

1. Classificação <i>INPE-COM.2/MD</i> <i>C.D.U.: 528.711.7:371.33</i>		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>CURSO DE TREINAMENTO</i> <i>SENSORIAMENTO REMOTO</i>			interna <input checked="" type="checkbox"/> externa <input type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-1949-MD/006</i>	6. Data <i>novembro/80</i>	7. Revisado por <i>Celina Foresti</i> <i>Celina Foresti</i>	
8. Título e Sub-Título <i>CURSO DE TREINAMENTO: APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO</i> <i>REMOTO, COM ÊNFASE EM IMAGENS LANDSAT, NO</i> <i>LEVANTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS</i>		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>DSR/DTT</i>	Código	11. Nº de cópias <i>50</i>	
12. Autoria <i>Divisão de Transferência de Tecnologia.</i> <i>Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento</i> <i>de Aplicações.</i> <i>Divisão de Aquisição e Tratamento de</i> <i>Dados.</i>		14. Nº de páginas <i>253</i>	
13. Assinatura Responsável <i>Leone A. Soares</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Este texto corresponde ao material de acompanhamento a ser utilizado no Curso de Treinamento: Aplicações de Sensoriamento Remoto, com Ênfase em Imagens LANDSAT, no Levantamento de Recursos Naturais. Este curso considerado como uma continuação do curso nível I (Introdução às Técnicas de Sensoriamento Remoto e Aplicações), tem por objetivo familiarizar o aluno com as características gerais do sistema LANDSAT, bem como orientar o seu treinamento na interpretação visual e automática de dados gerados pelo sistema, nas áreas de Geologia, Geomorfologia, Vegetação, Agricultura, Uso da Terra e Oceanografia. O texto apresenta, ainda, tópicos de imageamento e coordenadas geodésicas e a aplicação de imagens LANDSAT na cartografia.</i>			
17. Observações <i>Material didático sujeito à revisão.</i>			

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
<u>CAPÍTULO I - SISTEMA LANDSAT</u>	I.1
1.1 - Características do Satélite	I.1
1.2 - Características Orbitais	I.4
1.3 - Sistema Imageador Multiespectral - MSS ("Multispectral Scanner System")	I.7
1.3.1 - Formação do "pixel" ("Picture Element")	I.8
1.3.2 - Formação da Imagem	I.10
1.4 - Sistema de Televisão RBV ("Return Beam Vidicon")	I.12
1.5 - Características das Imagens MSS-LANDSAT	I.15
1.6 - Recepção e Processamento das Imagens LANDSAT	I.19
BIBLIOGRAFIA	I.24
<u>CAPÍTULO II - TÓPICOS SOBRE IMAGEAMENTO E COORDENADAS GEODÉ SICAS</u>	II.1
2.1 - Introdução	II.1
2.2 - Estudo do Imageamento por Satélites	II.1
2.2.1 - Caso Geral	II.1
2.2.2 - Caso Particular do LANDSAT	II.7
2.2.3 - Aplicação	II.10
2.3 - Estudo da Diferença de Coordenadas de Pontos na Super fície Terrestre	II.11
2.3.1 - Relação entre as Coordenadas Cartesianas Geocêntri cas da Estação e as Geodésicas	II.12
2.3.2 - Resultados	II.15
BIBLIOGRAFIA	II.17
<u>CAPÍTULO III - PROCESSAMENTO DE IMAGENS E CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES</u>	III.1
3.1 - Laboratório de Tratamento Automático de Imagens (L.T.A.I). III.1	
3.1.1 - Finalidade do L.T.A.I.	III.1
3.1.2 - Descrição dos Equipamentos do L.T.A.I.	III.3
3.2 - O Uso dos Sistemas de Classificação	III.6
3.2.1 - Introdução	III.6
3.2.2 - O Sistema de Classificação I-100	III.7

3.2.2.1 - Explicação do Sistema de Classificação I-100	III.7
3.2.3 - Sistema de Classificação MAXVER	III.28
3.2.3.1 - Explicação do Sistema de Classificação MAXVER	III.28
3.2.3.2 - Listagem do Diálogo	III.29
3.3 - Outros Programas	III.39
3.3.1 - Seleção de Atributos	III.39
3.3.1.1 - Descrição do Programa SELATR	III.39
3.3.1.2 - Listagem do Diálogo	III.40
3.3.2 - Rotação Espectral	III.42
3.3.2.1 - Descrição	III.42
3.3.2.2 - Listagem do Diálogo	III.42
 <u>CAPÍTULO IV - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS</u>	
<u>(LANDSAT) NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL</u>	
4.1 - Introdução	IV.1
4.2 - Metodologia	IV.2
4.2.1 - Análise dos Elementos	IV.2
4.2.2 - Processamento Dedutivo dos Elementos Analisados	IV.12
4.3 - Normas e Procedimentos para o Mapeamento Geológico Regional Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto do LANDSAT	IV.19
4.4 - Recursos Auxiliares	IV.20
4.5 - Nível de Detalhes Obtidos Através da Interpretação dos Produtos LANDSAT	IV:21
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	IV.24
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	IV.25
 <u>CAPÍTULO V - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS</u>	
<u>(LANDSAT) EM GEOMORFOLOGIA</u>	
5.1 - Exemplos Metodológicos de Aplicação de Imagens LANDSAT em Geomorfologia	V.1
5.2 - Metodologia de Interpretação Visual de Imagens	V.5
5.2.1 - Seleção da Escala da Imagem	V.6
5.2.2 - Seleção da Época de Tomada da Imagem	V.6
5.2.3 - Seleção de Canais do MSS	V.7
5.2.4 - Seleção de Legenda	V.8
5.2.5 - Aquisição de Informações em Imagens	V.8

5.3 - Comparação dos Dados Extraídos de Imagens com Dados Colaterais	V.11
5.3.1 - Comparação com Perfis Topográficos	V.11
5.3.2 - Comparação com Cartas de Declividade	V.12
5.3.3 - Comparação com Informações Bibliográficas	V.12
5.4 - Análise das Informações Extraídas da Imagem e Confecção de um Mapa Preliminar	V.13
5.4.1- Análise da Rede de Drenagem	V.13
5.4.2 - Análise dos Padrões de Textura	V.13
5.4.3 - Confecção do Mapa Preliminar	V.14
5.5 - Trabalho de Campo	V.14
5.6 - Elaboração do Mapa Final	V.15
BIBLIOGRAFIA	V.16
 <u>CAPÍTULO VI - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS</u>	
<u>(LANDSAT) EM VEGETAÇÃO</u>	
6.1 - Introdução	VI.1
6.2 - Definição dos Objetivos	VI.2
6.3 - Escolha da Área de Estudo	VI.2
6.4 - Solicitação de Produtos do LANDSAT	VI.2
6.5 - Revisão Bibliográfica	VI.2
6.6 - Coleta de Dados	VI.3
6.7 - Interpretação Visual Preliminar das Imagens MSS/LANDSAT..	VI.3
6.8 - Trabalho de Campo	VI.7
6.9 - Interpretação Visual Final	VI.7
6.10 - Interpretação Automática	VI.8
6.10.1 - Material	VI.9
6.10.2 - Método	VI.10
6.11 - Relatório	VI.14
6.12 - Exemplos de Tipos de Cobertura Vegetal e sua correspondência nas Imagens do LANDSAT	VI.14
BIBLIOGRAFIA	VI.18
 <u>CAPÍTULO VII - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS</u>	
<u>(LANDSAT) NA AGRICULTURA</u>	
7.1 - Introdução	VII.1
7.1.1 - Necessidade de Estatísticas Agrícolas	VII.1

7.1.2 - Dificuldades de Aquisição de Dados sobre Áreas Plantadas..	VII.1
7.1.3 - Importância do Sensoriamento Remoto num Sistema de Previsão de Safras	VII.2
7.1.4 - Metodologia de Tratamento dos Dados Orbitais	VII.2
7.2 - Tratamento dos Dados Terrestres da Área de Estudo	VII.3
7.2.1 - Informações Preliminares sobre a Região	VII.3
7.2.2 - Informações Preliminares sobre a Cultura	VII.3
7.2.3 - Definição da Área de Estudo	VII.3
7.3 - Tratamento dos Dados Suborbitais da Área de Estudo	VII.4
7.3.1 - Definição de áreas de Treinamento	VII.4
7.3.2 - Planejamento do Vôo Aerofotográfico	VII.4
7.3.3 - Realização do Vôo e Apoio de Verdade Terrestre	VII.5
7.3.4 - Tratamento dos Dados Coletados das Áreas de Treinamento..	VII.5
7.4 - Tratamento dos Dados Orbitais da Área de Estudo	VII.8
7.4.1 - Dados Orbitais Tratados Visualmente	VII.8
7.4.2 - Dados Orbitais Tratados Automaticamente	VII.13
BIBLIOGRAFIA	VII.17
 <u>CAPÍTULO VIII - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS</u>	
<u>(LANDSAT) NO USO DA TERRA</u>	
8.1 - Introdução	VIII.1
8.2 - Metodologia	VIII.1
8.2.1 - Interpretação Visual de Imagens	VIII.1
8.2.2 - Interpretação Automática dos Dados	VIII.7
BIBLIOGRAFIA	VIII.10
 <u>CAPÍTULO IX - METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS EM</u>	
<u>OCEANOGRAFIA</u>	
9.1 - Introdução	IX.1
9.1.1 - Conceito de Qualidade da Água	IX.2
9.1.2 - Sistemas Sensores Usados em Estudos de Qualidade da Água	IX.6
9.2 - Princípios Básicos da Interação da Radiação Solar com os Meios Líquido e Atmosférico	IX.7
9.2.1 - Propriedades Espectrais da Luz Solar	IX.7
9.2.2 - Propriedades Espectrais da Água e de seus Poluentes	IX.10
9.2.3 - Efeitos e Interações	IX.15

9.3 - Metodologia de Interpretação Visual	IX.17
9.3.1 - Metodologia para Interpretação Visual de Imagens em Corpos D'Água	IX.18
9.3.2 - Processos de Observação "IN SITU"	IX.19
9.3.2.1 - Parâmetros a serem medidos	IX.19
9.3.2.2 - Estimativas dos Parâmetros da Água com Sensores.....	IX.20
9.4 - Reconhecimento de Padrões em Áreas Costeiras Através de Dados do LANDSAT	IX.21
9.4.1 - FASE 1 - Procedimento Preliminar	IX.22
9.4.2 - FASE 2 - Seleção das Áreas de Treinamento	IX.24
9.4.3 - Aplicação do Sistema MAXVER	IX.26
9.5 - Utilização de Imagens Orbitais em Oceanografia com Sa télites Operando no Infravermelho (IV) Termal	IX.29
9.5.1 - Especificações dos Principais Sensores dos Satélites NOAA, TIROS-N e SMS-2	IX.29
9.5.1.1 - Satélite NOAA-5	IX.29
9.5.1.2 - Satélite TIROS-N	IX.31
9.5.1.3 - Satélite NOAA-6	IX.32
9.5.1.4 - AVHRR (Radiômetro avançado de muita alta resolução)...	IX.32
9.5.1.5 - Satélite SMS-2	IX.34
9.6 - Principais Correntes, Frentes e Ressurgências dos Ocea nos do Mundo	IX.34
9.6.1 - Estudo Oceanográfico do Sistema da Corrente do Brasil (SCB) com Aplicações de Sensoriamento Remoto)	IX.35
9.6.1.1 - Descrição da Área de Estudo	IX.35
9.6.1.2 - O Sistema da Corrente do Brasil (SCB) com Sensores Remotos	IX.38
9.6.1.3 - O Sistema da Corrente do Brasil (SCB) segundo a Oceanografia Convencional	IX.39
9.6.1.4 - Metodologia de Interpretação	IX.39
9.6.2 - Ressurgência em Cabo Frio	IX.40
9.6.2.1 - Metodologia de Interpretação	IX.42
BIBLIOGRAFIA	IX.43
<u>CAPÍTULO X - UTILIZAÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT NA CARTOGRAFIA.....</u>	X.1
10.1 - Introdução	X.1
10.2 - Levantamento do Apoio Básico	X.1
10.3 - Mapeamento Topográfico Sistemático	X.2

10.4 - Outros Elementos Cartográficos.....	X.2
10.5 - Utilização de Imagens LANDSAT na Cartografia	X.3
10.5.1 - Geometria das Imagens LANDSAT	X.4
10.5.2 - Deformação das Imagens	X.6
10.5.3 - Deformações Cartográficas	X.10
10.5.4 - Mudança de Projeção	X.11
10.5.5 - Limitações para Uso Cartográfico	X.15
10.6 - Metodologia para Confecção de Mapas, Utilizando Imagens MSS do LANDSAT	X.17
10.6.1 - Apoio	X.18
10.6.2 - Articulação das Folhas	X.18
10.6.3 - Seleção dos Acidentes	X.20
10.6.4 - Nome da Folha	X.20
10.6.5 - Classificação Final do Documento	X.20
10.6.6 - Apresentação	X.20
10.6.7 - Fluxograma das Operações	X.21
BIBLIOGRAFIA	X.22

