDSAT's e do novo, LANDSAT-D /BLANL80/.

Instrumento MSS			TM			
Estação de aquisição	cenas por dia	cenas por noite	cenas em 24 hs	cenas por dia	cenas por noite	cenas em 24 hs
Estação da NASA	200	0	200	70	30	100
Estação no Exterior	460	0	460	100	50	150

Figura V.6: Total de cenas previstas para serem obtidas com o no vo LANDSAT-D /BLANL80/.

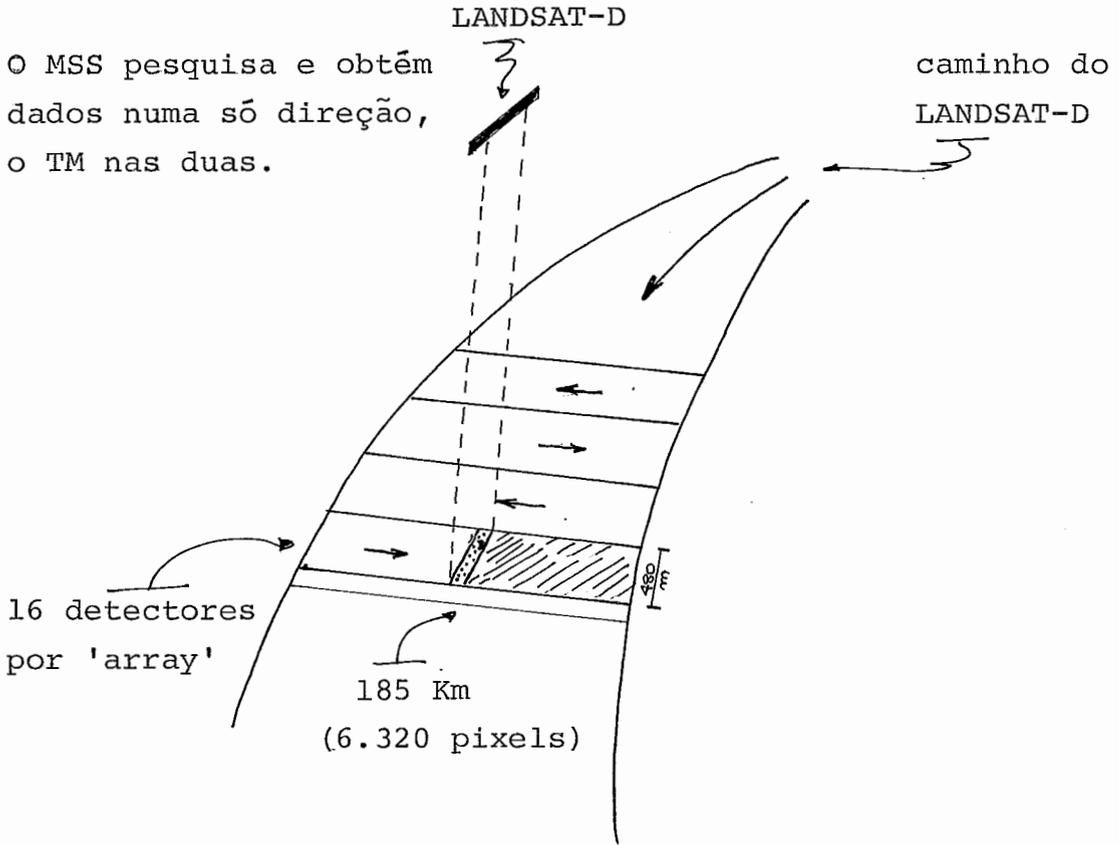


Figura V.7 : Modo como o LANDSAT-D colhe informações /SALOV80/.

verbas e assim o Brasil continuará a desfrutar sob as mesmas condições de outros países, dos dados LANDSAT nos próximos 10 anos.

Uma opção para o Brasil foi dada no capítulo IV deste trabalho, sob a forma de apresentação do sistema em tempo real. Entretanto este não é o único caminho. Existem alguns sistemas comerciais de processamento de imagens digitais 'turn-key' que podem ser usados para dados LANDSAT.

Em 1978 Teicholz /TEICE78/ fez um estudo com seis sistemas completos e um de software. O resultado desse estudo é apresentado no Apêndice C, onde são listadas as principais características dos sistemas para servir numa avaliação.

Qualquer que seja a solução escolhida para uma futura implementação não só no Brasil, mas também em qualquer local interessado no uso de dados obtidos por sensoriamento remoto, deverá obedecer aos critérios abaixo:

- 1) Suportar requisições atuais e futuras previstas para o programa LANDSAT.

Isto implica em uma preparação para o desenvolvimento futuro da série LANDSAT, sem que seja preciso renovar investimentos já feitos.

- 2) Suportar multiusuários sem degradação grave no desempenho.
- 3) Suportar estações remotas de usuários através de microondas ou outras linhas de comunicação.

As duas requisições acima são muito importantes. A 2 assegura que o sistema funcionará bem com vários usuários, aliás este deve ser o objetivo principal do sistema escolhido. A requisição 3 prevê a futura instalação de uma rede de teleprocessamento para permitir que usuários distantes, tenham acesso às informações LANDSAT.

- 4) Fornecimento de processadores de 'array' de alta capacidade.

Esta é também uma requisição importante, devido à aceleração que é conseguida no tratamento das informações.

Consideramos que o grande problema da escolha de um sistema

pronto é (na nossa opinião) que eles são rígidos e por isso não são facilmente adaptáveis a soluções fora daquelas para as quais foram projetados. Ou seja, eles funcionam bem somente para aplicações pré-especificadas e que podem não ser as de interesse atual.

Para finalizar o trabalho devemos dizer que esperamos ter contribuído com alguma coisa de útil no campo de interesse do sistema LANDSAT, especialmente no Brasil, colocando um texto a disposição dos interessados no assunto.

<u>Apêndice A - Detalhes do PM⁴</u>	167
A.1 - Introdução	167
A.2 - Modos de Operação	167
A.2.a - Modo SIMD	167
A.2.b - Modo Múltiplo SIMD	168
A.2.c - Modo MIMD	169
A.2.d - Modo Misturado Distribuído	169
A.3 - Características dos Microprocessadores	170
A.4 - Memória Hierárquica	171
A.5 - Malhas de Interconexão	172

FIGURAS DO APÊNDICE A

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
A.1	Uma malha delta 8 x 8	173
A.2	Detalhes de módulos 2 x 2 para malha delta	173

APÊNDICE A

A.1 - Introdução.

A finalidade deste apêndice é descrever cada um dos modos de operação do PM⁴ separadamente e o significado prático desses modos. Os modos de operação são:

- a) Operações com vetores (operações vetoriais) executadas no modo SIMD.
- b) Duas ou mais operações de vetores em paralelo executadas no modo múltiplo SIMD.
- c) Execução concorrente de vários processos escalares executadas no modo MIMD.

Operações misturadas são suportadas pelo PM⁴, de modo que pode haver parte do PM⁴ trabalhando em SIMD e parte em MIMD. Também neste apêndice, são descritas algumas características mais profundas do PM⁴, como características dos microprocessadores, malhas de interconexão, etc...

A.2 - Modos de operação /BRIGF79/.

A.2.a - Modo SIMD ('Single Instruction Stream and Multiple Data Streams').

Operam com instruções vetoriais com cadeias de dados simples e múltiplas. Devem ser declaradas explicitamente pelo usuário. O compilador será responsável pelo 'Lay-out' dos vetores e a VCU é responsável pela transmissão das instruções. A VCU, executará instruções de controle ou instruções não-vetoriais sem passá-las para as PMU's. Neste modo de operação, cada instrução vetorial é executada em paralelo, mas instruções vetoriais subsequentes são executadas sequencialmente. Em outras palavras, nenhuma instrução múltipla SIMD pode ser executada simultaneamente neste modo.

Exemplo.

Considere o uso de um processador PM⁴ com 32 processadores pa

ra operações SIMD.

```

Begin
  Integer vector A, B, C (0:31);
  Real vector    X, Y, Z (0:31);
  Integer        I,J;
  :
  A ← I*B + C;
  X ← Y + (Z/2);
  :
End

```

A.2.b - Modo múltiplo SIMD.

Neste modo várias execuções de operações SIMD são executadas em paralelo. Com um sistema à 64 processadores, instruções múltiplas SIMD, podem ter a forma do exemplo a seguir. Neste exemplo A, B e C podem ser considerados 'arrays' de 128 vetores cada, onde cada vetor tem 16 elementos. Similarmente X, Y e Z são também 'arrays' de vetores com 32 elementos em cada vetor. A notação X(I,*) significa um vetor X(I,0), X(I,1), ... , X(I,31).

Exemplo.

```

Begin
  Integer vector A, B, C (0:127,0:15);
  Real vector    X, Y, Z (0:127,0:31);
  :
  Parbegin (Parallel Begin)
    For I = 0 Until 127 Do
      A(I,*) ← B(I,*) + C(I,*) ;
      For J = 0 Until 127 Do
        X(J,*) ← Y(J,*) + Z(J,*) ;
        :
      End
    End
  Parend
End

```

Os dois vetores entre o Parbegin e o Parend podem ser executados simultaneamente por duas VCU's, neste modo.

A.2.c - Modo MIMD ('Multiple Instruction Streams and Multiple Data Streams')

Essas operações são as mais generalizadas dos programas paralelos. Cada cadeia de instruções individuais deve ter uma sequência de operações escalares. Esses processos paralelos devem ser independentes. Bloqueios indefinidos ('deadlock') serão um grande problema para ser resolvido para as operações MIMD.

Instruções vetoriais não podem aparecer no modo restrito MIMD, mas podem aparecer no modo misturado como descrito na seção A.2.d.

Exemplo.

```

Parbegin
  subprocess 1;
  subprocess 2;
  :
  subprocess n;
Parend

```

A.2.d - Modo misturado ou distribuído.

Neste modo instruções de vetores SIMD e processos paralelos MIMD são executados simultaneamente como mostrado no exemplo a seguir.

Exemplo.

```

Parbegin
  A ← B + C;
  X ← Y * Z;
  subprocess 1;
  subprocess 2;
  :

```

modo SIMD
modo MIMD

```

subprocess n;
Parend

```

Os modos de operação acima são os mais importantes para serem implementados. Existem várias combinações dos modos acima. Somente após a implementação dos modos básicos é que se tentará implementar outras combinações para aumentar a capacidade do sistema.

A.3 - Características dos microprocessadores.

Para reconfiguração rápida dos recursos do sistema, um processador deve ser capaz de manter mais de um estado de processo ativo. Portanto, a VCU e a PMU são multiprogramáveis. O grau de multiprogramação foi escolhido, por tentativa, em quatro. Assim o processador de uma PMU consiste de quatro registradores de 'array'. Cada registrador pode ser usado para manter o estado de um processo ativo. Por exemplo, um 'array' pode ser associado ao núcleo do sistema operacional, enquanto os outros três são associados aos processos de usuários SIMD ou MIMD.

O registrador que é designado para um processo SIMD quando a PMU está alocada a uma VCU, irá reter o estado do processo SIMD até que a PMU esteja desalocada. A coexistência de processos SIMD e MIMD em uma PMU irá permitir o chaveamento de um processo concorrente SIMD para um processo ativo MIMD e vice-versa eficientemente. 'Traps' e interrupções são também necessários para manusear problemas de falhas e comunicação. Por exemplo, uma página faltosa da VCU ou PMU causaria um 'trap' de falta de página que iria abortar a execução da instrução atual. A instrução pode ser reexecutada quando as condições de falta de página estiverem resolvidas. No caso em que um 'trap' ocorre em uma PMU que está associada a uma VCU para um processo SIMD, a VCU é sinalizada para suspender sua transmissão de instruções. Além disso, todas as PMU's naquele grupo irão ser interrompidas para suspender o processo concorrente e chaveá-lo a um processo MIMD pronto para rodar até que o processo SIMD seja ativado. O chaveamento de processos pode ser feito neste caso simplesmente modificando um registrador que aponta o processo atual ('CPP - Current Process Pointer') na PMU para apontar o processo MIMD cujo estado de pro

cesso está residente num conjunto de registradores da PMU.

Note que, quando um processo SIMD é suspenso devido à, digamos, falta de página, o grupo de PMU está ainda alocado ao processo SIMD suspenso. Quando a VCU está pronta para resumir seu processo de suspensão, ela pode fazer isso transmitindo uma instrução para o grupo PMU alocado. Se a PMU está num ciclo de instrução de um processo MIMD corrente, quando o vetor-instrução é transmitido, ela atualiza um 'flip-flop' interno, VIP, ('Vector Instruction Present'). Portanto, a transmissão de uma instrução pode ser assíncrona com respeito a um grupo de PMU's.

O 'flip-flop' VIP é checado no final do ciclo de instrução no caso em que a PMU é alocada para um processo SIMD. Se o VIP está setado, o registrador CPP pode ser modificado para apontar o vetor-estado do processo SIMD que está residente no processador de PMU's. Além do mais, ele coloca o processador no estado de busca de instrução a fim de receber a instrução transmitida.

Quando um processador de uma PMU está executando instruções transmitidas no modo SIMD, um sinal de instrução completada é enviado para a VCU associada no final de cada ciclo de instrução. Isto irá permitir à VCU, transmitir a próxima instrução aos PMU's.

A.4 - Memória hierárquica.

A hierarquia de memória consiste de três níveis de memória. O mais alto nível são as memórias locais na unidade de controle de vetor (VCU) e a unidade de memória de processador (PMU). O próximo nível é a memória compartilhada que é repartida por todos os processadores no sistema. O nível mais baixo, é a memória de arquivo que é essencial para o banco de imagens. Geralmente, quanto mais alto o nível da memória, maior sua velocidade, maior seu custo por byte e menor sua capacidade.

A transferência de informações entre níveis adjacentes de memória na hierarquia é inteiramente controlada por atividades do primeiro nível. O primeiro nível neste caso consiste do conjunto de VCU's e do conjunto de PMU's. Contudo isto não implica que o tempo de acesso à memória para a VCU seja idêntico àquele da PMU.

A.5 - Malhas de Interconexão.

Existem vários meios de comunicação entre os diferentes componentes do sistema PM⁴. A observação do diagrama de blocos da Fig. IV.9 mostra as conexões explícitas entre as unidades de controle de vetor (VCU's) e os processadores. As outras conexões principais, que são mostradas simplesmente como caixas pretas, são malhas de comunicação entre processadores (IPCN), malha de interconexão entre memórias de processadores, ('PMIN - Processor-Memory Interconnection Network') e a conexão implícita na unidade de controle de memória de arquivo ('FMCU - File-Memory Control Unit'). Dessas três malhas, a conexão na FMCU é a mais simples e a mais requisitada. Por essas razões, uma única via de tempo compartilhado de alta velocidade foi escolhida como caminho de comunicação entre a memória compartilhada e a memória de arquivo devido à baixa taxa de transferência da memória de arquivo. As outras duas malhas, PMIN e IPCN, são muito complexas e se forem mal projetadas tornar-se-ão o gargalo do sistema ou então a parte mais cara do sistema total.

Para a PMIN foi usada uma malha delta. Essas malhas são mais fáceis de projetar e controlar. As malhas usam barras cruzadas 2 x 2 como bloco básico (Fig. A.2). Uma conexão entre um processador, LMMU, e um módulo de memória compartilhada é estabelecida na hora em que o processador envia o endereço do módulo requisitado nas linhas de controle. Este endereço age como um guia através da malha e o caminho estabelecido localmente para cada módulo. Cada módulo requer um único bit do endereço para estabelecer um caminho, assim o controle fica completamente distribuído. Um exemplo de uma malha delta 8 x 8 está mostrado na Fig. A.1.

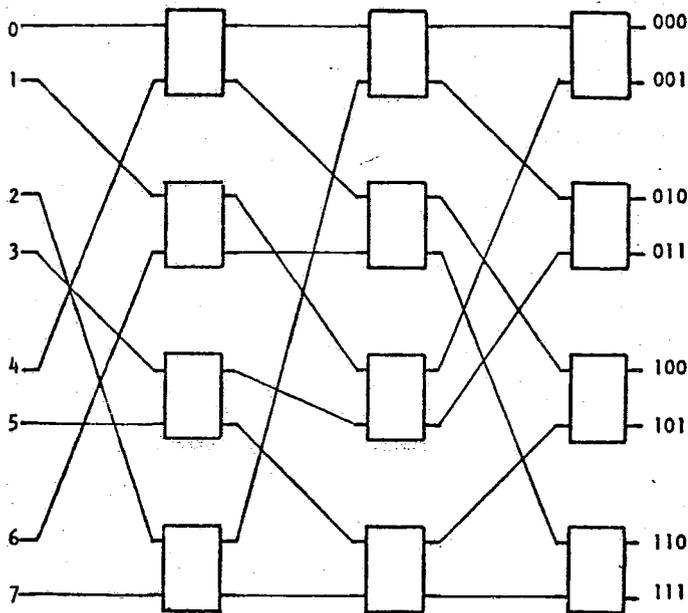
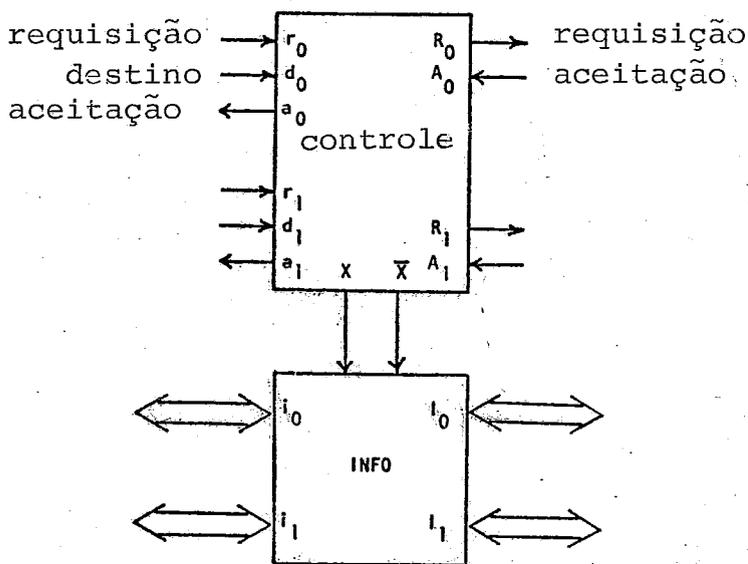


Figura A.1 : Uma malha delta 8 x 8 /BRIGF79/.



se $x = 0$ então conecta
 i_0 a I_0 e i_1 a I_1 .
 se $x = 1$ então conecta
 i_0 a I_1 e I_1 a I_0 .

Figura A.2 : Detalhes de módulos 2 x 2 para malhas delta /BRIGF79/.

Apêndice B : Detalhes do Equipamento LANDSAT no Brasil.

B.1 - Introdução	176
B.2 - Alimentação da Antena	176
B.3 - Subsistema de recepção e Gravação dos dados	176
B.3.1 - Equipamentos MSS e RBV (recepção)	178
B.3.1.a - Conversor de Baixa frequência	178
B.3.1.b - Receptor MSS	178
B.3.1.c - Receptor RBV	178
B.3.1.d - Sincronizador de bit MSS	178
B.3.1.e - Demultiplexador/gerador de sinais/Osciloscópio	178
B.3.1.f - Gravador do sinal MSS	179
B.3.1.g - Processador de vídeo e separador de sincronismo	179
B.3.1.h - Gravador do sinal RBV	179
B.3.2 - Equipamento USB ('Upper Size Band')	179
B.3.2.a - Demodulador PCM (597/768 KHz)	179
B.3.2.b - Sincronizador de bits USB	179
B.3.2.c - Sistemas de Gravação para os sinais do enlace USB	180
B.3.3 - Outros Equipamentos	180
B.3.3.a - Geradores de teste RBV, MSS e PCM	180
B.3.3.b - 'Quick Look Monitor' (QLM)	180
B.3.3.c - Fonte do sinal FM para teste	180

FIGURAS DO APÊNDICE B

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
B.1	Configuração da estação de rastreamento/ recepção/gravação do INPE para o LANDSAT no Brasil	177

APÊNDICE BB.1 - Introdução.

Este apêndice tem a finalidade de detalhar mais a informação acerca dos equipamentos utilizados na instalação da estação de recepção, rastreamento e gravação dos dados LANDSAT no Brasil.

B.2 - Alimentação da antena.

O alimentador da antena contém o alimentador básico que consiste de uma unidade com cinco elementos (Fig. B.1): o comparador monopulso, o conversor monoscan, dipolos polarizadores, amplificador paramétrico, amplificadores a transistor e filtros apropriados.

O alimentador básico consiste de quatro dipolos cruzados os quais fornecem os sinais diferença de azimute e elevação, e de uma corneta no centro para a recepção do sinal soma. Os sinais soma e diferença são mandados ao amplificador paramétrico e ao monoscan, respectivamente, através dos filtros. Um filtro passa-baixa é incluído após o amplificador a transistor, para limitar a contribuição do ruído do sinal diferença sobre o sinal soma. O sinal composto do sinal soma e do sinal diferença é amplificado e separado no multiacoplador. Uma saída do multiacoplador entra no receptor de rastreamento o qual proporciona o sinal USB ('Upper Size Band') e o sinal de rastreamento. O conversor de rastreamento recebe o sinal de rastreamento e proporciona os erros de azimute e elevação ao controle da antena. Sinais analógicos são mandados para os amplificadores de servo os quais geram os pulsos necessários para os amplificadores de potência que por sua vez alimentam os motores no pedestal da antena.

O amplificador paramétrico tem uma faixa de passagem nominal de 100 MHz. Nos satélites futuros de exploração de recursos terrestres, esta faixa deverá ser aumentada.

B.3 - Subsistema de gravação e recepção dos dados.

Neste subsistema existem três gravadores de alto desempenho:

- 1) Gravador de sinal de vídeo para o MSS do tipo FR-1928 da Ampex;
- 2) Gravador de sinal de vídeo para o RBV do tipo TR-70 da RCA-Victor;
- 3) Um pequeno gravador para os dados de telemetria.

B.3.1 - Equipamentos MSS e RBV (recepção).

B.3.1.a - Conversor de baixa frequência.

Converte a frequência recebida para aquela adequada ao receptor RBV ou MSS. O ruído térmico do conversor de baixa frequência deve ser tal que o ruído térmico do sistema seja igual a 166 graus Kelvin (-107 graus centígrados).

B.3.1.b - Receptor MSS.

Este dispositivo demodula o sinal PCM/FSK do enlace MSS. Este receptor é do tipo 6710 fabricado pela S.A. (Scientific Atlanta). A figura de ruído é de 10 dB com faixa de passagem de 20 MHz.

B.3.1.c - Receptor RBV.

Este dispositivo demodula o sinal vídeo/FM do enlace RBV. É do tipo 6710 fabricado pela S.A.

B.3.1.d - Sincronizador de bits MSS.

Esta unidade sincroniza os 15 Mbps, fornecendo também informação de tempo para a posterior demultiplexação e/ou gravação.

B.3.1.e - Demultiplexador/Gerador de testes/Osciloscópio.