LISTA DE FIGURAS

I.1 - Configuração do Sistema LANDSAT utilizada pelo Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE	I.2
I.2 - Configuração do satélite LANDSAT	I.3
I.3 - Órbita do satélite LANDSAT	I.4
I.4 - Órbita heliossíncrona do satélite LANDSAT	I.5
I.5 - Órbitas do LANDSAT para um dia de recobrimento	I.6
I.6 - Sistema imageador MSS-LANDSAT	I.7
I.7 - Geometria da matriz de terminais de fibras ópticas do MSS-LANDSAT 1 e 2	I.9
I.8 - Relação entre as áreas PIXEL e ERT	I.9
I.9 - Configuração do Sistema RBV - LANDSAT 1 e 2	I.12
I.10 - Configuração do Sistema RBV - LANDSAT 3	I.13
I.11 - Reflectância espectral de alvos naturais e canais MSS-LANDSAT	I.15
I.12 - Altura solar em diferentes épocas do ano e latitudes	I.17
I.13 - Influência atmosférica na aquisição dos dados MSS-LANDSAT	I.18
I.14 - Formato de anotação das imagens fotográficas MSS e RBV ...	I.22
II.1 - Arco equatorial entre duas órbitas consecutivas (A)	II.3
II.2 - Órbitas em dias consecutivos e deslocamentos S e S_p	II.4
II.3 - Largura L na superfície terrestre	II.5
II.4 - Amplitude de varredura - (E)	II.7
II.5 - Coordenadas cartesianas da estação - (A)	II.12
III.1 - Esquema dos componentes do Sistema IMAGE-100	III.4
IV.1 - Padrões clássicos da rede de drenagem	IV.5
IV.2 - Densidade da rede de drenagem	IV.6
IV.3 - Alinhamentos lineações e curvaturas	IV.6
IV.4 - Assimetria	IV.7
IV.5 - Tropia	IV.7
IV.6 - Uniformidade	IV.8
IV.7 - Densidade textural do relevo	IV.10
IV.8 - Alinhamentos e lineações de relevo	IV.11

IV.9 - Modelo fotointerpretativo da rede de drenagem.....	IV.14
IV.10 - Modelo fotointerpretativo das formas de relevo	IV.16
IV.11 - Modelo fotográfico obtido a partir da interpretao do relevo	IV.18
V.1 - Comportamento espectral de solo e vegetao	V.2
V.2 - Padrão de textura retilínea	V.10
V.3 - Comparao entre perfis topográficos e feioes texturais da imagem	V.12
VI.1 - Passos metodológicos para a caracterizao e mapeamento da vegetao natural e artificial	VI.1
VII.1 - Esquema demonstrativo dos elementos para a avaliao de dados, obtidos com a classificao automática de cultura agrícola	VII.15
IX.1 - Zoneamento das águas da Baía de Guanabara	IX.4
IX.2 - Interao da radiao solar com a atmosfera e com a gua	IX.8
IX.3 - Reflectância espectral medida de diversos tipos de efluentes industriais e esgoto domiciliar	IX.13
IX.4 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura IX.3, e recebida pelo satélite a 900 km de altura. A visibilidade foi de 15 km e a elevao solar de 35	IX.14
IX.5 - Representao esquemática do IMAGE-100	IX.22
IX.6 - Fluxograma do processamento preliminar da CCT no I-100 contido nas cenas do MSS nos quatro canais para o estudo da qualidade da gua	IX.25
IX.7 - Fluxograma para seleo das áreas de treinamento para o MAXVER, através de "clustering" ou grupamento.....	IX.26
IX.8 - Fluxograma para definio das classes na imagem, aplicando-se o sistema MAXVER	IX.27
IX.9 - (a) rbita esquemática do satélite. (b) Esquema dos principais sensores do satélite NOAA-5	IX.30
IX.10 - (a) Posio média das maiores correntes e frentes oceanográficas (b) reas gerais de ressurgência	IX.36
IX.11 - Perfil de temperatura e salinidade mostrando as condioes e ausência de ressurgência.....	IX.41
X.1 - Linha de varredura	X.4

Este trabalho foi elaborado pelos seguintes autores:

Carlos Alberto Steffen	
Ricardo Cartaxo Modesto de Souza	Capítulo I
Luiz Danilo Damasceno Ferreira	Capítulo II
Edson Alves Ribeiro	
Fernando Augusto Mitsuo Ii	
José Carlos Moreira	
Luciano Vieira Dutra	
Solange Bueno M. Oliveira	Capítulo III
Paulo Veneziani	Capítulo IV
Evelyn Marcia Leão de Moraes Novo	Capítulo V
João Roberto dos Santos	
Pedro Hernandez Filho	
Yosio Edemir Shimabukuro	Capítulo VI
Francisco José Mendonça	Capítulo VII
Magda Adelaide Lombardo	Capítulo VIII
Hector Manuel Inostroza Villagra	
Juan José Verdesio Bentancurt	
Keiko Tanaka	Capítulo IX
Paulo César Gurgel Albuquerque	Capítulo X

X.2 - Seção longitudinal do elemento de resolução	X.5
X.3 - Seção transversal do elemento de resolução	X.5
X.4 - Variação em escala em função da variação da altitude	X.6
X.5 - Variação em deriva em função da variação K ("Yaw").....	X.7
X.6 - Variação em arfagem em função da variação de ϕ ("Pitch") ...	X.8
X.7 - Variação em rolagem em função da variação em ω ("Roll")	X.8
X.8 - Deslocamento devido à rotação da terra.....	X.9
X.9 - Deslocamento de pontos em relação ao seu homólogo no terreno	X.9
X.10 - Imagem MSS-LANDSAT sobre o plano UTM (malha UTM)	X.11
X.11 - Pontos de controle e ponto DATUM	X.12
X.12 - Pontos de controle na imagem MSS e nas Folhas RADAM	X.14
X.13 - Setorização da imagem	X.15
X.14 - Distribuição do apoio para o processamento da imagem base	X.18
X.15 - Articulação das folhas	X.19
X.16 - Fluxograma das operações	X.21

LISTA DE TABELAS

I.1 - Recobrimento lateral das imagens MSS LANDSAT	I.10
II.1 - Coordenadas Geodésicas das Estações	II.14
II.2 - Coordenadas Cartesianas Geocêntricas das Estações	II.16
V.1 - Porcentagem de Acerto na Classificação por Técnicas de Aquisição da Informação	V.3
V.2 - Coeficiente de Correlação de Spearman entre Textura Fotográfica e Índices que expressam variações das características da topografia	V.4
VII.1 - Exemplo de uma chave de interpretação de Imagens LANDSAT, explorando as características espectrais e a variação temporal, para identificação da cana-de-açúcar	VII.10
IX.1 - Irradiância espectral do sol em $\text{watts/m}^2/\mu\text{M}$	IX.11
IX.2 - Instrumento AVHRR (TIROS-N e NOAA-6)	IX.33
X.1 - Características das Cartas Topográficas	X.2
X.2 - Características das Imagens LANDSAT	X.3
X.3 - Limitações de Produtos Cartográficos	X.16

CAPÍTULO I

SISTEMA LANDSAT

O Sistema LANDSAT foi desenvolvido com o objetivo de permitir a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais sobre a superfície da Terra, de forma global, sinóptica e repetitiva.

Lançados em 1972 (L1), 1975 (L2) e 1978 (L3), os satélites da série LANDSAT (anteriormente conhecidos como ERTS) conduzem basicamente dois tipos de sensores: um imageador multiespectral de varredura de 4 canais (5 no L3) e um sistema de televisão de 3 canais (1 no L3).

Deslocando-se em uma órbita quase polar e heliossíncrona, os satélites LANDSAT permitem que os dados sobre uma mesma região da Terra sejam adquiridos a cada 18 dias, em condições semelhantes de iluminação.

Os dados coletados, quando transmitidos às estações terrenas de recepção, são gravados e processados, tornando-se disponíveis aos usuários do sistema sob a forma de imagens multiespectrais fotográficas ou gravadas em fitas compatíveis com computador. A Figura I.1 mostra a configuração do Sistema utilizado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE.

1.1 - CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE

O Sistema LANDSAT utiliza como satélite uma plataforma do tipo NIMBUS (satélite meteorológico), onde são instalados os sensores e os demais subsistemas destinados à gravação e transmissão de dados, medição e controle de atitude e temperatura, retransmissores, etc.. A potência para funcionamento do sistema é conseguida através dos painéis solares que convertem energia solar radiante em elétrica. A Figura I.2 apresenta a configuração do Satélite LANDSAT.

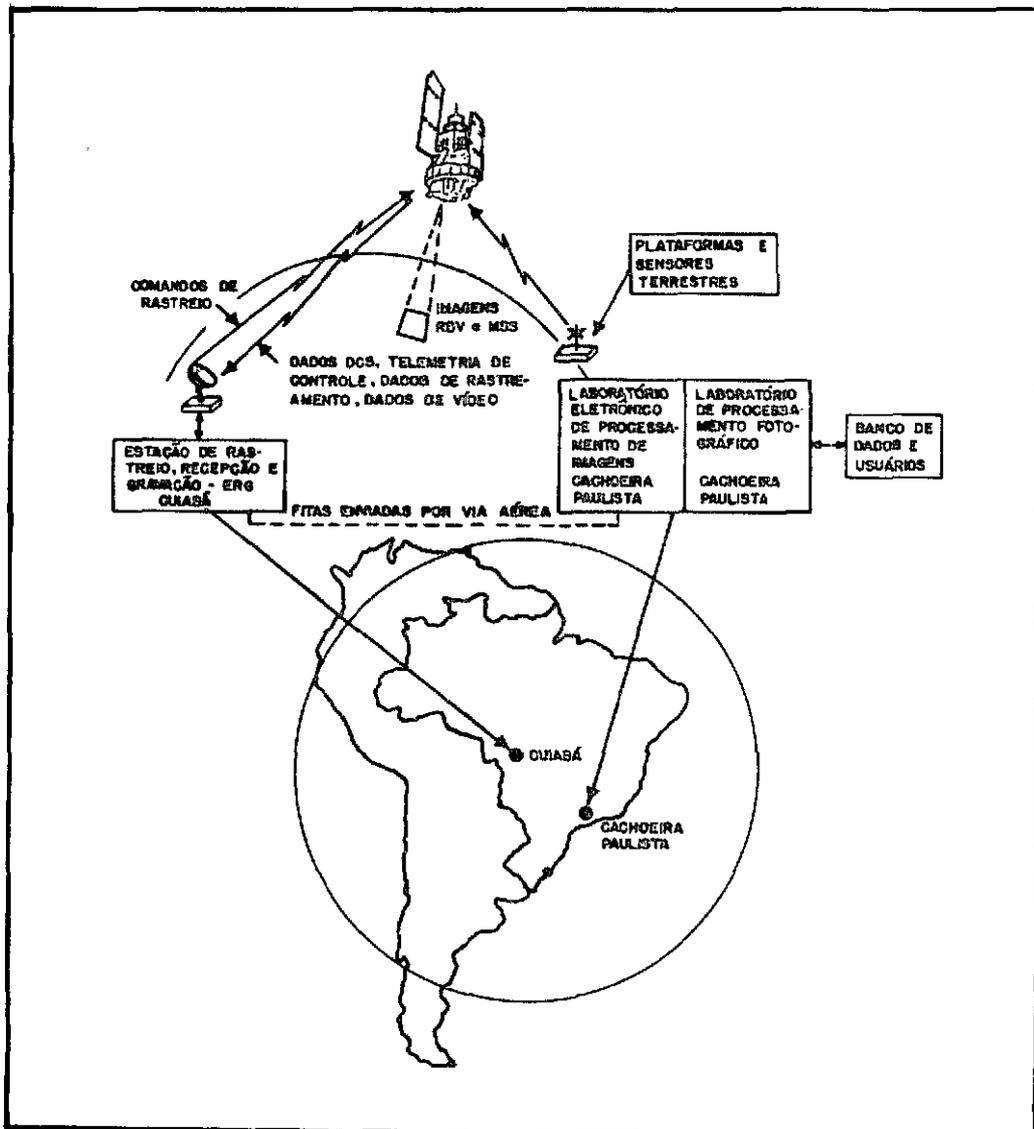


Fig. I.1 - Configuração do Sistema LANDSAT utilizada pelo Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE.

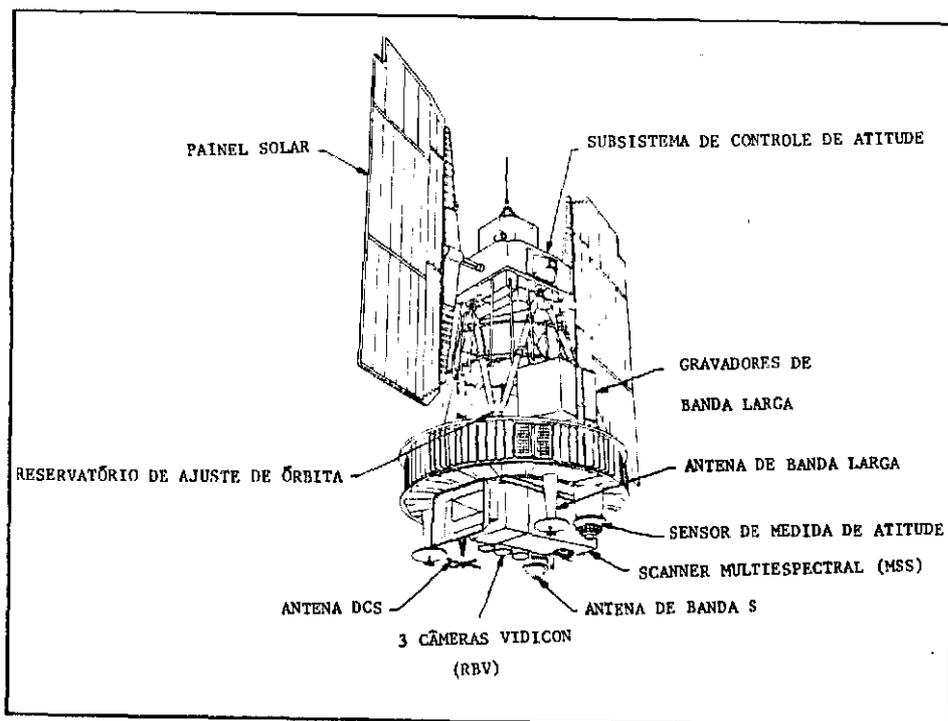


Fig. I.2 - Configuração do satélite LANDSAT

PESO: 960 kg

ALTURA: 3,0m

DIÂMETRO: 1,5m

LARGURA MÁXIMA: 4,0m (com os painéis solares abertos)

1.2 - CARACTERÍSTICAS ORBITAIS

O Satélite LANDSAT desloca-se em órbita geocêntrica, circular e polar com períodos de 103 minutos e a 920 km de altitude (Figura I.3). A órbita é também heliossíncrona, isto é: o ângulo sol-terra-satélite permanece constante ($37,5^\circ$), o que garante condições semelhantes de iluminação, ao longo do ano, na área imageada (Figura I.4).

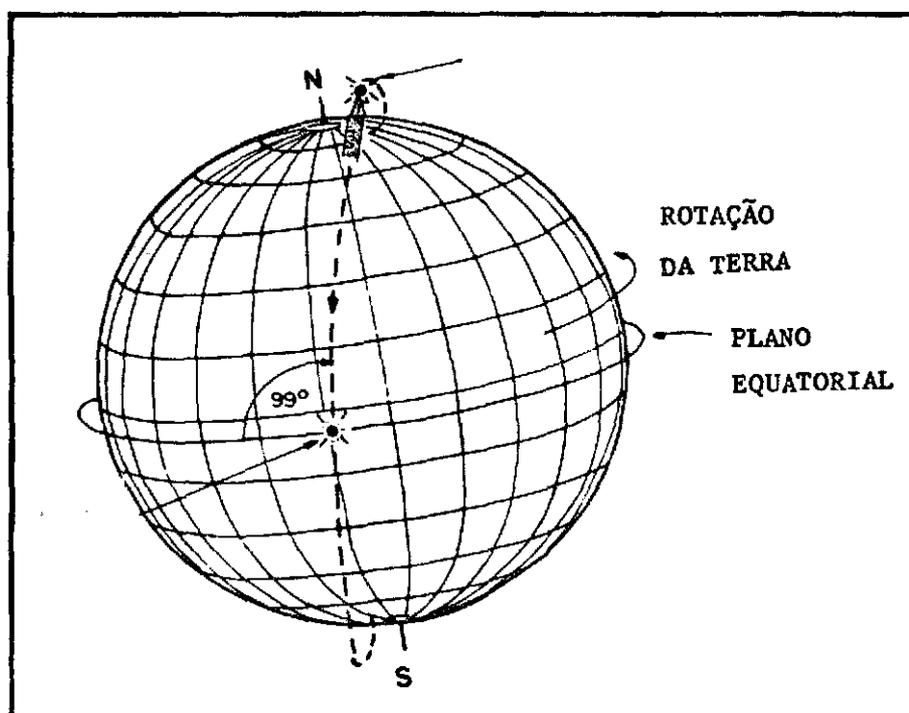


Fig. I.3 - Órbita do satélite LANDSAT

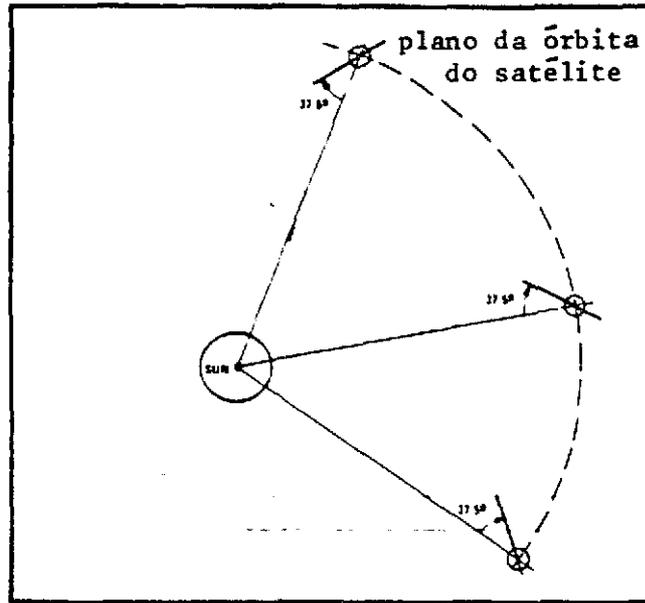


Fig. I.4 - Órbita heliossíncrona do satélite LANDSAT

Deslocando-se do norte para sul, na parte iluminada, o satélite cruza o equador a cada 103 minutos; nesse intervalo de tempo, a Terra gira 2760 km (no equador), que é a distância entre as projeções de duas órbitas consecutivas. Ao fim de 24 horas, 14 órbitas são realizadas; entretanto, as órbitas do dia seguinte aparecem deslocadas 160 km em relação às correspondentes do dia anterior. No 19^o dia, o deslocamento desaparece e recomeça um novo ciclo (Figura I.5).

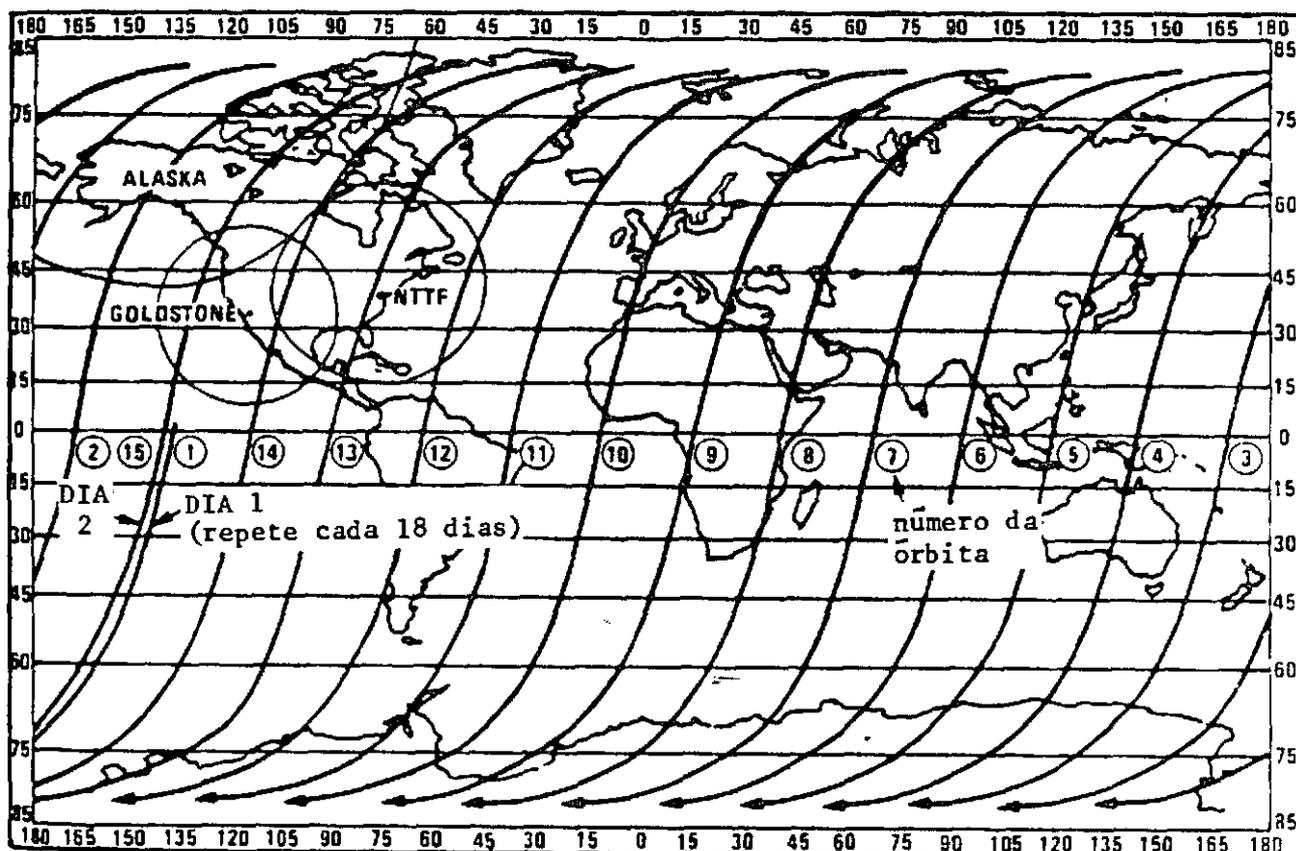


Fig. I.5 - Órbitas do LANDSAT para um dia de recobrimento

DADOS:

Semi Eixo Maior: 7300 km

Inclinação: 99° (com o equador)

Período: 103 min.

Cruzamento do equador: 9h 30 min. (hora local)

Ciclo de Cobertura: 18 dias

Duração do Ciclo: 251 resoluções

Distância entre órbitas adjacentes: 159 km (no equador)

Distância entre órbitas sucessivas: 2760 km (no equador)

Altitude: 920 km

Velocidade do ponto Nadir: 6,46 km/s

(Os dados são aproximados e representam valores típicos)

1.3 - SISTEMA IMAGEADOR MULTIESPECTRAL - MSS ("MULTISPECTRAL SCANNER SYSTEM")

A Figura I.6 mostra a configuração do sistema imageador MSS, cuja varredura, perpendicular à trajetória, é conseguida por meio de um espelho oscilante, com um campo de visada de $11,6^\circ$. O sistema permite a obtenção de linhas de varredura, na superfície, de aproximadamente 185 km.

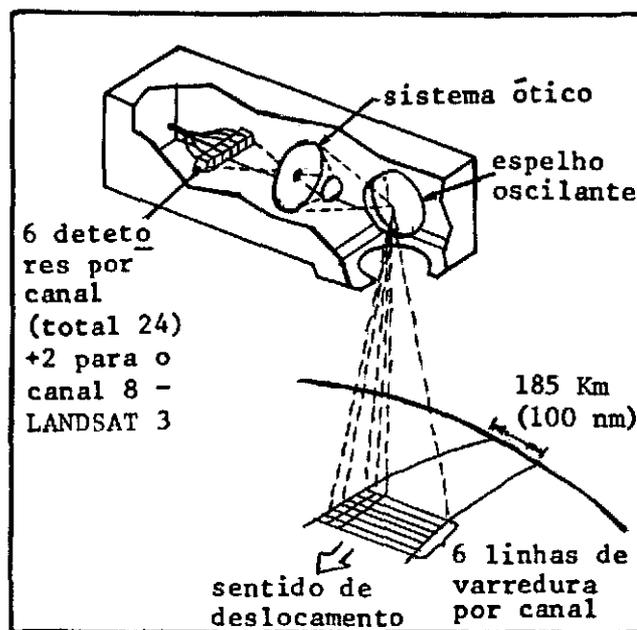


Fig. I.6 - Sistema imageador MSS-LANDSAT

A radiação proveniente da cena, após a reflexão no espelho oscilante, é focalizada pelo sistema óptico sobre uma matriz de 24 terminais de fibras ópticas (Figura I.7), de forma que, cada terminal recebe o fluxo de radiação proveniente de uma área de 79m x 79m na superfície, área esta denominada "Elemento de Resolução no Terreno" (ERT). Conduzido pelas fibras, o fluxo de radiação é então decomposto, por meio de filtros, em 4 conjuntos, nas seguintes faixas espectrais ou canais:

Canal 4 de 0,5 a 0,6 μm

Canal 5 de 0,6 a 0,7 μm

Canal 6 de 0,7 a 0,8 μm

Canal 7 de 0,8 a 1,1 μm

Atingindo a seguir os detetores, em número de 6 por canal, a radiação é então convertida em um sinal elétrico de intensidade proporcional à radiação da porção da superfície incluída no ERT correspondente. O sinal, que pode variar entre 0 e 4 volts é então quantizado entre níveis que assumem valores de 0 a 63, sendo em seguida transmitido à Terra ou, eventualmente, gravado para transmissões posteriores.