Esta unidade é utilizada para demultiplexar o sinal a ser gravado em um gravador tipo paralelo (o Ampex FR-1928). É previsto um osciloscópio para visualizar em forma analógica (monitor MSS) os dados do MSS. O gerador de teste fornece o sinal MSS de

teste que modula uma fonte FM, para verificar o funcionamento de todo o sistema. Atualmente com a aquisição de um "pacote" chamado 'Data Formatter' é possível a visualização das imagens, ainda sem correções, mediante o 'Quick Look Monitor' (QLM na Fig. B.1).

B.3.1.f - Gravador do sinal MSS.

O sinal de gravação é completamente compatível com aquele usado pela NASA nos E.U.A.

B.3.1.g - Processador de vídeo e separador de sincronismo.

Esta unidade processa o sinal de vídeo RBV para permitir a gravação e visualização ('quick look') das imagens no QLM.

B.3.1.h - Gravador do sinal RBV.

Este gravador é da RCA do tipo TR-70-Cur-3E, é uma versão modificada do gravador comercial TR-70.

Este aparelho pode usar fitas que vêm em comprimentos de 1.200, 2.400, 3.600, 4.800 ou 5.600 pés; em termos de tempo de gravação os comprimentos são equivalentes a 738, 1.476, 2.214, 2.952 ou 3.444 segundos.

B.3.2 - Equipamento USB ('Upper Size Band').

B.3.2.a - Demodulador PCM (597/768 KHz).

Este demodulador, demodula as informações nas subportadoras 597/768 KHz. Este demodulador PSK recebe o sinal de telemetria em tempo real de 1000 bps na subportadora de 768 KHz. Pode também receber o sinal de telemetria armazenado no satélite a 24 Kbits/seg na subportadora de 597 KHz.

B.3.2.b - Sincronizador de bits USB.

Esta unidade proporciona a sincronização dos dados de telemetria PCM para posterior gravação.

B.3.2.c - Sistema de gravação para os sinais do enlace USB.

Os dados de telemetria PCM são gravados no gravador de PCM 3960 da Hewlett Packard (HP).

Estes sinais poderão ser gravados em um dos canais do gravador Ampex FR-1928.

B.3.3 - Outros equipamentos.

B.3.3.a - Geradores de teste RBV, MSS e PCM.

As funções destes equipamentos são as seguintes:

- Gerar os sinais de teste para simulação dos sinais do MSS, RBV e PCM;
- Gerar e simular o espectro de ruído que pode ser combinado com os sinais de testes, para simular a recepção dos sinais do satélite.

B.3.3.b - 'Quick Look Monitor' (OLM).

Este dispositivo permite uma visualização rápida das 3 câmeras do RBV. Aceita também os sinais fornecidos pela unidade geradora de teste RBV.

O OLM permite a visualização num tubo de raios catódicos dos dados RBV e do sinal de teste do RBV para avaliação das características do sistema. Está equipado com uma câmera que fotografa continuamente as imagens das 3 câmeras do RBV. Mediante o 'Data Formatter' será possível monitorar no OLM as imagens MSS também.

B.3.3.c - Fonte do sinal FM para teste.

Este é um dispositivo gerador de sinais de precisão na faixa de 2.200 a 2.300 MHz. A saída pode ser contínua ou modulada pelo sinal fornecido pelo gerador de teste do RBV, pelo sinal de teste do MSS ou pelo sinal de teste PCM.

O gerador de teste RBV fornece o sinal de vídeo-teste (0 a 3.5 MHz) para controle do equipamento de recepção e gravação do

sinal RBV.

O gerador de teste do MSS fornece o sinal de 15 Mbps para controle do equipamento de recepção e gravação do sinal MSS.

O gerador de teste PCM fornece o sinal de teste de telemetria PCM. Estes sinais modulam o sinal de FM de teste; este sinal modulado é injetado na entrada de um dipolo montado no vértice da parábola, para teste do alimentador, amplificador paramétrico e posteriormente para os circuitos de recepção e gravação para avaliar as condições de operação do sistema completo.

APÊNDICE C : SISTEMAS DE PROCESSAMENTO DE DADOS DE SATÉLITES

Figura C.1 : A figura C.1 é uma tabela mostrando algumas características dos sistemas de processamento de dados para satélites atualmente disponíveis. A tabela estende-se pelas próximas 7 páginas. Esta tabela é um resumo dos estudos feitos por Teicholz em /TEICE78/.

<u>Fabricante</u>	Bendix	Comtal	Control Data	Electromagnetic System Laboratory
Nome do modelo.	M-DAS	Vision I	Cyber-Ikon	IDIMS II
No. instala-lado.	4	40	novo produto	9
Processador	DEC PDP-11/35 ou 70	DEC ISI-11	Cyber 18/20	H-P 3000 II
Processador de 'array'?	Disponível	Não	Disponível	Disponível
Monitor a cores.	320 x 240 ou 512 x 512	512 x 512 ou 1024 x 1024	640 x 250 Display somente	512 x 512 Display somente
Terminais interativos.	Até 4	1 terminal alpha	1 display a cores	Até 10
<u>Hardware</u>				
Memória.	28K a 1 MByte	16K palavras	292K palavras	128K palavras
Disco	1,2M palavras	Sem disco (ROM)	2 de 50MB	300MB
Fitas	2 de 800 ou 1.600 bpi	2 de 800 ou 1.600 bpi	2 de 800 ou 1.600 bpi	2 de 800 bpi
Suporta fita em 10.000bpi?	Sim	Não	Sim	Não

Continuação da tabela anterior

<u>Hardware</u> (cont.)	Bendix	Comtal	Control Data	Electromagnetic System Laboratory
Entrada em filme?	Suportado	Suportado	Suportado	Suportado
Saída em filme?	Suportado	Suportado	Suportado	Suportado
<u>Software</u>				
Nível de su <u>porte</u> .	Médio	Baixo	Médio	Alto
Gerente de Data Base.	Disponível	Sem Data Base	Sem Data Base	Gerência de arquivos para cada usuário.
<u>Processamento</u> .				
Simultâneo	16 bandas por software.	3 bandas por software.	4 bandas por hardware.	Qualquer número por software.
Display si <u>multâneo</u> .	16 bandas	8 bandas	16 bandas	qualquer número.
Pesquisa si <u>multânea</u> em:	49 parâmetros	4 parâmetros	256 parâmetros	180 parâmetros
Interface com IBM.	Utilização média.	Utilização média.	Disponível com IBM/370.	Disponível com IBM/370.

continuação da tabela anterior

	Bendix	Comtal	Control Data	Electromagnetic System Laboratory
<u>Vantagens</u>	<p>Aceita dados colhidos por avião</p> <p>Bom suporte e treinamento</p> <p>Bom custo/performance</p>	<p>Altamente inteira-tivo</p> <p>Alta qualidade de imagem</p> <p>Baixo custo</p>	<p>Alta capacidade</p> <p>Bom potencial de crescimento</p> <p>'overlay' no vídeo</p> <p>Terminal programável</p>	<p>Boa flexibilidade</p> <p>Bom potencial de crescimento</p> <p>Bom suporte de Data Base</p>
<u>Desvantagens</u>	<p>Pequeno</p> <p>Baixo potencial de crescimento</p>	<p>Sem potencial de crescimento</p> <p>Software limitado</p>	<p>Software limitado</p> <p>Ainda não experimentado</p>	<p>Orientação militar</p>
Preço básico em dólares	300.000 a 700.000	100.000 a 215.000	1,3 milhões	225.000 a 750.000

Continuação da tabela anterior

<u>Fabricante</u>	General Electric	IBM	International Imaging Systems
Nome do modelo.	DIPS	ER-MAN II	System 101
No. instalado.	11	4	3
Processador	DEC PDP-11/35 ou 70	IBM 370	HP 3000 II
Processador de 'array'?	Disponível	Disponível	Disponível
Monitor a cores.	512 x 512	512 x 512	512 x 512
Terminais interativos.	Até 4	1	Até 17
<u>Hardware</u>			
Memória	256K palavras	350KB	256KB
Disco	2 de 85M palavras.	30MB	50MB
Fitas	2 de 800 ou 1.600 bpi	1 a 4 de 800 ou 1.600 bpi	2 de 1.600 bpi

Continuação da tabela anterior

<u>Hardware</u> (cont.)	General Electric	IBM	International Imaging System
Suporta fita em 10.000 bpi?	Sim	Não	Sim
Entrada em filme?	Sim	Não	Sim
Saída em filme?	Sim	Sim	Sim
<u>Software</u>			
Nível de su- porte.	Alto	Alto	Alto
Gerente de Data Base.	Sem Data Base.	Interface com 3850 IBM	Gerência de ar- quivo para cada usuário.
<u>Processamen- to.</u>			
Simultâneo	5 bandas por hardware / 16 por software.	Qualquer número de bandas por software.	19 bandas por hardware / 36 por software.
Display si- multâneo.	5 bandas	30 bandas	14 bandas

Continuação da tabela anterior

<u>Processamento.</u>	General Electric	IBM	International Imaging Systems
Pesquisa simultânea em:	8 parâmetros	60 parâmetros	64 parâmetros
Interface com IBM	Utilização média	Roda em 370	Utilização média
<u>Vantagens</u>	Software extenso so Muitos usuários os 'overlay' no vídeo Bom treinamento/suporte	Software de baixo custo Boa biblioteca de software	Terminal programável Software extenso 'overlay' no vídeo Bom potencial de crescimento
<u>Desvantagens</u>	Bandas limitadas Pequeno e caro	Depende de Hard. IBM Usado somente pela IBM até aqui	Companhia pequena

Continuação da tabela anterior

	General Electric	IBM	International Imaging Systems	
Preço básico em dólares.	350.000 a 4 milhões	55.200 somente software.	275.000 a 750.000.	

BIBLIOGRAFIA

- AMINA77 AMIN, Ashok K. ;
An Algorithm for Grey-Level Transformation in Digitized Images;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-26, no. 11, november 1977, pp. 1158 - 1161.
- ANDRH72 ANDREWS, Harry C. ;
Introduction to Mathematical Techniques in Pattern Recognition;
John Wiley & Sons, Inc., New York, 1977.
- ANDRH77 ANDREWS, Harry C. ;
Digital Image Restoration;
Prentice Hall, Inc., New York, 1977.
- BARNG68 BARNES, G. ;
The ILLIAC IV Computer;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-17, no. 8, august 1968, pp. 746 - 757.
- BARRA79 BARRED, Alan S. ;
Computer-Assisted Image Processing;
Digital Designs, january 1979, pp. 35 - 38.
- BATCK80 BATCHER, Kenneth E. ;
Design of a Massively Parallel Processor;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-29, no. 9, september 1980, pp. 836 - 840.
- BAUEM76 BAUER, Marvin E. ;
Technological Basis and Applications of Remote Sensing of the Earth's Resources;
IEEE Trans. on Geoscience Eletronics, Vol. GE-14, no. 1, january 1976, pp. 3 - 9.
- BECKP74 BECKER, Peter W. ;
Recognition of Patterns;
Academic Press, 1974.