1.3.1 - FORMAÇÃO DO "PIXEL" ("PICTURE ELEMENT")

O arranjo da matriz de terminais vista na Figura I.7 permite que, durante a oscilação do espelho, 6 linhas sejam varridas, de oeste para leste, na superfície. A oscilação do espelho tem um semi-período ativo (varredura) de 33 ms e, durante o seu retorno, os detetores são expostos às fontes internas para calibração. Durante a varredura, o nível do sinal de cada detetor é amostrado a cada 9,95 μs ; como nesse intervalo de tempo o ERT se desloca apenas 56 m no sentido da varredura, a cada elemento de resolução da imagem ou Pixel deve-se associar uma área de 56m x 79m, na superfície (Figura I.8).

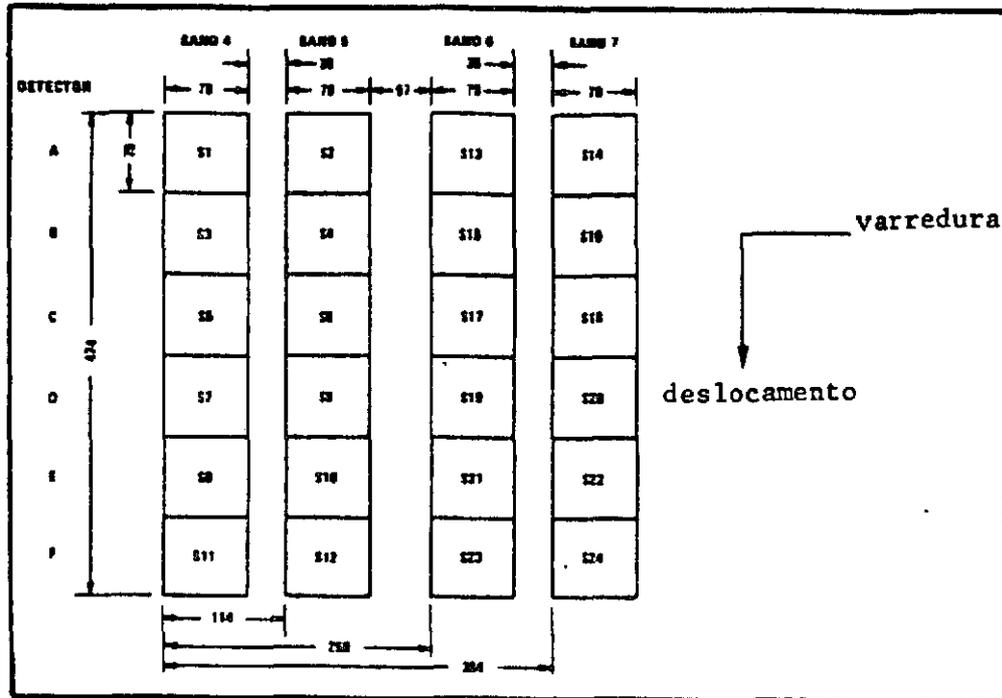


Fig. I.7 - Geometria da matriz de terminais de fibras ópticas do MSS-LANDSAT 1 e 2.

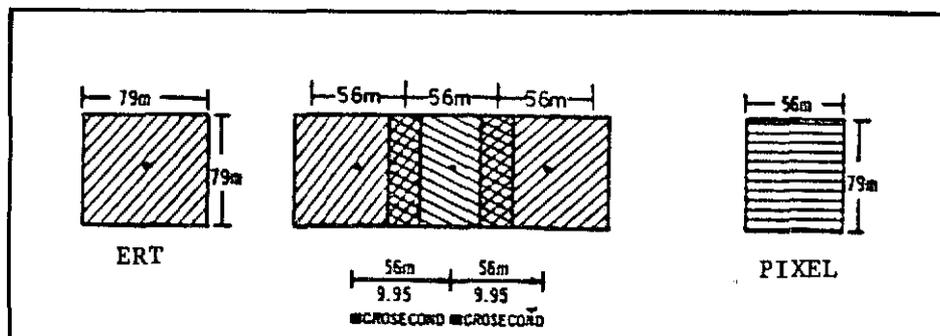


Fig. I.8 - Relação entre as áreas PIXEL e ERT.

1.3.2 - FORMAÇÃO DA IMAGEM

O fluxo de dados proveniente do Sistema MSS é transformado em uma imagem, pela justaposição das linhas de varredura, no sentido do deslocamento. Usualmente, a imagem correspondente a cada canal é formada por 2352 linhas de 3240 "pixels" cada, abrangendo uma área de 185 km x 185 km na superfície.

As características orbitais do LANDSAT permitem que essas imagens apresentem recobrimento lateral de 14,0% no equador, aumentando em direção aos pólos (Tabela I.1).

TABELA I.1

RECOBRIMENTO LATERAL DAS IMAGENS MSS LANDSAT

LATITUDE (GRAU)	RECOBRIMENTO LATERAL DAS IMAGENS (%)
0	14,0
10	15,4
20	19,1
30	25,6
40	34,1
50	44,8
60	57,0
70	70,6
80	85,0

Canal Termal - ao MSS do LANDSAT 3 foi incorporado um quinto canal (canal 8) que permite a aquisição de imagens da distribuição de temperatura na superfície da Terra. Operando na faixa de 10,2 μm a 12,6 μm , onde é máxima a emitância termal média da superfície e mínima a atenuação atmosférica, a configuração das fibras ópticas no plano focal do sistema óptico permite a obtenção de um ERT de 238m x 238 m que o intervalo de amostragem, para os dois únicos detetores, reduz para um "pixel" de 167 m x 238 m na imagem.

DADOS: Canais/resolução espectral

MSS 4: 0,5 - 0,6 μm	}	- LANDSAT 1, 2 e 3
MSS 5: 0,6 - 0,7 μm		
MSS 6: 0,7 - 0,8 μm		
MSS 7: 0,8 - 1,1 μm		
MSS 8: 10,2 - 12,6 μm		- LANDSAT 3

Varredura na superfície: 185 km

Varredura angular: \pm 5,8 (campo de visada)

Resolução na superfície (ERT): 79mx79m (MSS 4,5,6,7)
238mx238m (MSS 8)

Semiperíodo de varredura: 36,7 ms

Período ativo de amostragem: 33,0 ms

Intervalo de amostragem por detetor: 9,95 μs (MSS 4,5,6,7)

Número de amostragem por linha de varredura: 3300

Quantização: 0 a 63 níveis (0 a 4 volts)

Resolução na imagem ("PIXEL"): 56mx79m (MSS 4,5,6,7)
167mx238m (MSS 8)

Formato da imagem: 2340 linhas x 3240 colunas ("PIXELS").

Superposição lateral: 14% (no equador).

1.4 - SISTEMA DE TELEVISÃO RBV ("RETURN BEAM VIDICON")

Os satélites LANDSAT 1 e 2 são equipados com um conjunto de três câmaras de televisão do tipo RBV, que permitem a aquisição de imagens da superfície da Terra nas seguintes faixas espectrais:

Canal 1: 0,475 a 0,575 μm

Canal 2: 0,580 a 0,680 μm

Canal 3: 0,690 a 0,830 μm

Utilizando objetivas de 126,0 mm, as três câmaras são alinhadas de forma a imagear simultaneamente, a cada 25,0 segundos, uma área de 185 km x 185 km na superfície da Terra (Figura I.9).

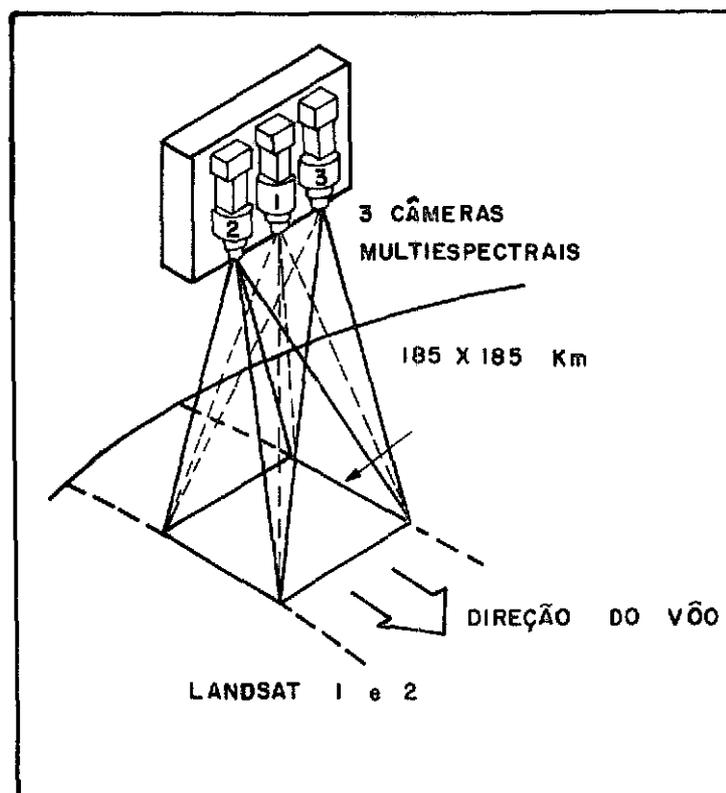


Fig. I.9 - Configuração do Sistema RBV - LANDSAT 1 e 2

Em cada câmara, um obturador permite que durante 5,6 ms uma imagem espectralmente filtrada da cena seja projetada sobre a superfície foto-sensível do tubo RBV. Em seguida, a superfície do mesmo é explorada por um feixe de elétrons, para a detecção das variações de voltagem ali induzidas pelas variações de brilho de imagem. Os sinais obtidos, uma vez amplificados, são transmitidos à Terra, onde são gravados e, posteriormente, processados para a geração da imagem.

O sistema de televisão do LANDSAT-3 é constituído de duas câmaras RBV, que operam na faixa espectral de 0,505 a 0,750 μm .

Utilizando objetivas de 236,0 mm, o novo sistema teve a sua resolução melhorada (de 80 m para 40 m); entretanto, a duplicação da distância focal reduziu a área imageada por cada câmara a 98 km x 98 km; desta forma, o intervalo entre exposições teve que ser reduzido para 12,5 segundos, de forma a obter a mesma cobertura que as câmaras empregadas nos LANDSAT 1 e 2. Assim, quatro imagens ou subcenas RBV/3 são necessárias para a composição de uma cena MSS (Figura I.10).

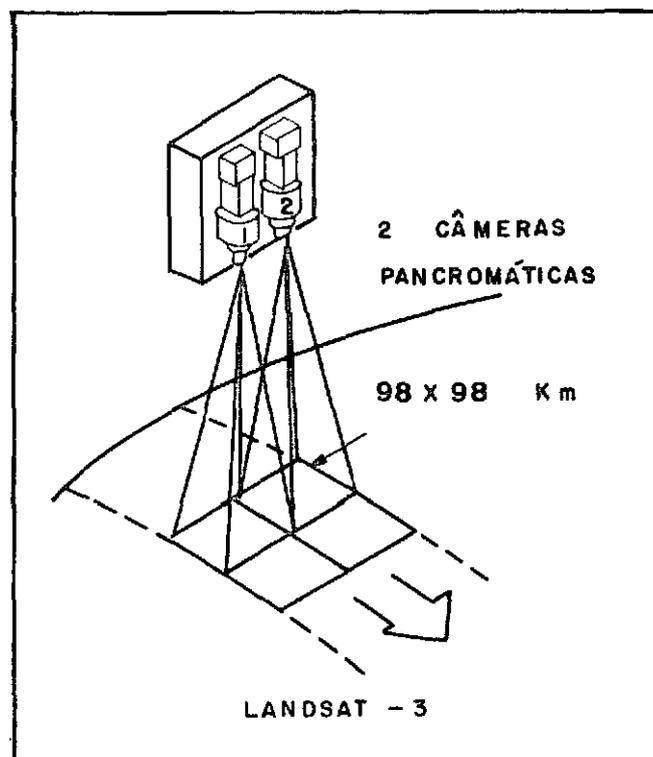


Fig. I.10 - Configuração do Sistema RBV - LANDSAT 3.

DADOS:

a) Canal / resolução espectral

RBV1: 0,475 - 0,575 μm	}	-	LANDSAT 1, 2
RBV2: 0,580 - 0,680 μm			
RBV3: 0,690 - 0,830 μm			
RBV: 0,505 - 0,750 μm	-	-	LANDSAT 3

b) Objetiva: (3) 126,0 mm (L1, L2)

(2) 236,0 mm (L3)

c) Intervalo de aquisição: 25 s (L1, L2)

12,5 s (L3)

d) Tempo de exposição: 5,6 ms (ajustável)

e) Área imageada: 185 km x 185 km (L1, L2)

98 km x 98 km (L3)

f) Resolução: 80 m (L1, L2)

40 m (L3)

g) Recobrimento: Lateral: 14 km (no equador) } - (L1, L2)

Longitudinal: 25 km

Lateral: 25 km (entre cenas no equador) } (L3)

Lateral: 14 km (entre subcenas)

Longitudinal: 25 km

1.5 - CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS MSS-LANDSAT

As imagens MSS constituem uma valiosa fonte de informações para a pesquisa e controle de recursos naturais. Entretanto, para sua eficiente interpretação, é importante que as características espaciais, espectrais e temporais de seu conteúdo sejam bem compreendidas.

Os diversos tipos de alvos naturais exibem comportamento espectral diferenciado, como pode ser visto na Figura I.11, onde a reflectância de amostras de solo, água e vegetação é apresentada juntamente com as faixas espectrais dos canais MSS. É importante notar que certos canais apresentam maior grau de contraste entre estes alvos, e as imagens correspondentes devem, em princípio, favorecer a diferenciação dos mesmos.