- BELKN72 BELKNAP, N. J.;
A Comparison of Techniques for the Classification of
Low Resolution Satellite Imagery;
Technical Report, University of Maryland, Computer Sci-
ence Center, december 1972.
- BELOA72 BELOW, Albert E., John M. Miller;
Remote Sensing by Satellite: Applications to the Alas-
kan Environment and Resources;
Annual Report, 1972 - 73, Geophysical Institute, Uni-
versity of Alaskan, Fairbanks.
- BLADK80 BLADH, K., Mikael Jern;
A Color Plotter System and its Applications in Geosci-
ence;
IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-
18, no. 3, july 1980, pp. 256 - 263.
- BLANL80 BLANCHARD, L. E., Oscar Weinstein;
Design Challenges of Thematic Mapper;
IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-
18, no. 2, april 1980, pp. 146 - 160.
- BRIBE79 BRIBIESCA, Ernesto, Adolfo Gúzman;
Shape Description and Shap Similarity Measurement for
Two Dimensional Regions;
Geo-Processing, 1(1979), pp. 129 - 144, (Ersèrier, Ams-
terdan).
- BRIGF79 BRIGGS, Fayê A., King-Sun Fu, Kai Hwang, Janak H. P.;
PM⁴- A Reconfigurable Multiprocessor System for Pattern
Recognition and Image Processing;
AFIPS, 1979, pp. 255 - 265.
- CHIEY67 CHIEN, Y. T., K. S. Fu;
On the Generalized Karhunan-Loève Expansion;
IEEE Trans. on Information Theory, Vol. IT-3, july
1967, pp. 518 - 520.
- CNPQ*78 ~~~~~;
- CNPQ*80 O Programa de produção de Imagens LANDSAT;
Instituto de Pesquisas Espaciais, folheto explicativo
do programa, 1978 e 1980.

- CONN80 CONNERS, Richard W., Charles A. Harlow;
A Theoretical Comparison of Texture Algorithms;
IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-2, no. 3, may 1980, pp. 204 - 222.
- DEERV72 DEER, V. E.;
Remote Sensing of Trophosphere
Academic Press, 1972, pp. 26.1 - 26.44.
- DIAZM75 DIAZ, Maximiliano;
Un Algoritmo para la classification de Pixels Parciales en Aplicaciones de Percepcion Remota;
Comunicaciones Técnicas, UNAM - Mexico, Vol. 6, no. 117, 1975.
- FENNR77 FENNEL, R. D., Victor R. Lesser;
Parallelism in Artificial Intelligence Problem Solving: A Case Study of Hearsay II;
IEEE Trans. On Computers, february 1977, pp. 98-111.
- FINNC77 FINNILA, Charles A., Hubbert H. Love, Jr.;
The Associative Linear Array Processors;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-26, no. 2, february 1977, pp. 112 - 125.
- FOREC79 FORESTI, Celina;
Estimativas Populacionais e de Crescimento de Áreas Urbanas no Estado de São Paulo, com utilização de imagens LANDSAT;
Tese de M. Sc., INPE, S. J. dos Campos, 1978.
- FU**K69 FU, K. S., D. A. Landgrebe;
Information Processing of Remotely Sensed Agricultural Data;
Proceedings of IEEE, Vol. 57, april 1969, pp. 639-653.
- FU**K76 FU, K. S.;
Pattern Recognition in Remote Sensing of the Earth's Resources;
IEEE Trans. on Geoscience Electronics, Vol. GE-14, no. 1, january 1976, pp. 10 - 18.

- GRASA69 GRASSELLI, A.;
Automatic Interpretation and Classification of Images;
 Academic Press, New York, 1969.
- GUERV75 GUERRA, Victor;
 Classificacion por Computadora de Imagenes del Satéli
 te en Valle del México;
Comunicaciones Técnicas, vol. 6, no. 110, 1975, UNAM,
 México.
- GUZMA76 GÚZMAN, Adolfo;
 Computer Analysis of LANDSAT Images for Group Identi
 fication in Mexico;
Comunicaciones Técnicas, Vol. 7, no. 135, 1976, UNAM,
 México.
- HORAJ78 HORAM, John J.;
 Nimbus: The Vanguard of Remote Sensing;
IEEE Spectrum, november 1978, pp. 36 - 43.
- HUMMR74 HUMMEL, Robert;
 Histogram Modification Techniques;
Technical Report, Computer Science Center, University
 of Maryland, september 1974.
- HUMMR75 HUMMEL, Robert;
 Image Enhancement by Histogram Transformation;
Technical Report, Computer Science Center, University
 of Maryland, september 1975.
- HUNTE75 HUNT, Earl B.;
Artificial Intelligence;
 Academic Press, 1975.
- INPE*72 _____;
 Estação de Rastreo, Recepção e Processamento para Sat
 élites de Recursos Terrestres;
Relatório Técnico, INPE-188-LAFE, março 1972.
- INPE*73 _____;
 Estações Brasileiras de Aquisição e Processamento de
 Dados LANDSAT;
Relatório Técnico, INPE-406-LAFE, novembro 1973.

- KANAL72 KANAL, Loveen N.;
Interactive Pattern Analysis on Classification System:
A Survey and Comentary;
Proceedings of IEEE, Vol. 60, no. 10, October 1972 ,
pp. 1200 - 1215.
- KRITM79 KRITIKOS, M. M., J. Shine;
Microwave Sensing from Orbit;
IEEE Spectrum, august 1979, pp. 34 - 41.
- LANDD79 LANDGREBE, David;
Monitoring the Earth's Resources From Space - Can you
Really Identify Crops by Satellite?;
AFIPS, 1979, pp. 233 - 241.
- LEE*J80 LEE, Jong-Sen;
Digital Image Enhancement an Noise Filtering by Use of
Local Statistics;
IEEE Trans. on Pattern Recognition and Machine Intelli
gence, Vol. PAMI-2, march 1980, pp. 165 - 168.
- LEVYH70 LEVY, Harold H.;
Earth Resource Technology Satellite: NASA Data-Process
ing Facility;
IEEE Trans. on Geoscience Electronics, october 1970,
Vol. GE-8, no. 4, pp. 348 - 352.
- LIPOG77 LIPOVSKI, G. J.;
On a Varistructured Array of Microprocessors;
IEEE Trans. on Computers, february 1977, pp. 125 - 138.
- MENDJ70 Mendel, J. M., K. S. Fu;
Adaptative, Learning and Pattern Recognition System :
Theory and Applications;
Academic Press, New York, 1970.
- MILGD77 MILGRAM, David L.;
Adaptative Techniques for Photomosaicking;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-26, no. 11, november
1977, pp. 1175 - 1180.
- MITCO77 MITCHELL, O. R., E. J. Delp, P. L. Chen;
Filtering to Remove Cloud Cover in Satellite Imagery;
IEEE Trans. on Geoscience Electronics, Vol. GE-15, no.
3, july 1977, pp. 137 - 141.

- MYERW78 MYERS, Wave;
Studying the Ocean from Space;
Computer, august 1978, pp. 68 - 75.
- NAGYG72 NAGY, George;
Digital Image-Processing Activities in Remote Sensing
for Earth Resource;
Proceedings of IEEE, Special Issue on Digital Pattern
Recognition, Vol. 60, no. 10, october 1972, pp. 1177-
1200.
- NAREP80 NARENDRA, P. M., M. Goldberg;
Image Segmentation with Direct Trees;
IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligen
ce, Vol. PAMI-2, no. 2, march 1980, pp. 185 - 191.
- NIERM77 NIERO, Madalena;
Utilização de dados orbitais do LANDSAT-1 na Classifi
cação do uso do solo urbano de S. J. dos Campos;
Tese de M. Sc, INPE, S. J. dos Campos, 1977.
- NILSN65 NILSSON, Nils J.;
Learning Machines;
McGraw-Hill Book Company, New York, 1965.
- OPPEA78 OPPENHEIN, Alan V., editor;
Application of Digital Signal Processing;
Prentice-Hall Inc., 1978.
- PATRE72 PATRICK, E. A.;
Fundamentals of Pattern Recognition;
Prentice-Hall Inc., 1972.
- RAMAH77 RAMAPRIYAN, H. K.;
Data Handling for the Geometric Correction of Large
Images;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-26, no. 11, november.
1977, pp. 1163 - 1167.
- REDD\$78 REDDI, S. S., E. A. Feustil;
A Reestructurable Computer System;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-27, January 1978, pp.
1 - 20.

- RIFMS76 RIFMAN, S. S.;
Experimental Study of Digital Image Processing Techniques for LANDSAT Data;
Technical Report, January 1976.
- ROSEA69 ROSENFELD, A.;
Picture Processing by Computer;
Academic Press, New York, 1969.
- ROSEA76 ROSENFELD, A.; Avinash C. Kak;
Digital Picture Processing;
Academic Press, New York, 1976.
- SALOV80 SALOMONSON, V. V., Pierce L. S., Archibald B. Park;
William C. Webb, Thomas J. Lynch;
An Overview of Progress in the Design and Implementation of LANDSAT-D System;
IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing;
Vol. GE-18, no. 2, April 1980, pp. 137 - 146.
- SANTA77 SANTOS, Armando Pacheco dos, Evelyn Márcia Leão;
Uso de Dados LANDSAT-1 na Implantação, Controle e Acompanhamento de Projetos Agropecuários no Sudeste da Amazônia Legal;
Tese de M. Sc., INPE, S. J. dos Campos, 1977.
- SECOR75 SECO, Rosa;
Detección por Computadora de Cuerpos de Agua en Fotografías del valle del México Tomadas desde el Satélite LANDSAT;
Comunicaciones Técnicas, Vol. 6, no. 112, 1975.
- SIEGH77 SIEGEL, H. J.;
Analysis Techniques for SIMD Machine: Interconnection Network and Effects of Processor Address Masks;
IEEE Trans. on Computers, February 1977, pp. 153-161.
- SIEGH80 SIEGEL, H. J.;
The Theory Underlying the Partitioning of Permutation Networks;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-29, no. 9, September 1980, pp. 791 - 801.

- SILVJ78 SILVA, Jorge Xavier da;
A Geocodificação de Informações Ambientais do Projeto
RADAM-Brasil;
Revista Brasileira de Cartografia, no. 26, pp. 38-
43, 1978.
- SMITS79 SMITH, S. P.;
Graphic Input of Weather Data;
Byte, a Mc-Graw Hill Publication, Vol. 4, no. 7, july
1979, pp. 16 - 30.
- SKLAJ80 SKLANSKY, Jack, Leo Michelotti;
Locally Trained Piecewise linear Classifiers;
IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligen
ce, Vol. PAMI-2, no.2, march 1980, pp. 101. - 111.
- SWAIP77 SWAIN, Philip H., Hans Hauska;
The Decision Tree Classifier: Design and Potencial;
IEEE Trans. on Geoscience Electronics, Vol. GE-15, no.
3, july 1977, pp. 142 - 147.
- TEICE78 TEICHOLZ, Eric;
Processing Satellite Data;
Datamation, june 1978, pp. 117 - 132.
- THERC75 THERRIEN, C. W.;
Eigen Value Properties of Projection Operators and
their Application to the Subspace Method of feature se
lection;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-24, no. 9, september
1975, pp. 944 - 948.
- THURK76 THURBER, K. J.;
Large Scale Computer Architecture;
Hayden Book Co., 1976.
- TOU*J74 TOU, J. T., R. C. Gonzalez;
Pattern Recognition Principles;
Academic Press, 1974.
- VOORD78 VOORHIS, David C., Thomas H. Morrin;
Memory System for Image Processing;
IEEE Trans. on Computers, Vol. C-27, no. 2, february
1978, pp. 113 - 125.

- VORGK76 VORGRINMLER, K.;
Enhancement of Computing Power in Multiprocessor System for Processing of Digitized Pictures;
Proceedings of the 1976 International Conference on parallel Processing, 1976, pp. 11 - 17.
- WIE*P77 WIE, Peter Van, Mauricie Stein;
A LANDSAT Image Rectification System (DIRS);
IEEE Trans. on Geoscience Electronics, Vol. GE-15, no. 5, july 1977, pp. 130 - 137.
- WOMEJ71 WOMER, J. D., B. D. Fritchman, L. N. Kanal;
Performance of Optmun Detector Structure for noisy Intersymbol Interference Channels;
Technical Report, july 1971, University of Maryland.