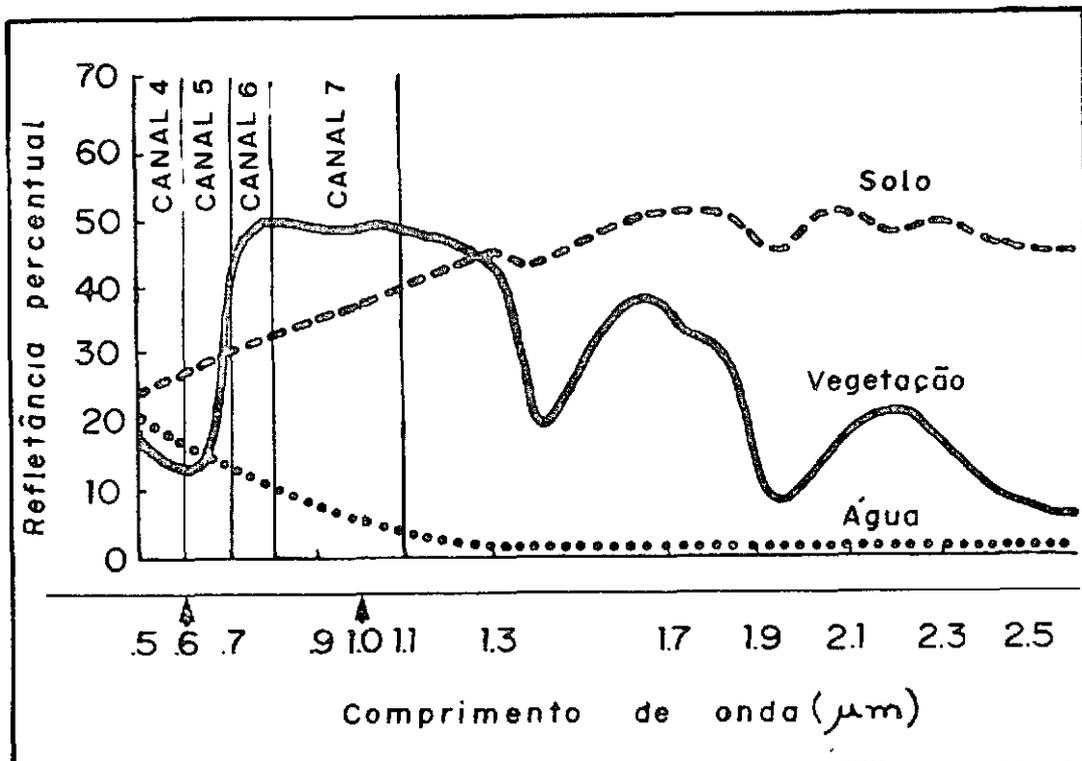


Fig. I.11 - Reflectância espectral de alvos naturais e canais MSS - LANDSAT.

Entretanto, deve-se considerar que radiômetros imageadores registram, não a reflectância (ρ), mas a radiância dos alvos incluídos no seu campo de visada instantâneo, o qual abrange não só o ERT, mas também a massa de ar entre o alvo e o sensor.

Lembrando-se que a radiância N (em W/m^2 sr) de uma superfície ideal (lambertiana) é dada por:

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

onde ρ é a reflectância e E a irradiância (em W/m^2) sobre o alvo, não é difícil perceber que a radiância observada na imagem MSS, sob a forma de níveis de cinza, pode apresentar variações devido às alterações tanto na reflectância como na irradiância sobre o alvo, cujo valor depende, entre outros fatores, da altura solar. Para o caso do LANDSAT, apesar da órbita heliossíncrona, as diversas passagens do satélite sobre uma mesma região encontram, durante o ano, valores de altura solar que dependem da época e latitude do lugar (Figura I.12).

O nível de cada "pixel" das imagens MSS corresponde ao valor da radiância do ERT respectivo. Esta por sua vez, representa um valor médio das feições presentes na área, de 79 m x 79 m, do elemento de resolução. Assim, para que um "pixel" se destaque dos demais, de sua vizinhança, é preciso que alguma característica presente no ERT altere o seu valor em pelo menos uma unidade; isso explica o fato de estradas e rios, de dimensões consideravelmente menores que a área do elemento de resolução, poderem ser perfeitamente detectados nas imagens MSS.

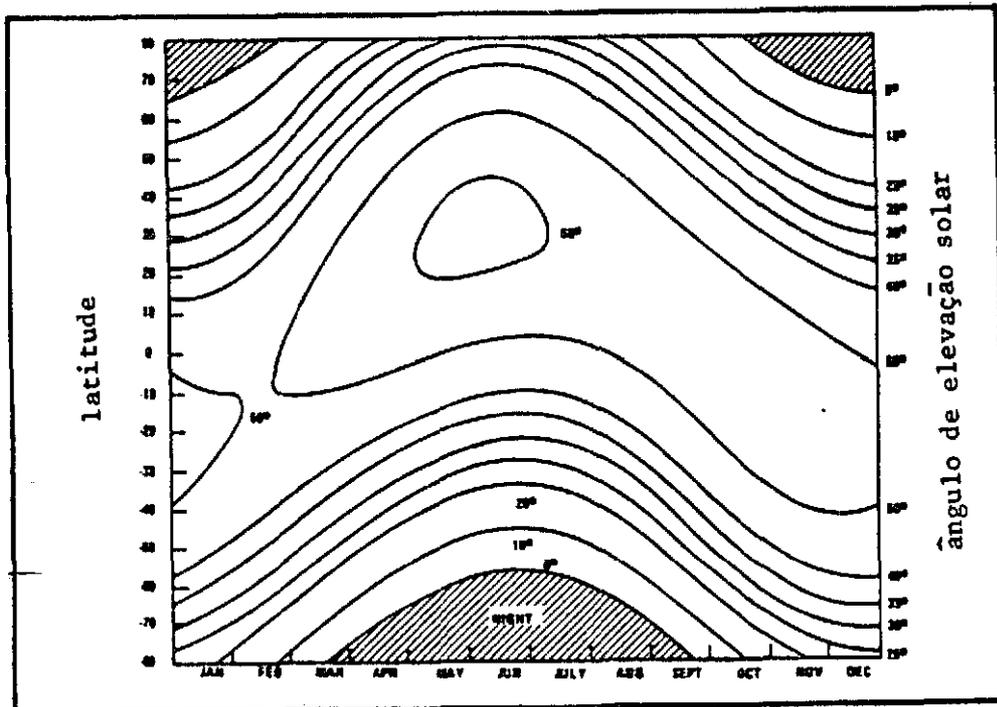


Fig. I.12 - Altura solar em diferentes épocas do ano e latitudes.

Os efeitos de absorção e espalhamento da atmosfera entre o satélite e a superfície modificam os níveis de radiância registrados nas imagens MSS. Devido ao caráter espectralmente seletivo desses fenômenos, os 4 canais são afetados de forma diferenciada. Assim, o retroespalhamento atmosférico da radiação solar, em direção ao satélite, tende a aumentar os valores de radiância registrados nos canais baixos (4 e 5), enquanto a absorção atmosférica tende a diminuir os níveis de radiância registrados nos canais altos (6 e 7), como mostra a Figura I.13.

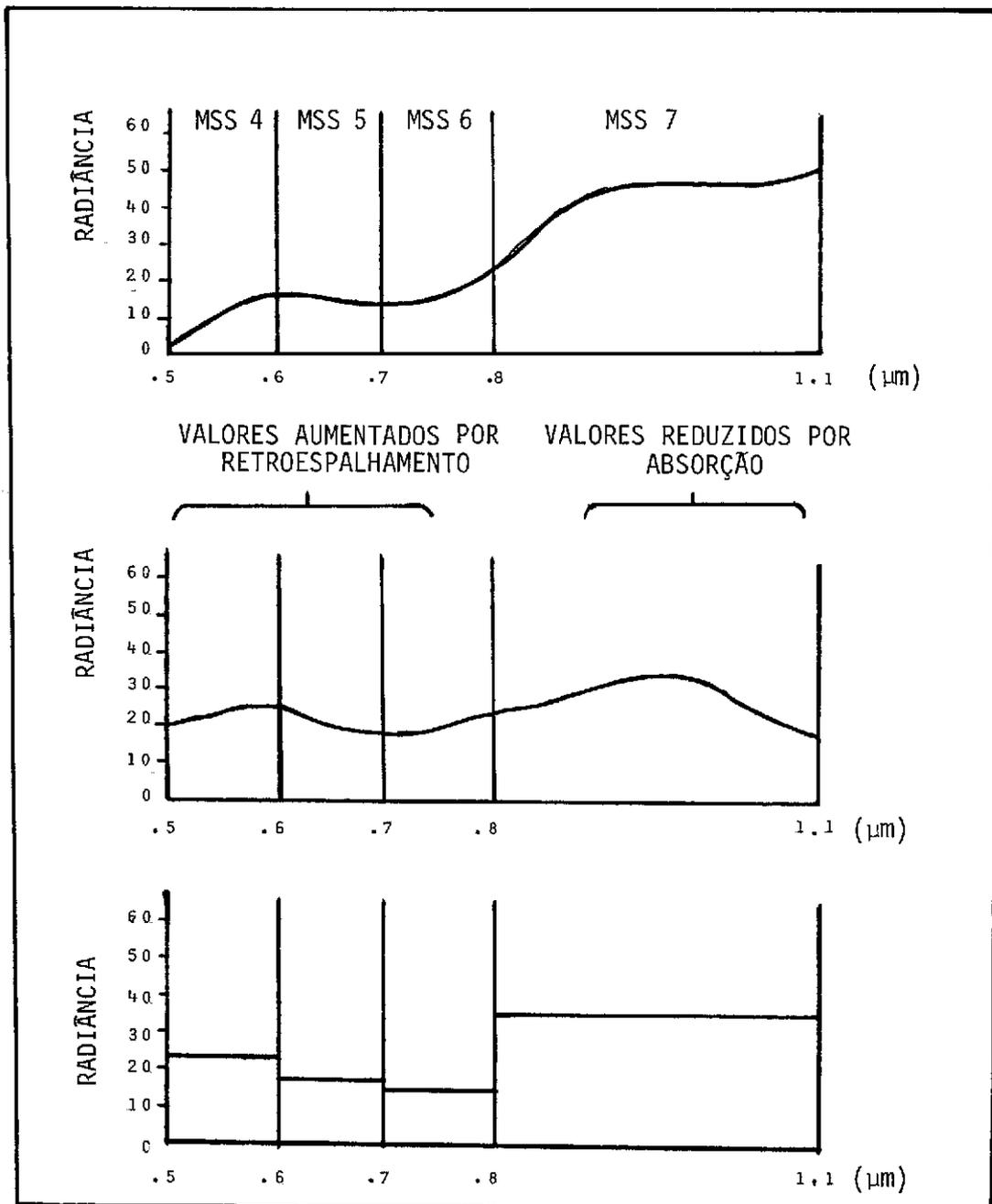


Fig. I.13 - Influência atmosférica na aquisição dos dados MSS - LANDSAT

1.6 - RECEPÇÃO E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS LANDSAT

Recepção e Gravação - O sistema de recepção e gravação dos dados LANDSAT do INPE encontra-se instalado em Cuiabá-MT, local que, por ser o centro geográfico da América do Sul, permite o recobrimento da maioria de seus países.

O Sistema de Cuiabá, utilizando uma antena de rastreio, realiza a recepção e gravação das imagens geradas pelo MSS e RBV, bem como dos dados de telemetria (altitude, atitude, etc.), ao longo do segmento da órbita ao alcance da estação. Em seguida, as fitas gravadas (fitas HDDF) são enviadas ao Laboratório de Processamento de Imagens, em Cachoeira Paulista - SP.

Processamento - sobre o Brasil existem 36 órbitas padrão (base) que são recobertas em 18 dias. Para as finalidades de processamento, cada órbita é dividida em cenas cujos centros, denominados pontos, são equidistantes de 25 segundos com relação ao tempo de geração de dados pelo satélite. Então, cada cena pode ser identificada por um par de números base/ponto.

As fitas HDDT, RBV e MSS são processadas para a conversão dos dados em formas mais convenientes aos usuários, tais como imagens fotográficas ou fitas compatíveis com computador (CCT). Inicialmente, os dados são processados eletronicamente, por computador, visando a correção das distorções causadas pelos fatores que afetam a qualidade geométrica e radiométrica da imagem.

Processamento dos dados MSS - no caso do MSS, a correção radiométrica visa a equalizar a resposta dos detetores de cada canal do imageador, evitando o efeito de "stripping" (linhas de intensidades diferentes para alvos homogêneos).

As correções geométricas devem ser efetuadas de forma a eliminar as distorções introduzidas na imagem por fatores inerentes ao

ao sistema, tais como: variações de atitude ("roll", "pitch", "yaw"), velocidade e altitude; rotação da Terra ("skew"), etc., e ainda colocar a imagem no sistema de projeção conveniente.

Os dados gravados em fita CCT sofrem apenas correção radiométrica, enquanto as imagens fotográficas sofrem correções radiométricas e geométricas.