INDICE POR ASSUNTO

A

A/D, CONVERSOR 32,36
 AARL 140
 ADVANCED AUTOMATION RESEARCH LABORATORY (VER AARL)
 AFFINE TRANSFORMATION 36
 AGLOMERACAO, PARAMETRO DE 99
 AGRICOLA, CAMPO 103
 AGRUPAMENTO, ALGORITMO DE 103,104,129
 AGRUPAMENTO, ALGORITMO DE 65,66,87,88,92,93
 AGRUPAMENTO, CENTRO DE 93,95-99,135
 AGRUPAMENTO, CLASSIFICACAO POR ANALISE DE 67
 AGRUPAMENTO, CONCEITO DE 62,63
 AGRUPAMENTO, CRITERIOS DE 87,90
 AGRUPAMENTO, DOMINIO DE 99
 AGRUPAMENTO, PROPRIEDADES DE 59
 AGRUPAMENTOS 52,55
 AGRUPAMENTOS, BUSCA DE 94
 AJUSTAR AS COORDENADAS 75
 ALGODAO 26
 ALGORITMO DE DECISAO 53,54
 ALGORITMO ISODATA 92,98
 ALGORITMO K-MEDIO 92,97
 ALGORITMO PARA SEPARACAO 77
 ALGORITMOS DE AGRUPAMENTO 65,66,87,88,92,93,103,104,129
 ALGORITMOS DE CLASSIFICACAO 65,66,87,88,103,104
 ALGORITMOS DE DISTANCIA MAX-MIN 95,96,92
 ALGORITMOS DE SERVICOS GERAIS 67
 ALGORITMOS PARA CORRECAO DE DADOS 65,66
 ALGORITMOS PARA SEPARACAO DA MELHOR REPRESENTACAO 65,66
 ALGORITMOS PARA TRATAMENTO DE DADOS 65,66
 ALIMENTACAO DA ANTENA 176
 ALTITUDE 16,72
 AMBIENTE NATURAL 21
 AMONTOAMENTO, PROCESSO DE 102
 ANALISE COM COMPUTADOR 22,47
 ANALISE DE AGRUPAMENTO, CLASSIFICACAO POR 67
 ANALISE DIRETA 47
 ANALISE MULTIESPECTRAL 18
 ANALISE, METODE DE 47
 ANOMALIAS DE ORBITA 36
 ANOMALIAS NA GEOMETRIA DA IMAGEM 67
 ANTENA, ALIMENTACAO DA 176
 ANTENA, SUBSISTEMA DE 27
 APLICACOES DE LANDSAT 39
 APOLLO-9 8
 APROXIMACAO LINGUISTICA 63
 APROXIMACAO SINTATICA 63,64
 ARQUITETURA DE PM4 142,144
 ARRAY BIDIMENSIONAL 121
 ARRAY DE PIXELS 74,76,139
 ARRAY PARALELO, PROCESSADOR DE 115,119,122,139
 ARRAY, PROCESSADOR DE 50
 ARVORE DIRECIONADA 130,132,133,136
 ASPECTO, TAXA DE 34,70
 ATMOSFERICAS, EFEITOS 34
 ATRASO DO SENSOR 36,75

ATRIBUICAO DOS MODULOS 115
 ATUACAO MSS, FAIXA DE 11
 AUTOMATICA, CORRECAO 69
 AUTOMATICO, RASTREIO 27
 AUTOMATICO, RECONHECIMENTO 59,61,63
 AUTOMATICOS, METODOS 88,89

B

BAIJA DE GUANABARA 19
 BANCO DE IMAGENS 118
 BANDA ESPECTRAL 11
 BANDA LARGA, GRAVADORES DE 9,15
 BANDAS, FREQUENCIA DAS 11
 BAYES, CLASSIFICADOR DE 104,106,108
 BIBLIOGRAFIA 190FF
 BIDIMENSIONAIS DO MINIMO-QUADRADO 68,71
 BITS MSS, SINCRONIZADOR DE 178
 BITS USB, SINCRONIZADOR DE 180
 BLOCOS, DIAGRAMA DE 48,67,114
 BRASILEIRO, FUTURO 159
 BRASILIA 20
 BUFFER DE REQUISICAO DE LINHA (VER LRB)
 BUSCA DE AGRUPAMENTOS 94

C

CACHE, MEMORIA 143
 CACHOEIRA PAULISTA 25,30,48,49,50,113
 CALCULO DAS COORDENADAS 68,74
 CALIBRACAO 1
 CALIBRACAO, DADOS DE 116,117
 CAMERA COM FILTROS 8
 CAMERA DE TELEVISAO 11,22
 CAMERAS RBV 9,13
 CAMPO AGRICOLA 103
 CAMPO INSTANTANEO DE VISAO (VER IFOV)
 CAMPO, CLASSIFICACAO POR 67,103,104
 CAMPOS AGRICOLAS, CLASSIFICACAO DE 91,92
 CARACTERISTICAS DE SENSORES MSS 12,14
 CARACTERISTICAS DIVERSAS 12
 CARACTERISTICAS DO LANDSAT 9,160,161
 CARACTERISTICAS DOS GRAVADORES 12,15
 CARACTERISTICAS DOS MICROPROCESSADORES 170
 CARACTERISTICAS DOS SENSORES RBV 12,13
 CARACTERISTICAS ESPECTRAIS 23
 CARACTERISTICAS SIMILARES 61
 CARACTERISTICAS, CASAMENTO DE 61
 CARACTERISTICAS, ESPACO DE 53-55,85
 CARACTERISTICAS, EXTRACAO DE 53
 CARACTERISTICAS, SELECAO DE 65,77,78,84
 CARACTERISTICAS, SUBESPACO DE 86
 CARACTERIZACAO DOS ESPACOS 56
 CASAMENTO DE CARACTERISTICAS 61
 CASAMENTO DE FORMAS 59
 CATEGORIAS DE DISTORCOES 33
 CCT 47
 CENA LANDSAT 64
 CENTRALIZACAO DO PROCESSO 153
 CENTRO DE AGRUPAMENTO 93,95,96,97,98,99,135

- CENTRO DE CLASSE 135
 CENTRO DE JANELAS 122,123
 CENTRO DE PIXELS 74
 CICLO REPETITIVO 12
 CICLO, DURACAO DO 16
 CICLOS DIRECIONADOS 134
 CIENCIA MARINHA 40
 CINZA, ESCALA DE 17
 CINZA, TONS DE 82
 CLASSE 91,93,103,106,130
 CLASSE DE PADROES 52,55,59,65
 CLASSE, CENTRO DE 135
 CLASSES, DISTRIBUICAO DAS 105
 CLASSES, SEPARACAO DE 77
 CLASSIFICACAO 105
 CLASSIFICACAO DE CAMPOS AGRICULAS 91,92
 CLASSIFICACAO DOS DADOS 22,47,50
 CLASSIFICACAO POR ANALISE DE AGRUPAMENTO 67
 CLASSIFICACAO POR CAMPO 67,103,104
 CLASSIFICACAO POR COMPUTADOR 49
 CLASSIFICACAO POR PROCEDIMENTO DE PARTICIONAMENTO 67
 CLASSIFICACAO, ALGORITMO DE 65,66,87,88,103,104
 CLASSIFICACAO, ESPACO DE 53,55,105
 CLASSIFICACAO, PROCESSO DE 67
 CLASSIFICACAO, REGRAS DE 63
 CLASSIFICACAO, TABELA DE 96
 CLASSIFICADOR 93
 CLASSIFICADOR DE BAYES 104,106,108
 CLASSIFICADOR DE MAXIMA PROBABILIDADE 104,106
 CLUSTER MATCHING 93
 CLUSTERING 62,87
 COBERTURA 159
 COBERTURA DE FAIXAS 12
 COBERTURA, MAPA DE 30,31
 COBERTURA, PROBLEMAS DE 30
 COLETA DE DADOS DCS 9
 COLETA DE DADOS, SISTEMA DE 9
 COLORIDA, IMAGEM 22,49
 COLORIDAS, COPIAS 119
 COMPATIBLE COMPUTER TAPE (VER CCT)
 COMPLEXIDADE DO SISTEMA 157
 COMPONENTES DO PM4 143
 COMPORTAMENTO DE SATELITE 36,116,117
 COMPORTAMENTO, MODELO DE 68,72
 COMPOSICAO A CORES 17
 COMPRESSAO DOS PIXELS 34
 COMPRIMENTO DA FITA 15
 COMPUTADOR COMO FERRAMENTA 50
 COMPUTADOR, ANALISE COM 22,47
 COMPUTADOR, CLASSIFICACAO POR 49
 COMPUTADOR, PROCESSAMENTO COM 114
 COMPUTER TAPE, COMPATIBLE (VER CCT)
 COMUNICACAO, DISTORCOES POR PROBLEMAS DE 37
 COMUNICACAO, SISTEMA DE 38
 COMUNS, PROPRIEDADES 59,61-63
 CONCEITO DE AGRUPAMENTO 62,63
 CONCEITOS DE PROJETOS 59
 CONECTIVIDADE, OPERADOR DE 130
 CONTIGUA, IMAGEM 129
 CONTINUAS GLOBAIS, DISTORCOES 33,75
 CONTORNO 80,83
 CONTRASTE, REALCE DE 120
 CONTROLE AUXILIARES, PONTOS DE 72
 CONTROLE DE VETORES 143
 CONVERSAO DE FILTROS 50
 CONVERSOR A/D 32,36
 CONVERSOR DE BAIXA FREQUENCIA 178
 CONVOLUCAO CUBICA 74,75,76
 COORDENACAO DO PROCESSO 25
 COORDENADAS 71
 COORDENADAS AO LESTE 71,73
 COORDENADAS AO NORTE 71,73
 COORDENADAS, AJUSTAR AS 75
 COORDENADAS, CALCULO DAS 68,74
 COORDENATES EASTING 71
 COORDENATES NORTHING 71,73
 COPIAS COLORIDAS 119
 CORES, COMPOSICAO A 17
 CORRECAO AUTOMATICA 69
 CORRECAO DA MEDIA LOCAL 81
 CORRECAO DE DADOS 32
 CORRECAO DE DADOS, TECNICAS DE 67
 CORRECAO FOTOMETRICA 82
 CORRECAO MANUAL 69
 CORRECAO POR CORRELACAO 69
 CORRELACAO 93
 CORRELACAO DE DADOS, ALGORITMOS PARA 65,66
 CORRELACAO DOS GCP'S 69
 CORRELACAO, CORRECAO POR 69
 CORRELACAO, FUNCAO DE 105
 CORRELACAO, MATRIZ DE 85
 CORRIGIDA, IMAGEM 67,68
 CPP 170
 CRITERIOS DE AGRUPAMENTO 87,90
 CUIADA 2,25,28,30,31,48,50,113
 CUMULATIVAS, DISTORCOES 75
 CURRENT PROCESS POINTER 170
 CUSTO DE SISTEMA 157
 CUSTO OPERACIONAL 84
- D
- DADO, REPRESENTACAO DO 57,58
 DADOS DCS, COLETA DE 9
 DADOS DE CALIBRACAO 116,117
 DADOS DE ORBITA 116,117
 DADOS DE SATELITE, SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE 182FF
 DADOS DE TELEMETRIA 27,29
 DADOS LANDSAT 25,62,87,89,103,114
 DADOS, CLASSIFICACAO DE 22,47,50
 DADOS, CORRECAO DE 32
 DADOS, FLUXO DE 114
 DADOS, GRAVACAO DE 176
 DADOS, INTERPRETACAO DE 137
 DADOS, METODOS DE TRATAMENTO DE 42FF,51
 DADOS, MONITORACAO DE 25
 DADOS, RECEBIMENTO DOS 114
 DADOS, RECEPCAO DE 25,28,176
 DADOS, REGISTRO DE 25
 DADOS, SISTEMA DE COLETA DE 9