Processamento dos dados RBV - os dados RBV, disponíveis somente na forma de imagens fotográficas, sofrem também correções radiométricas e geométricas; entretanto, as distorções são de origem diferente das do MSS.

Geometricamente, a imagem é corrigida tomando por base uma matriz de 9 x 9 marcas fiduciais gravadas na superfície do tubo RBV. A correção radiométrica tem por objetivo equalizar a resposta das diferentes áreas da superfície sensível do tubo RBV, evitando o efeito de "Shading" (sombreamento de áreas homogêneas).

Produtos fotográficos - os dados MSS e RBV, após as correções geométricas e radiométricas, são gravados eletronicamente em filmes fotográficos (1ª. geração), a partir dos quais são reproduzidas as imagens disponíveis aos usuários.

Usualmente, são disponíveis os seguintes produtos:

<u>Tamanho Nominal</u>	<u>Escala</u>	<u>Apresentação</u>	
MSS	50 mm	1/3704000	Transparência positiva ou negativa
	185 mm	1/1000000	Transparência positiva (colorida ou P&B)
	185 mm	1/1000000	Cópia em papel (colorida ou P&B)
	370 mm	1/50000	Cópia em papel (colorida ou P&B)
	740 mm	1/250000	Cópia em papel (P&B)

	<u>Tamanho Nominal</u>	<u>Escala</u>	<u>Apresentação</u>
RBV	50 mm	1/1963000	Transparência positiva ou negativa
	196 mm	1/500000	Transparência positiva
	196 mm	1/500000	Cópias em papel
	393 mm	1/250000	Cópia em papel

As imagens fotográficas MSS e RBV possuem anotação que identificam suas condições de aquisição e processamento, como pode ser visto na Figura I.14.

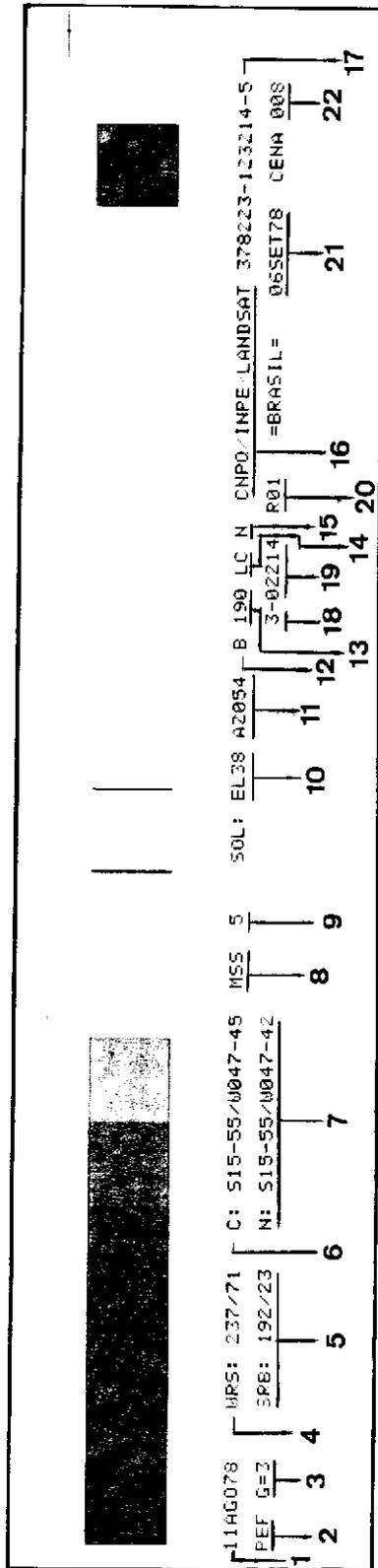


Fig. I.14 - Formato de anotação das imagens fotográficas MSS e RBV

LEGENDA da Figura I.14

01. Data de aquisição de imagem.
02. Tipo de projeção: PEF=" Perspectiva Espacial por Faixas (Space Strip Perspective).
03. Nível de correção geométrica:
 - 1 = Apenas remoção de distorções do sistema de geração do filme;
 - 2 = Correções levando em conta as características orbitais da passagem do satélite.
 - 3 = Inclusão das correções relacionadas aos movimentos próprios do satélite (atitude) durante a passagem.
04. Código de base/ponto (path/row) no sistema universal de referência (Worldwide Reference System).
05. Códigos de base/ponto no sistema de referência brasileira (SRB).
06. Coordenadas do centro da imagem.
07. Coordenadas do nadir do satélite.
08. Dispositivo sensor.
09. Banda espectral da imagem MSS ou subcena RBV.
10. Elevação do sol.
11. Azimute do sol.
12. Tipo de fita de dados orbitais utilizada.
 - B = ajustada (Best Fit)
 - P = prevista
13. Direção azimutal do deslocamento do satélite.
14. Ganho (L ou H = baixo ou alto) e codificação (L ou C = linear ou comprimido) do sensor.
15. Tipo de calibração radiométrica
 - N = normal
 - U = unitária
 - = não calibrado
16. Identificador da Estação de terra.
17. Identificador da imagem.
18. Número de série do satélite.
19. Número da órbita correspondente a esta passagem do satélite.
20. Número do processamento que gerou esta cena.
21. Data do processamento.
22. Número da cena.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Remote sensing*. Falls Church, 1975. v.1.

NASA. GSFC. *Data users handbook*. Greenbelt, 1970.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York, McGraw-Hill, 1978.

TARANIK, J.V. *Characteristics of the LANDSAT multispectral data system*. Sioux Falls, 1978. (Open-File Report 78-187).

CAPÍTULO II

TÓPICOS SOBRE IMAGEAMENTO E COORDENADAS GEODÉSICAS

2.1 - INTRODUÇÃO

O estudo de órbitas de satélites artificiais envolve uma série de considerações e, para fazer uma boa previsão, é preciso levar em conta todas as influências que possam afetar a trajetória. Para satélites de baixas altitudes (≤ 300 km) o efeito do arrasto atmosférico é bastante significativo; em certos casos é também considerável a atração luni-solar e o efeito da pressão de radiação solar. Entretanto, a perturbação mais relevante se deve à não esfericidade da terra.

Todos estes fatores contribuem para variações no período orbital, nos semi-eixos da órbita, etc., i.e., em todos os elementos orbitais.

Como previsão adotar-se-ão, neste trabalho, as seguintes suposições, sem erros consideráveis:

- A órbita é constantemente corrigida, de tal forma que o *semi-eixo maior* se mantenha aproximadamente constante; como consequência, o *período orbital* e o *intervalo entre duas órbitas consecutivas* também serão constantes.

2.2 - ESTUDO DO IMAGEAMENTO POR SATÉLITES

2.2.1 - CASO GERAL

1) Velocidade e período do satélite

A velocidade orbital de um satélite terrestre a uma altura h da superfície terrestre (Silva et al., 1978) é dada por:

$$V_s = \sqrt{GM\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)} \quad (\text{II.1})$$

onde GM é a constante planetária, " a " o semi-eixo maior da órbita e r será tomado igual a " a ", devido à pequena excentricidade da órbita, então,

$$r = a = R + h$$

onde R é o raio médio da terra.

Assim a equação II.1, fica

$$V_s = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (\text{II.2})$$

pois tal aproximação não influirá nos cálculos a seguir, uma vez que a velocidade não será usada, mas sim o período de revolução do satélite, dado pela lei de Kepler, ou seja:

$$T_s = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} a^{3/2} \quad (\text{II.3})$$

2) Arco equatorial entre duas órbitas - (A)

Este arco, conforme a Figura II.1 é determinado por:

$$A = V_t \cdot T_s,$$

ou

$$A = \frac{2\pi V_t}{\sqrt{GM}} a^{3/2} \quad (\text{II.4})$$

onde V_t é a velocidade tangencial dos pontos equatoriais, devido à rotação da terra, e é dada por:

$$V_t = \omega_t \cdot R \quad (II.5)$$

sendo ω_t a velocidade angular da terra.

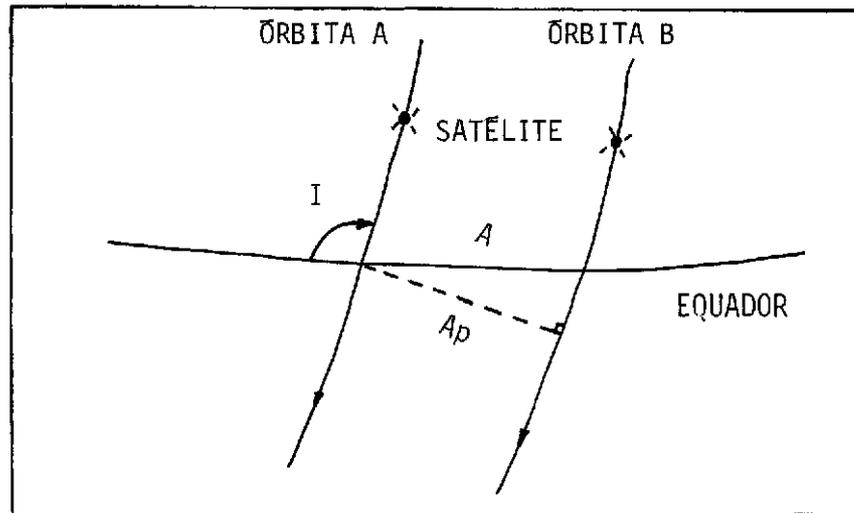


Fig. II.1 - Arco equatorial entre duas órbitas consecutivas (A).

O afastamento no solo, A_p , entre duas passagens consecutivas do satélite, cuja órbita tem inclinação I (Figura II.1), é dada por:

$$A_p = A \sin I \quad (II.6)$$

O número de arcos A , contidos no equador terrestre, é:

$$n = \frac{2\pi R}{A},$$

ou

$$n = \frac{2\pi}{\omega_t T_s} = n_o + n_f \quad (II.7)$$

sendo n_0 a parte inteira e n_f a parte fracionária de n (por falta ou por excesso, tal que $n_f \leq 0,5$), causando um deslocamento de faixa S , conforme a Figura II.2.

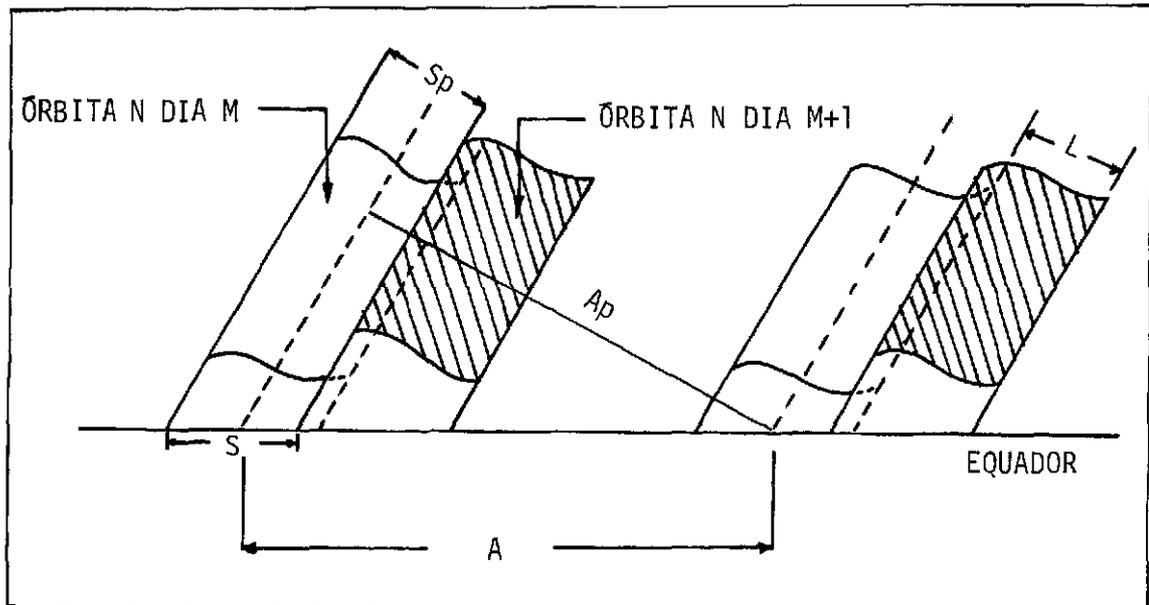


Fig. II.2 - Órbitas em dias consecutivos e deslocamentos S e S_p .

O deslocamento de faixa devido à fração n_f é dado por:

$$S = A \cdot n_f \quad (II.8)$$

e sua projeção na direção perpendicular à trajetória do satélite é:

$$S_p = S \cdot \text{sen} I \quad (II.9)$$

3) Largura de faixa na superfície (L)

A largura de faixa na superfície terrestre é função da altura do satélite e do ângulo de abertura do imageador (Figura II.3).

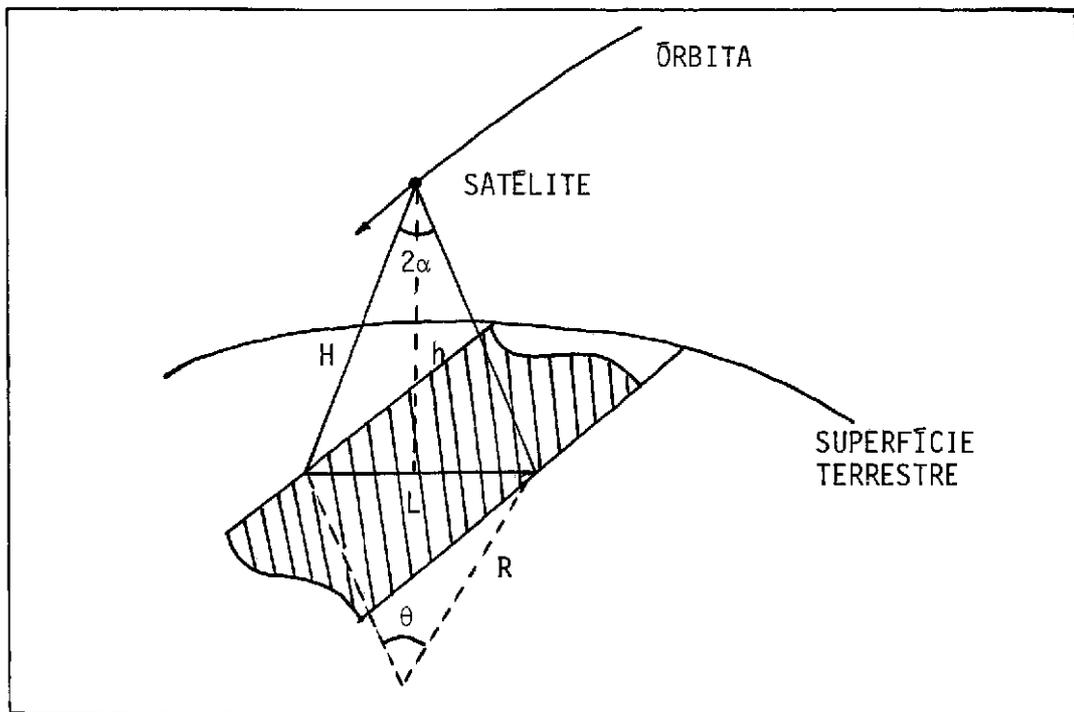


Fig. II.3 - Largura L na superfície terrestre.

Da Figura II.3, vem que

$$\frac{L}{2} = h \cdot \tan \alpha$$

$$L = 2h \tan \alpha, \quad (\text{II.10})$$

mas de acordo com a equação II.2, tem-se que:

$$h = a - R$$

e a equação II.10 torna-se, então:

$$L = 2 (a - R) \tan \alpha \quad (\text{II.11})$$

4) Número de dias para recobrimento total - (N)

O número de órbitas para S varrer todo o equador é:

$$N = \frac{2\pi R}{S} \quad (\text{II.12})$$

em um tempo:

$$T = NT_S \quad (\text{II.13})$$

5) Recobrimento - (R_C)

Em um dia, o satélite executa n_0 revoluções e, na primeira órbita do dia seguinte, cada faixa estará deslocada da anterior de um valor S_p , havendo um recobrimento sobre a faixa precedente que, no equador, é dado por:

$$R_C = L - S_p = L - S \text{ sen } I$$

Fora do equador os meridianos vão se aproximando dos polos (convergência meridiana) e, conseqüentemente, as imagens vão se interceptando cada vez mais, em função da latitude. Então,

$$R_C = L - S \text{ sen } I \cos \phi \quad (\text{II.14})$$

onde ϕ é a latitude do centro da faixa.

Na equação II.14 tomou-se S como arco de paralelo (em primeira aproximação) e isto conduz a um erro que pode ser negligenciável, pois S é arco de círculo máximo.

Em porcentagem tem-se:

$$R_C = \frac{L - S \text{ sen } I \cos \phi}{L} \times 100\%$$

6) Amplitude de varredura - (E)

A amplitude, em relação ao equador, varrida pelo satélite é igual à inclinação de sua órbita, ou o complemento desta, caso a mesma seja maior que 90° , como mostra a Figura II.4. Então:

$$E = \pm I \text{ se } I < 90^\circ$$

$$E = \pm (180 - I) \text{ se } I > 90^\circ$$

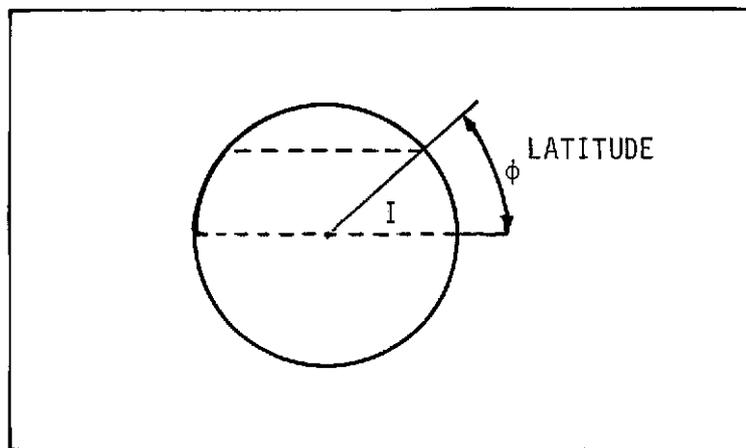


Fig. II.4 - Amplitude de varredura - (E).

2.2.2 - CASO PARTICULAR DO LANDSAT

1) Geometria da órbita

A cobertura repetitiva e sistemática da terra é obtida pelos dois subsistemas imageadores através da órbita quase-circular síncrona com o sol cujos parâmetros

- Período - $T_S \approx 103$ minutos, completando 14 órbitas por dia, cobrindo toda a terra em 18 dias.

- Inclinação - $I \approx 99^\circ$, em relação ao plano do equador
 $\epsilon \approx 9^\circ$, em relação ao pólo norte.
- Altitude - $h \approx 912 \text{ km} \pm 8 \text{ km}$, sendo 0,5 km a variação máxima nu
ma mesma imagem.
- Atitude - Controle contínuo que proporciona desvios máximos de
 $0,6^\circ$ em "YAW", $0,4^\circ$ em "PITCH" e "ROLL".
- Velocidade angular - $\omega_s = \frac{2\pi}{T_s}$

2) Geometria da imagem MSS

O subsistema MSS gera imagens por varreduras transver
sais no sentido do deslocamento do satélite, através de um espelho osci
latório. Somente a oscilação oeste-leste é efetivamente utilizada no
imageamento. A imagem gerada é por projeção híbrida, i.e., ao longo da
órbita a projeção é ortogonal, sendo uma projeção central no sentido da
varredura do espelho.

As especificações básicas do sistema são:

- ângulo de campo - $11,56^\circ$
- frequência do espelho - 13,62 Hz
- largura de varredura no terreno $\approx 185 \text{ km}$
- elemento de imagem no terreno ("pixel") - 79 m
- velocidade do ponto Nadir - 6,48 km/s
- período de varredura - 73,42 ms
- distância focal - 126 mm
- tempo de varredura para uma imagem $\approx 28 \text{ s}$

3) Condições de programação

a - No caso da distância entre duas faixas ser maior ou igual à largura de faixas, i.e., se

$$A_p - L \geq 0,$$

o roteiro é o seguinte:

$$A = V_t T_s$$

$$n = \frac{2\pi}{\omega_t T_s} = n_0 + n_f$$

$$S = An_f$$

$$N = \frac{2\pi R}{S}$$

$$L = L(\alpha \cdot h)$$

$$T = NT_s$$

b - Neste caso, L é maior que A_p , i.e.,

$$A_p - L < 0$$

então, em apenas uma "série" de órbitas em torno do equador haverá cobertura total e o roteiro será:

$$N = n$$

$$T = NT_s$$

2.2.3 - APLICAÇÃO

Segue um exemplo aplicado para o caso do satélite LANDSAT-A

Dados:

$$a = 7285820 \text{ m}$$

$$I = 99,114^\circ$$

$$T_S = 103,2670 \text{ min}$$

$$\omega_t = 4,363326 \times 10^{-3} \text{ rad/min}$$

$$V_t = 463,8335 \text{ m/s}$$

$$R = 6378165 \text{ m}$$

$$\alpha = 5,78^\circ$$

Determina-se:

$$h = 907,655 \text{ km}$$

$$A = V_t T_S = 2873,922 \text{ km}$$

$$n = \frac{2\pi}{\omega_t T_S} = 13,94442613 \rightarrow \begin{cases} n_o = 14 \\ n_f = 0,0555738 \end{cases}$$

$$S = A n_f = 159,715 \text{ km}$$

$$S_p = S \sin I = 157,699 \text{ km}$$

$$N = \frac{2\pi R}{s} = 250,917 \text{ órbitas}$$

$$T = NT_s = 17,994 \text{ dias}$$

$$L \approx 184 \text{ km}$$

Obs: No caso em que $h = 914 \text{ km}$, então $L = 185 \text{ km}$

Recobrimento

ϕ (graus)	R_c (%)
0	14,2
10	15,5
20	19,4
30	25,7
40	34,3
50	45,0
60	57,1
70	70,6
80	88,1

A amplitude no globo terrestre, em relação ao equador é:

$$E = \pm (180^\circ - 99,114^\circ) \approx 81^\circ \text{ (latitude)}$$

2.3 - ESTUDO DA DIFERENÇA DE COORDENADAS DE PONTOS NA SUPERFÍCIE TERRESTRE

Procurando-se saber a diferença de coordenadas de pontos na superfície terrestre, referidos simultaneamente a dois elipsóides diferentes e não orientados, foi relacionada uma série de estações com coordenadas cartesianas geocêntricas conhecidas, as quais foram transformadas em coordenadas geodésicas, adotando-se os elipsóides de HAYFORD e FISCHER como superfícies de referências.

As coordenadas geodésicas, assim obtidas, foram transformadas novamente em coordenadas cartesianas geocêntricas; deste modo, foi calculado o deslocamento entre elas na superfície terrestre.

2.3.1 - RELAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS CARTESIANAS GEOCÊNTRICAS DA ESTAÇÃO E AS GEODÉSICAS

A Figura II.5 mostra as coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) de um ponto A sobre a superfície terrestre. As expressões que relacionam estas com as coordenadas geodésicas ϕ e λ (Ferreira e Pavan, 1976) são:

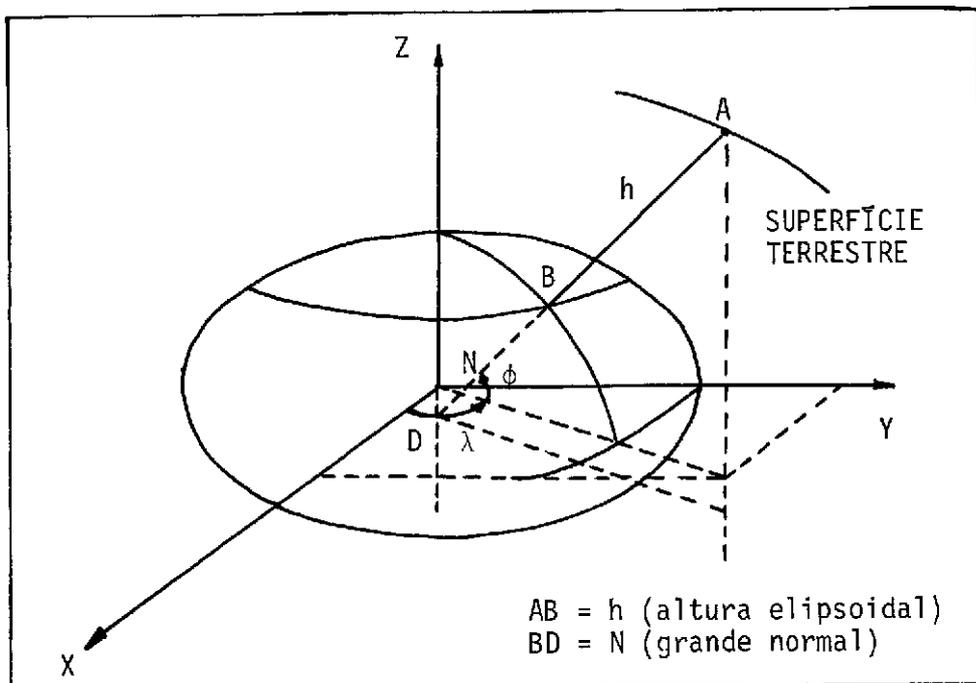


Fig. II.5 - Coordenadas cartesianas da estação - (A)

$$X = \Delta X + (N + h) \cos \phi \cos \lambda \quad (a)$$

$$Y = \Delta Y + (N + h) \cos \phi \sin \lambda \quad (b) \quad (II.15)$$

$$Z = \Delta Z + [N(1 - e^2) + h] \sin \phi \quad (c)$$

onde,

ΔX , ΔY , ΔZ , são a distância do centro do elipsóide ao centro de gravidade da terra; neste trabalho esta distância é tomada igual a zero. A grande normal (N) é determinada por:

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \phi)^{1/2}},$$

sendo:

a - semi-eixo maior do elipsóide

e - excentricidade do elipsóide

As Expressões II.15 permitem transformar coordenadas geodésicas em coordenadas geocêntricas.

A transformação inversa é um pouco mais complicada, pois N é uma função de ϕ .