DADOS, TECNICAS DE CORRECAO DE 67
 DADOS, TRANSMISSAO DE 25,39
 DADOS, TRATAMENTO DE 25
 DATA COLLECTION PLATFORM (VER DCP)
 DATA COLLECTION SYSTEM (VER DCS)
 DATA GRID 33
 DCP 9
 DCS 9,30
 DECISAO 105
 DECISAO, ALGORITMO DE 53,54
 DECISAO, ESPACO DE 54
 DECISAO, FUNCAO DE 93
 DECISAO, REGRAS DE 63
 DECISAO, RISCOS DE 107
 DEFINICAO DOS ESPACOS 53
 DELTA, MALHA 173
 DEMODULACAO DO SINAL 116,117
 DEMODULADOR PCM 179
 DEMULTIPLEXADOR 178
 DENSIDADE DE GRAVACAO 50
 DENSIDADE, FUNCAO 106,107
 DESCRICAO DOS MODULOS 115
 DETALHES DE PM4 167
 DETECAO DE FRONTEIRAS 129
 DETECAO DE REGIOES 129
 DETECTOR 14
 DEVIDO PADRAO, PARAMETRO DE 99
 DIAGRAMA DE BLOCOS 48,67,114
 DIFRATADA, LUZ 21
 DILATACAO DOS PIXELS 34
 DIMENSAO DE ESPACO 53
 DIMENSIONALIDADE, REDUCAO DE 53,54
 DIRECAO, MUDANCA DE 72
 DISTANCIA ENTRE TRAJETORIAS ADJACENTES 16
 DISTANCIA EUCLIDIANA 91,95
 DISTANCIA FOCAL 13
 DISTANCIA MAX-MIN, ALGORITMO DE 92,95,96
 DISTANCIA MINIMA 91,92
 DISTANCIA, FUNCOES DE 87,89,92
 DISTRORCOES CONTINUAS GLOBAIS 33,75
 DISTRORCOES CUMULATIVAS 75
 DISTRORCOES DE FAIXA CONTINUA 33,75
 DISTRORCOES DE FAIXA DESCONTINUA 33,75,76
 DISTRORCOES DEVIDO A OPERACAO DO SENSOR 34
 DISTRORCOES ESPACIAIS DESCONTINUAS 75
 DISTRORCOES FOTOMETRICAS 33,39
 DISTRORCOES GEOMETRICAS 67
 DISTRORCOES POR PROBLEMAS DE COMUNICACAO 37
 DISTRORCOES POR RUÍDO 121
 DISTRORCOES, CATEGORIAS DE 33
 DISTRORCOES, FONTES DE 30
 DISTRIBUICAO DAS CLASSES 105
 DOMINIO DE AGRUPAMENTO 99
 DURACAO DO CICLO 16

E

EARTH RESOURCE TECHNOLOGY SATELLITE (VER ERTS)
 EDGE 132,134
 EDGE-OPERATOR 129,130,136

EFEITO DE ROTACAO DA TERRA 37
 EFEITOS ATMOSFERICOS 34
 EFICIENCIA DE VARREDURA 14
 EIXO DE POSICAO 12
 ELECTROMAGNETICO, ESPECTRO 18,79
 ELO DIRECIONADO 132
 ENDEREÇOS FISICOS 143
 ENDEREÇOS VIRTUAIS 143
 ENERGIA, TROCA DE 18,21
 ENLACE USB 180
 ENLACES NO LANDSAT 29
 EQUIPAMENTO USB 179
 ERRO DE REGISTRO BANDA-A-BANDA 34
 ERRO DE RUÍDO ADITIVO 39
 ERRO DE RUÍDO MULTIPLICATIVO 39
 ERRO GEOMETRICO 74
 ERRO MEDIO QUADRATICO 125
 ERRO, RISCO DE 106
 ERROS DE POSICAO 12
 ERTS 8
 ESCALA DE CINZA 17
 ESCALA, VARIACAO DE 70
 ESCALARES, OPERACOES 142
 ESPACIAL, LANCADEIRA 158
 ESPACIAL, RESOLUCAO 22
 ESPACO BIDIMENSIONAL 23
 ESPACO DE CARACTERISTICAS 53,54,55,85
 ESPACO DE CLASSIFICACAO 53,55,105
 ESPACO DE DECISAO 54
 ESPACO DE PADRAO 53,55,62
 ESPACO, DIMENSAO DE 53
 ESPACO, TRANSFORMACAO DO 57
 ESPACOS, DEFINICAO DOS 53
 ESPECTRAIS, FAIXAS 13,14
 ESPECTRAL, BANDA 11
 ESPECTRAL, INFORMACAO COMPLETA 18
 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO 18,79
 ESPELHO DO SCANNER 12
 ESPELHO, VELOCIDADE NAO-LINEAR DO 34
 ESQUEMA HEURISTICO 90,95,99
 ESTACAO DE GRAVACAO 25,28,177
 ESTACAO DE PROCESSAMENTO 25,32
 ESTACAO DE RASTREIO 177
 ESTACAO RECEPTORA 1,2,25,28,153,177
 ESTACOES TERRESTRES, LOCALIZACAO DE 10
 ESTATISTICA LOCAL 120
 ESTATISTICAS, RESULTADOS 67
 EUCLIDIANA, DISTANCIA 91,95
 EXTRACAO DE CARACTERISTICAS 53

F

FAIXA CONTINUA, DISTRORCOES DA 33,75
 FAIXA DE ATUACAO MSS 11
 FAIXA DE VIDEO, LARGURA DE 13
 FAIXA DESCONTINUA, DISTRORCOES DE 33,75,76
 FAIXA S DE FREQUENCIA 27
 FAIXA, LARGURA DE 15
 FAIXAS DE RADIACAO 11
 FAIXAS ESPECTRAIS 13,14

FAIXAS, COBERTURA DE 12
 FALSA-COR 17,18,47
 FASE DE PREPARACAO 67
 FERRAMENTA, COMPUTADOR COMO 50
 FIBRAS OTICAS, TUBOS DE 36
 FILE MANAGEMENT CONTROL UNIT (VER FMCU)
 FILTRAGEM DE IMAGENS 120
 FILTRAGEM DE KALMAN 127
 FILTRAGEM DE RUÍDO 120
 FILTRAGEM DE RUÍDO ADITIVO 124,127
 FILTRAGEM DE RUÍDO MULTIPLICATIVO 125,127
 FILTROS COLORIDOS 17
 FILTROS, CAMERA COM 8
 FILTROS, CONVERSOR DE 50
 FISICOS, ENDEREÇOS 143
 FITA, COMPRIMENTO DA 15
 FITA, LARGURA DA 15
 FITAS GRAVADAS 114
 FITAS MAGNETICAS 22
 FLORESTAS, GERENCIA DE 40
 FLUXO DE DADOS 114
 FMCU 144,146,147,172
 FOCAL, DISTANCIA 13
 FONTE DE SINAL FM 180
 FONTES DE DISTORCOES 30
 FORMA VETORIAL 52
 FORMAS, CASAMENTO DE 59
 FOTO-MOSAICOS 81
 FOTODETECTORES 12
 FOTOGRAFICO, LABORATORIO 114
 FOTOGRAFICO, PROCESSAMENTO 17
 FOTOGRAFICO, PROCESSO 18,22,49,51
 FOTOMETRICA, CORRECAO 82
 FOTOMETRICAS, DISTORCOES 33,39
 FREQUENCIA DAS BANDAS 11
 FREQUENCIA DE VARREDURA 14
 FREQUENCIA, CONVERSOR DE BAIXA 178
 FREQUENCIA, FAIXA S DE 27
 FRONTEIRAS, DETECAO DE 129
 FUNCAO DE CORRELACAO 105
 FUNCAO DE DECISAO 93
 FUNCAO DENSIDADE 106,107
 FUNCIONAMENTO 18
 FUNCOES DE DISTANCIA 87,89,92
 FUNCOES DE MAPEAMENTO 73
 FUNCOES DE MAPEAMENTO GLOBAL 68,70
 FUNCOES DE PERMUTACAO 143
 FUNCOES DE PROBABILIDADE 89,103,104
 FUTURO BRASILEIRO 159

G

GCP 36,69
 GCP'S, CORRELACAO DOS 69
 GEOGRAFICA, LONGITUDE 12
 GEOLOGIA 40
 GEOLOGY SATELLITE (VER GEOSAT)
 GEOMETRICAS, DISTORCOES 67
 GEOMETRICO, ERRO 74
 GEOSAT 8

GERADOR DE TESTE 178,180
 GERENCIA DE FLORESTAS 40
 GERENCIA DE SOLOS 40
 GERENCIAMENTO DE MEMORIA 143
 GRADE DE INTERPOLACAO 68,72,75
 GRADIENT EDGE 131,135
 GRADIENTE DE ROBERTS 83
 GRAFOS, TEORIA DE 132
 GRAMATICA DE PADROES 63
 GRAU DE INCLINACAO 72
 GRAVACAO DOS DADOS 176
 GRAVACAO DOS SINAIS 114
 GRAVACAO, DENSIDADE DE 50
 GRAVACAO, ESTACAO DE 25,28,177
 GRAVACAO, PRINCIPIOS DE 15
 GRAVACAO, SISTEMA DE 180
 GRAVACAO, SUBSISTEMA DE 27
 GRAVACAO, TEMPO DE 15
 GRAVADORES DE BANDA LARGA 9,15
 GRAVADORES, CARACTERISTICAS DE 12,15
 GROUND CONTROL POINTS (VER GCP)
 GUANABARA, BAIA DE 19

H

HEURISTICO, ESQUEMA 90,95,99
 HEURISTICOS, METODOS 62
 HIDROLOGIA 40
 HIERARQUICA, MEMORIA 143,171
 HISTOGRAMA 77,78,80
 HISTOGRAMA BIDIMENSIONAL 79
 HISTOGRAMA, INTEGRAL DO 82
 HISTOGRAMA, MODIFICACAO DO 81
 HISTOGRAMAS, TECNICAS DE 65

I

IFDV 14,34,35,160
 ILLIAC IV 139,142,154
 IMAGEM COLORIDA 22,49
 IMAGEM CONTIGUA 129
 IMAGEM CORRIGIDA 67,68
 IMAGEM DE PIXELS 123
 IMAGEM DIGITALIZADA 116,118
 IMAGEM DO SATELITE 20
 IMAGEM FORMATADA 67,68
 IMAGEM LANDSAT 129,136,138,139,147,149
 IMAGEM LANDSAT 19,20,67,84,91,110,121
 IMAGEM, MONITOR DE 116,118
 IMAGEM, PARTICIONAMENTO DA 129,130
 IMAGEM, RECONSTITUICAO DA 18,47
 IMAGENS MSS 17,65
 IMAGENS PARALELOGRAMICAS 17
 IMAGENS RBV 17
 IMAGENS, BANCO DE 118
 IMAGENS, FILTRAGEM DE 120
 IMAGENS, PROCESSAMENTO DE 52
 IMAGENS, REALCE DE 77,79,82,120
 IMAGENS, RUÍDO NAS 77
 IMAGENS, SEGMENTACAO DE 129

IMPLANTACAO, TECNICAS DE 62
 INCLINACAO DO SATELITE 70
 INCLINACAO, GRAU DE 72
 INCORRETA, RECEPCAO 37
 INDICE DE PERFORMANCE 90,91,97,98,126
 INFORMACAO ESPECTRAL COMPLETA 18
 INPE 25,159,177
 INSTALACOES 25
 INSTANTANEOUS FIELD OF VIEW (VER IFOV)
 INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (VER INPE)
 INTEGRAL DO HISTOGRAMA 82
 INTENSIDADE, RESOLUCAO DE 22
 INTENSIDADE, VALOR DE 74
 INTER PROCESSOR COMMUNICATION NETWORK (VER IPCN)
 INTERCONEXAO MEMORIA-PROCESSADOR, MALHA DE (VER PHIN)
 INTERCONEXAO, REDES DE 143
 INTERPOLACAO BILINEAR 72,74
 INTERPOLACAO POR PASSOS 73
 INTERPOLACAO, GRADE DE 68,72,75
 INTERPRETACAO DE DADOS 137
 INTERRUPCOES 170
 INTRODUCAO 1,8
 INVERSO, MAPEAMENTO 73
 IPCN 143,144,145,146,172
 ISODATA, ALGORITMO 92,98

J

JANELA 81,83,121,122,128,147,148
 JANELAS, CENTRO DE 122,123

K

K-MEDIO, ALGORITMO 92,97
 KALMAN, FILTRAGEM DE 127

L

LABORATORIO FOTOGRAFICO 114
 LACIE 139
 LANCADEIRA ESPACIAL 158
 LANDSAT 1,8,177
 LANDSAT, APLICACOES DE 39
 LANDSAT, CARACTERISTICAS DO 9
 LANDSAT, CARACTERISTICAS DO 9,160,161
 LANDSAT, CENA 64
 LANDSAT, DADOS 25,62,87,89,103,114
 LANDSAT, ENLACES NO 29
 LANDSAT, IMAGEM (VER IMAGEM LANDSAT)
 LANDSAT, SISTEMA SFF
 LANDSAT-1 8,9
 LANDSAT-2 8,9,17,20,22
 LANDSAT-3 9,17,20,22
 LANDSAT-D 158,159,160,161,162
 LARGE CROPS INVENTORY EXCHANGE (VER LACIE)
 LARGURA DA FITA 15
 LARGURA DE FAIXA 15
 LARGURA DE FAIXA DE VIDEO 13
 LEITURA, TEMPO DE 13
 LESTE, COORDENADAS AO 71,73

LIMITE DE SIMILARIDADE 93,94
 LINEARIDADE 15
 LINGUISTICA, APROXIMACAO 63
 LINHAS VARRIDAS 13
 LINHAS, REALCE DAS 81
 LM 145
 LMMU 145,146,143
 LOCAL MEMORY (VER LM)
 LOCAL MEMORY MANAGEMENT UNIT (VER LMMU)
 LOCALIZACAO DE ESTACOES TERRESTRES 10
 LOCALIZACAO DOS PONTOS DE CONTROLE 68,69
 LONGITUDE GEOGRAFICA 12
 LRB 144
 LUZ DIFRATADA 21
 LUZ REFLETIDA 21,36

M

MALHA DE INTERCONEXAO MEMORIA-PROCESSADOR (VER PHIN)
 MALHA DELTA 173
 MANUAIS, METODOS 88
 MANUAL, CORRECAO 69
 MANUAL, RASTREIO 27
 MAPA DE COBERTURA 30,31
 MAPAS TERRESTRES 116,118
 MAPEADOR TENATICO 159,160,161,162
 MAPEAMENTO 70
 MAPEAMENTO GLOBAL 75
 MAPEAMENTO GLOBAL, FUNCOES DE 68,70
 MAPEAMENTO INVERSO 73
 MAPEAMENTO LINEAR POR PARTES 71
 MAPEAMENTO, FUNCOES DE 73
 MASSIVELY PARALLEL PROCESSING (VER MPP)
 MATCHING, CLUSTER 93
 MATRIZ DE CORRELACAO 85
 MATRIZES, TRANSFORMACAO DE 121
 MAXIMA PROBABILIDADE, CLASSIFICADOR DE 104,106
 MAXIMO, SELETOR DE 108
 MEDIA LOCAL, CORRECAO DA 81
 MEDIDA DE SIMILARIDADE 90
 MEDIDAS, VETOR DE 57
 MEDIO QUADRATICO, ERRO 125
 MELHOR BANDA 79
 MELHOR REPRESENTACAO 77
 MELHOR REPRESENTACAO, ALGORITMO PARA SEPARACAO DA 65,66
 MEMBRO DO MESMO TIPO 59,62
 MEMORIA CACHE 143
 MEMORIA COMPARTILHADA (VER SH)
 MEMORIA HIERARQUICA 171,143
 MEMORIA LOCAL 146,143
 MEMORIA, GERENCIAMENTO DE 143
 MESH POINTS 73
 METEMATICOS, METODOS 63
 METODO DE ANALISE 47
 METODO DE SUBESPACO 84
 METODO DO VIZINHO MAIS PROXIMO 74,75
 METODOLOGIAS 59
 METODOS AUTOMATICOS 88,89
 METODOS DE TRATAMENTO DE DADOS 42FF,51
 METODOS HEURISTICOS 62

METODOS MANUAIS 88
 METODOS MATEMATICOS 63
 METODOS SINTATICOS 63
 METRICA DE SEPARACAO 105
 MICROS, CARACTERISTICAS DOS 170
 MILHOES DE INSTRUÇÕES POR SEGUNDO (VER MIPS)
 MILHOES DE OPERAÇÕES POR SEGUNDO (VER MOPS)
 MIMD 142,149,17,171
 MINIMO QUADRATICO PONDERADO 125
 MIPS 140
 MM 145,146
 MODELO DE COMPORTAMENTO 68,72
 MODIFICACAO DO HISTOGRAMA 81
 MODO DISTRIBUIDO 169
 MODO MISTURADO 169
 MODOS DE OPERACAO DO PM4 147
 MODULOS, ATRIBUICAO DE 115
 MODULOS, DESCRICAO DE 115
 MONITOR DE IMAGEM 116,118
 MONITOR PROCESSOR (VER MP)
 MONITORACAO DE DADOS 25
 MONITORACAO DE TRIGO 3
 MONITORACAO DOS SINAIS 115,116
 MONITORAR UMA SAFRA 25
 MOPS 141
 MP 147
 MPP 140,141,154
 MSIND 140,149,142,168
 MSS 9,11,14,27,28,29,30,32,36
 MSS 160,161,162,178,179
 MSS, SENSOR 14,17
 MUDANCA DE DIRECAO 72
 MULTIPLE INSTRUCTION, MULTIPLE DATA (VER MIMD)
 MULTIPLE SIMD (VER MSIND)
 MULTISPECTRAL SCANNER (VER MSS)
 MUNDO FISICO 53

N

NASA 30,40,140,158
 NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (VER NOAA)
 NIVEIS DE CINZA 121,147,159
 NIVEIS DE CINZA 22,52,57,77,79,81,82,83
 NOAA 8
 NODD 132
 NODO, PARENTE DE 132
 NORTE, COORDENADAS AO 71,73
 NOTACAO 132
 NOTACAO EMPREGADA 121
 NUMERO DE TAREFAS 155

O

OBJETIVO FINAL 2
 ONDULACOES NAS ORBITAS 72
 OPERACAO DO SENSOR, DISTORCOES DEVIDO A 34
 OPERACIONAL, CUSTO 84
 OPERACOES ESCALARES 142
 OPERACOES VETORIAIS 142
 OPERADOR DE CONECTIVIDADE 130

OPERADOR DE PROJECAO 85
 OPERADOR LINEAR 82
 ORBITA 9,12
 ORBITA, DADOS DE 116,117
 ORBITAIS, PARAMETROS 16
 ORBITAS, ONDULACOES NAS 72
 OSCILOSCOPIO 178
 OTICO, PROCESSO 18,22,49

P

PADRAO CONTINUO 58
 PADRAO, ESPACO DE 53,55,62
 PADRAO, VETOR 57
 PADROES ANOSTRAS 96
 PADROES DISTRIBUIDOS 96
 PADROES, CLASSE DE 52,55,59,65
 PADROES, GRAMATICA DE 63
 PADROES, RECONHECIMENTO DE 50,52-54,57
 PARALELO, PROCESSADOR 154
 PARALELOGRAMICAS, IMAGENS 17
 PARAMETRO DE AGLOMERACAO 99
 PARAMETRO DE DESVIO PADRAO 99
 PARAMETROS ORBITAIS 16
 PARENTE DE NODO 132
 PARTES, MAPEAMENTO LINEAR POR 71
 PARTICIONAMENTO DA IMAGEM 129,130
 PARTICIONAMENTO, CLASSIFICACAO POR PROCEDIMENTO DE 67
 PARTIDA, PONTOS DE 94
 PASSOS, INTERPOLACAO POR 73
 PCM 28
 PCM, DEMODULADOR 179
 PERDA, VALOR ESPERADO DE 106
 PERFORMANCE, INDICE DE 90,91,97,98,126
 PERIODO 16
 PERIODO DE REVOLUCAO 9
 PERMUTACAO, FUNCOES DE 143
 PESQUISAS ESPACIAIS, INSTITUTO DE (VER INPE)
 PICTURE ELEMENT (VER PIXEL)
 PIXEL CORRUMPIDO 128
 PIXELS 119,121,132,148
 PIXELS 3,22,24,62,73,81,83,93
 PIXELS, ARRAY DE 139
 PIXELS, CENTRO DE 74
 PIXELS, COMPRESSAO DOS 34
 PIXELS, DILATACAO DOS 34
 PIXELS, IMAGEM DE 123
 PIXELS, REPOSICIONAMENTO DOS 75
 PLOTTER 116,119
 PM4 139FF,154
 PM4, ARQUITETURA DE 142,144
 PM4, COMPONENTES DO 143
 PM4, DETALHES DO 167
 PM4, MODOS DE OPERACAO DO 147
 PMIN 144,145,146,172
 PMU 144,145,146,149,143
 POLINOMIOS BIDIMENSIONAIS 68,71
 PONTOS DE CONTROLE AUXILIARES 72
 PONTOS DE CONTROLE, LOCALIZACAO DOS 68,69
 PONTOS DE PARTIDA 94

- POSICAO DO SATELITE 72
 POSICAO, EIXO DE 12
 POSICAO, ERRO DE 12
 PREPARACAO, FASE DE 67
 PRIMITIVAS 63
 PRINCIPIO DE GRAVACAO 15
 PROBABILIDADE, CLASSIFICADOR DE MAXIMA 104,106
 PROBABILIDADE, FUNCOES DE 89,103,104
 PROBABILIDADES, TEORIA DAS 103
 PROBLEMA DOS SENSORES 57
 PROBLEMAS DE COBERTURA 30
 PROBLEMAS FUNDAMENTAIS EM PROJETOS 57
 PROCESSADOR CENTRAL 116,118
 PROCESSADOR DE ARRAY 50
 PROCESSADOR DE ARRAY PARALELO 115,119,122,139
 PROCESSADOR DE VIDEO 179
 PROCESSADOR PARALELO 154
 PROCESSADOR SEQUENCIAL 154
 PROCESSADORES 145
 PROCESSAMENTO COM COMPUTADOR 114
 PROCESSAMENTO DE IMAGENS 52
 PROCESSAMENTO DOS SINAIS 48
 PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL 110FF,115,116
 PROCESSAMENTO FOTOGRAFICO 17
 PROCESSAMENTO, ESTACAO DE 25,32
 PROCESSAMENTO, VELOCIDADE DE 155
 PROCESSO DE AMONTOAMENTO 102
 PROCESSO DE CLASSIFICACAO 67
 PROCESSO DE RECEPCAO 115
 PROCESSO DE TRATAMENTO 115
 PROCESSO FOTOGRAFICO 18,22,49,51
 PROCESSO OTICO 18,22,49
 PROCESSO, CENTRALIZACAO DO 153
 PROCESSO, COORDENACAO DO 25
 PROCESSOR MEMORY UNIT (VER PMU)
 PROGRAMADO, RASTREIO 27
 PROJECAO, OPERADOR DE 85
 PROJETOS, CONCEITOS DE 59
 PROJETOS, PROBLEMAS FUNDAMENTAIS EM 57
 PROPRIEDADES COMUNS 59,61,62,63
 PROPRIEDADES DE AGRUPAMENTO 59
 PULSE CODE MODULATION (VER PCM)
 PURDUE MULTI-MODE MULTI-MICROPROCESSADOR (VER PM4)
 PURDUE, UNIVERSIDADE DE 140
- Ω
- QLM 27,28,115,180
 QUICK LOOK MONITOR (VER QLM)
- R
- RADIACAO EMITIDAS 18,21
 RADIACAO, FAIXAS DE 11
 RAIZ 134
 RASTREIO AUTOMATICO 27
 RASTREIO DO SATELITE 25
 RASTREIO DO SCANNER 24
 RASTREIO MANUAL 27
 RASTREIO PROGRAMADO 27
 RASTREIO, ESTACAO DE 177
 RAZAO DE VARREDURA HORIZONTAL 13
 RBV 9,11,27,28,29,32,178,179
 RBV, CAMERAS 9,13
 RBV, IMAGENS 17
 REALCE DAS LINHAS 81
 REALCE DE CONTRASTE 120
 REALCE DE IMAGENS 77,79,82,120
 REAMSTRAGEM 68,74,75
 RECEBIMENTO DOS DADOS 114
 RECEPCAO DE DADOS 25,28,176
 RECEPCAO INCORRETA 37
 RECEPCAO, PROCESSO DE 115
 RECEPCAO, SUBSISTEMA DE 27
 RECEPTORA, ESTACAO 1,2,25,28,153,177
 RECONHECIMENTO AUTOMATICO 59,61,63
 RECONHECIMENTO DE PADROES 50,52,53,54,57
 RECONHECIMENTO DE PADROES 84,103,139
 RECONSTITUICAO DA IMAGEM 18,47
 RECURSIVIDADE 120
 REDES DE INTERCONEXAO 143
 REDUCCAO DE DIMENSIONALIDADE 53,54
 REFLETIDA, LUZ 21,36
 REGIOES, DETECAO DE 129
 REGISTRO BANDA-A-BANDA, ERRO DE 34
 REGISTRO DE DADOS 25
 REGISTRO DOS SINAIS 115,116
 REGRAS DE CLASSIFICACAO 63
 REGRAS DE DECISAO 63
 RELACAO SINAL/RUIDO 13,15,128
 REPOSICIONAMENTO DOS PIXELS 75
 REPRESENTACAO DO DADO 57,58
 REPRESENTACAO, MELHOR 77
 REPRESENTACAO, SUBESPACO DE 86
 REQUISICAO DE LINHA, BUFFER DE (VER LRB)
 RESOLUCAO 13,159
 RESOLUCAO DE INTENSIDADE 22
 RESOLUCAO ESPACIAL 22
 RESPOSTA TRANSIENTE 15
 RESPOSTA, TEMPO DE 154,155
 RESPOSTAS ESPECTRAIS 25,26
 RESULTADOS ESTATISTICOS 67
 RESUMO HISTORICO 8
 RETURN BEAM VIDICON (VER RBV)
 REVOLUCAO, PERIODO DE 9
 RISCO DE ERRO 106
 RISCO MEDIO CONDICIONAL 106
 RISCOS DE DECISAO 107
 ROBERTS, GRADIENTE DE 83
 ROTACAO DA TERRA 70,75
 ROTACAO DA TERRA, EFEITO DA 37
 ROTULOS 136
 RUIDO 39,134
 RUIDO ADITIVO 120,121
 RUIDO ADITIVO, ERRO DE 39
 RUIDO ADITIVO, FILTRAGEM DE 1240127
 RUIDO MULTIPLICATIVO 120,121
 RUIDO MULTIPLICATIVO, ERRO DE 39
 RUIDO MULTIPLICATIVO, FILTRAGEM DE 125,127
 RUIDO NAS IMAGENS 77

RUIDO, DISTORCOES POR 121
RUIDO, FILTRAGEM DE 120

S

SAFRA, MONITORAR UMA 25
SAIDA MULTIPLEXADA 14
SAO JOSE DOS CAMPOS 25,113
SAO PAULO 25,50
SATELITE, COMPORTAMENTO DE 36,116,117
SATELITE, IMAGEM DO 20
SATELITE, INCLINACAO DO 70
SATELITE, POSICAO DO 72
SATELITE, RASTREIO DO 25
SATELITE, TOMADA DO 3
SATELITE, VELOCIDADE DO 72
SCANNER 8
SCANNER MULTIESPECTRAL 22
SCANNER OTICO-MECANICO 22,24
SCANNER, ESPELHO DO 12
SCANNER, RASTREIO DO 24
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO (VER SEPLAN)
SEGMENTACAO 130
SEGMENTACAO DE IMAGENS 129
SEGMENTO 74
SELECAO DE CARACTERISTICAS 65,77,78,84
SELETOR DE MAXIMO 108
SEMI-EIXO 12,16
SENSOR MSS 14,17
SENSOR, ATRASO DE 36
SENSORES 11
SENSORES MSS, CARACTERISTICAS DE 12,14
SENSORES RBV, CARACTERISTICAS DOS 12,13
SENSORES, PROBLEMA DOS 57
SENSORES, SISTEMA DE 11
SENSORIAMENTO REMOTO 18,39
SEPARACAO DA MELHOR REPRESENTACAO, ALGORITMO PARA 65,66
SEPARACAO DE CLASSES 77
SEPARACAO, ALGORITMO PARA 77
SEPARACAO, METODOS DE 105
SEPARADOR DE SINCRONISMO 179
SEPLAN 159
SEQUENCIAL, PROCESSADOR 154
SERVICOS GERAIS, ALGORITMOS DE 67
SIGLAS VII
SIMD 143,146,147,148,149,167,170,171
SIMILARIDADE, LIMITE DE 93,94
SIMILARIDADE, MEDIDA DE 90
SINAIS MULTIESPECTRAIS 22
SINAIS, GRAVACAO DOS 114
SINAIS, MONITORACAO DOS 115,116
SINAIS, PROCESSAMENTO DOS 48
SINAIS, REGISTRO DOS 115,116
SINAL FM, FONTE DE 180
SINAL, DEMODULACAO DO 116,117
SINAL/RUIDO, RELACAO 13,15,128
SINCRONISMO, SEPARADOR DE 179
SINCRONIZACAO 11
SINCRONIZADOR DE BITS MSS 178
SINCRONIZADOR DE BITS USB 180

SINGLE INSTRUCTION, MULTIPLE DATA (VER SIMD)
SINTATICA, APROXIMACAO 63,64
SINTATICOS, METODOS 63
SINTESE DE DADOS 18,47
SISTEMA DE COMUNICACAO 38
SISTEMA DE GRAVACAO 180
SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DE SATELITES 182FF
SISTEMA DE SENSORES 11
SISTEMA LANDSAT 5FF
SISTEMA, COMPLEXIDADE DO 157
SISTEMA, CUSTO DO 157
SISTEMAS DE COLETA DE DADOS 9
SM 144
SMU 144,146
SD65 8
SDJA 26
SOLOS, GERENCIA DE 40
STARAN 139,154
SUB-PADRAO 63
SUBESPACO DE CARACTERISTICAS 86
SUBESPACO DE REPRESENTACAO 86
SUBESPACO, METODO DE 84
SUBSISTEMA DE ANTENA 27
SUBSISTEMA DE GRAVACAO 27
SUBSISTEMA DE RECEPCAO 27
SUPERPOSICAO 17

T

TABELA DE CLASSIFICACAO 96
TAREFAS, NUMERO DE 155
TAXA DE ASPECTO 34,70
TAXA DE DADOS 159
TECNICA DE PROCESSAMENTO DE VIDEO 15
TECNICAS DE CORRECAO DE DADOS 67
TECNICAS DE HISTOGRAMAS 65
TECNICAS DE IMPLANTACAO 62
TECNICAS ESPECIAIS 75
TELEMETRIA 180
TELEMETRIA, DADOS DE 27,29
TELEVISAO, CAMERA DE 11,22
TEMATICO, MAPEADOR 159,160-162
TEMPO DE GRAVACAO 15
TEMPO DE LEITURA 13
TEMPO DE RESPOSTA 154,155
TEMPO ENTRE TOMADAS 13
TEMPO REAL 51
TEMPO REAL, PROCESSAMENTO EM 110FF,115,116
TEORIA DAS PROBABILIDADES 103
TEORIA DE GRAFOS 132
TERMO PARALELO 119
TERRA, ROTACAO DA 70,75
TERRESTRES, MAPAS 116,118
TESTE, GERADOR DE 178,180
TIPO 52,59
TIPO, MEMBRO DO MESMO 59,62
TOMADA DO SATELITE 3
TOMADAS, TEMPO ENTRE 13
TONAL, VARIACAO 65,78,82
TONS DE CINZA 82

TRAJETORIAS ADJACENTES, DISTANCIA ENTRE 16
 TRANSDUTORES 53,54
 TRANSFORMACAO AFIM 36,68,70
 TRANSFORMACAO DE MATRIZES 121
 TRANSFORMACAO DO ESPACO 57
 TRANSLACAO 70
 TRANSMISSAO DE DADOS 25,39
 TRAP 170
 TRATAMENTO DE DADOS 25
 TRATAMENTO DE DADOS, METODO DE 42FF,51
 TRATAMENTO DE DADOS, ALGORITMO PARA 65,66
 TRATAMENTO, PROCESSO DE 115
 TRIANGULO BIDIMENSIONAL 70
 TRIGO, MONITORACAO DE 3
 TROCA DE ENERGIA 18,21
 TUBOS DE FIBRAS OTICAS 36

U

UNIDADE DE CONTROLE DE MEMORIA DE ARQUIVO (VER FMCU)
 UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE MEMORIA COMPARTILHADA (VER SHMU)
 UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR (VER UTM)
 UNIVERSIDADE DE PURDUE 140
 USB, ENLACE 180
 USB, EQUIPAMENTO 179
 UTM 73

V

VALOR DE INTENSIDADE 74
 VALOR ESPERADO DA PERDA 106
 VARIACAO DE ESCALA 70
 VARIACAO TONAL 65,78,82
 VARREDOR MULTIESPECTRAL (VER MSS)
 VARREDURA 12
 VARREDURA HORIZONTAL, RAZAO DE 13
 VARREDURA, EFICIENCIA DE 14
 VARREDURA, FREQUENCIA DE 14
 VARRIDAS, LINHAS 13
 VCU 144,145,167,170,143
 VECTOR CONTROL UNIT (VER VCU)
 VECTOR INSTRUCTION PRESENT (VER VIP)
 VELOCIDADE DE PROCESSAMENTO 155
 VELOCIDADE DO SATELITE 72
 VELOCIDADE NAO-LINEAR DO ESPELHO 34
 VETOR DE MEDIDAS 57
 VETOR PADRAO 57
 VETORES, CONTROLE DE 143
 VETORIAIS, OPERACOES 142
 VETORIAL, FORMA 52
 VIDEO, PROCESSADOR DE 179
 VIDEO, TECNICA DE PROCESSAMENTO DE 15
 VIP 171
 VIRTUAIS, ENDEREÇOS 143
 VIZINHO MAIS PROXIMO, METODO DO 74,75
 VPASS 32

W

WBVTR 9,15
 WIDE BAND VIDEO TAPE RECORDER (VER WBVTR)