Então, por intermédio das Expressões II.15, encontram-se

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (\text{II.16})$$

e

$$\tan \phi = \frac{Z + N e^2 \operatorname{sen} \phi}{(X^2 + Y^2)^{1/2}} \quad (\text{II.17})$$

A Equação II.17 é resolvida por um método iterativo, atribuindo-se um valor inicial para ϕ .

TABELA II.1

COORDENADAS GEODÉSICAS DAS ESTAÇÕES

ELIPSÓIDE DE HAYFORD		
ESTAÇÃO	ϕ (LATITUDE)	λ (LONGITUDE)
1	32° 25' 20,277" N	73° 26' 51,167" E
2	36° 27' 51,371" N	06° 12' 17,909" W
3	35° 40' 15,923" N	40° 27' 31,783" W
4	16° 27' 43,819" S	71° 29' 28,516" W
5	31° 56' 36,537" S	65° 06' 20,182" W
6	23° 12' 58,333" S	45° 52' 09,382" W
7	13° 56' 45,859" S	55° 25' 15,896" W
8	15° 05' 43,013" S	57° 40' 32,861" W
9	14° 52' 26,216" S	54° 31' 32,866" W
ELIPSÓIDE DE FISCHER		
ESTAÇÃO	ϕ (LATITUDE)	λ (LONGITUDE)
1	32° 25' 17,518" N	73° 26' 51,167" E
2	36° 27' 48,457" N	06° 12' 17,909" W
3	35° 40' 13,035" N	40° 27' 31,783" W
4	16° 27' 42,161" S	71° 29' 28,516" W
5	31° 56' 33,800" S	65° 06' 20,182" W
6	23° 12' 56,123" S	45° 52' 09,382" W
7	13° 56' 44,431" S	55° 25' 15,846" W
8	15° 05' 41,479" S	57° 40' 32,861" W
9	14° 52' 24,702" S	54° 31' 32,866" W

2.3.2 - RESULTADOS

Os resultados da aplicação das expressões II.16 e II.17 para os elipsóides encontram-se na Tabela II.1. Neste trabalho, foram adotados os elipsóides de Hayford e Fischer, cujos parâmetros são:

$$\begin{aligned}\text{Elipsóide de Hayford} - a &= 6378,388 \text{ km} \\ e^2 &= 6,722670 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Elipsóide de Fischer} - a &= 6378,165 \text{ km} \\ e^2 &= 6,693511 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

Atualmente, o elipsóide adotado no Brasil é o elipsóide de referência 67 (SAD*, 69), com

$$\begin{aligned}a &= 6378,160 \text{ km} \\ e^2 &= 6,694542 \times 10^{-3}\end{aligned}$$

A transformação das coordenadas geodésicas, relacionadas aos dois elipsóides conforme a Tabela II.1, em cartesianas geocêntricas, é feita com a aplicação das Expressões II.15 e os resultados encontram-se na Tabela II.2.

De acordo com a Tabela II.2, as coordenadas cartesianas geocêntricas (X_H, Y_H, Z_H) e (X_F, Y_F, Z_F) apresentam um deslocamento médio entre elas, na superfície terrestre, de aproximadamente 200 metros.

*SAD - *South American Datum*

TABELA II.2

COORDENADAS CARTESIANAS GEOCÊNTRICAS DAS ESTAÇÕES

ESTAÇÃO	X_H (km)	Y_H (km)	Z_H (km)	X_F (km)	Y_F (km)	Z_F (km)	DISTÂNCIA (km)
1	-1535,767	-5167,287	3401,052	-1535,732	-5167,168	3400,882	0,210
2	5105,681	-555,103	3769,800	5105,529	-555,086	3769,687	0,190
3	-3947,133	3366,268	3698,697	-3947,015	3366,167	3698,586	0,300
4	1942,354	-5802,142	-1795,871	1942,975	-5803,997	-1796,450	0,204
5	2280,741	-4914,695	-3355,481	2280,671	-4914,544	-3355,377	0,196
6	4084,163	-4210,009	-2499,026	4084,110	-4209,853	-2499,006	0,166
7	3514,244	-5098,199	-1527,327	3514,296	-5098,274	-1527,350	0,094
8	3293,732	-5205,300	-1650,343	3293,620	-5205,122	-1650,286	0,218
9	3578,822	-5022,104	-1626,848	3578,700	-5021,933	-1626,793	0,217
						$\bar{D} \equiv 0,200$	

X_H, Y_H, Z_H Coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas do sistema Hayford.

X_F, Y_F, Z_F Coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas do sistema Fischer.

BIBLIOGRAFIA

FERREIRA, L.D.D.; PAVAN, A.J. *Estudo da diferença de coordenadas de pontos na superfície terrestre obtidos em elipsóides diferentes.* São José dos Campos, INPE, out. 1976. (INPE - 958-NTI/079).

SILVA, W.C.C.; MAIA, J.C.; FERREIRA, L.D.D. *Estudo do imageamento e distorções geométricas das imagens Landsat.* São José dos Campos, INPE, jun. 1978. (INPE - 1286-PE/140).

CAPÍTULO III

PROCESSAMENTO DE IMAGENS E CLASSIFICAÇÃO DE PADRÕES

3.1 - LABORATÓRIO DE TRATAMENTO AUTOMÁTICO DE IMAGENS - (L.T.A.I.)

3.1.1 - FINALIDADE DO L.T.A.I.

O Sistema Interativo de Análise de Imagem Multiespectral, Image-100, produzido pela General Electric, foi planejado para atender às necessidades do usuário com relação a extração de informações úteis, através de dados que são fornecidos por satélites ou aeronaves. O IMAGE-100 opera baseado no princípio de que todos os objetos possuem características espectrais únicas ou assinaturas. Ele utiliza esta qualidade particular dos diferentes objetos, para analisar simultaneamente as assinaturas em várias faixas de frequência ou comprimentos de onda e identificar áreas similares na imagem, as quais são assinaladas com falsa cor ou temas. Estes temas são, então, apresentados numa tela de televisão colorida, tanto individualmente como superpostos à imagem original que foi utilizada pelo usuário para a classificação.

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

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

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

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

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

3.1.2 - DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DO L.T.A.I.

Os componentes do sistema IMAGE-100 são apresentados e discutidos de acordo com uma sequência lógica de trabalho, devendo, porém, ser salientado que algumas destas unidades podem ser utilizadas com finalidades diferentes. Na Figura III.1, são apresentados todos esses componentes com exceção do "DICOMED" que é utilizado como um componente acessório de saída.

A sequência de descrição estabelecida é a seguinte:

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

O fluxo lógico de atividades é o seguinte: os dados fornecidos pelas imagens, que podem estar na forma de transparências fotográficas ou em fitas magnéticas, são transferidos para a Unidade de Armazenamento de Imagens ou para a Unidade de Disco por intermédio dos componentes de entrada. No primeiro caso, o da transparência, o fornecimento dos dados é feito pela Unidade Digitalizadora, e no segundo caso, é atra

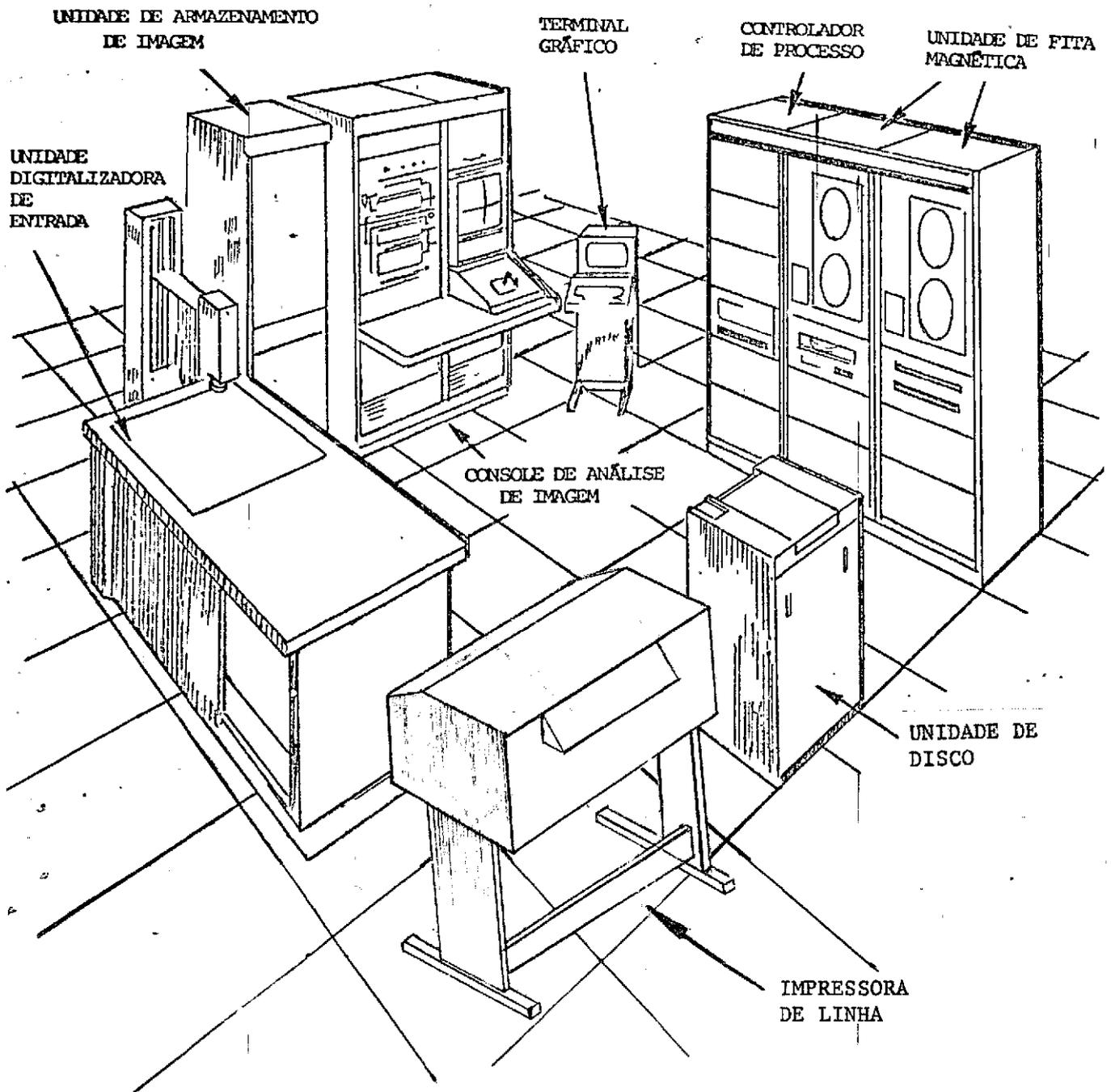


Fig. III.1 - Esquema dos componentes do Sistema IMAGE-100.

vês da Unidade de Fita magnética. Estes dados transferidos para a Unidade de Armazenamento de Imagem são utilizados pelos processos de classificação. Durante a fase interativa de análise ou tratamento em imagem, as informações necessárias à execução do processo são apresentadas ao computador pelo Console de Análise de Imagens e pelo Terminal Gráfico. O console de Análise de Imagem é constituído de um monitor de televisão a cores e um conjunto de funções lógicas especiais para a operação e controle do sistema. Pelo Terminal Gráfico são fornecidas as informações que não podem ser introduzidas pelo painel do Console de Análise de Imagem, podendo-se obter também apresentações de histogramas, resultados de análises estatísticas, relatórios de processos em formas gráficas e alfanuméricos.

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

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

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

Através da Impressora de Linha pode-se obter um mapa alfa numérico dos temas que representem o resultado de uma classificação.

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

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

3.2 - O USO DOS SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

3.2.1 - INTRODUÇÃO

Apresenta-se nesta seção como proceder para utilizar os sistemas de classificação de padrões e processamentos de imagens.

Os sistemas são dois: I-100 e MAXVER. Para cada um deles apresenta-se uma descrição de cada programa.

Nos exemplos que se seguem às descrições, os textos sublinhados são referentes às respostas do usuário.

Qualquer resposta é enviada ao computador acionando-se a tecla de "retorno do carro".

Onde aparece o símbolo < > ou < CR > significa que não houve outra entrada a não ser o "retorno do carro".

3.2.2 - O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO I-100

- 1) ENTRADA/SAÍDA - D2IQIO
 - "VIDEO I/O"
 - DICOMED
 - "PRINTOUT"

- 2) TREINAMENTO E CLASSIFICAÇÃO - "SINGLE CELL"
 - "DISPLAY"

- 3) UTILITÁRIO - ESCALA
 - CURCO
 - TRACO

- 4) PROCESSAMENTO DE IMAGEM - RUÍDO
 - FILTRO
 - "SLICER"
 - "STRETCH"

A seguir, apresenta-se uma explicação sucinta do sistema.

3.2.2.1 - EXPLICAÇÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO I-100

1) ENTRADA/SAÍDA

Dentro do procedimento de transferências de imagens, conforme os tipos de meios de Entrada e Saída, como, Disco, Fita, Vídeo, tem-se programas específicos para cada tipo de transferência.

O programa D2IQIO, é um programa do sistema I-100, cuja finalidade é transferir imagens gravadas em Disco, conforme um formato padrão, para a tela do I-100. O Programa considera dois tipos de coordenadas, coordenadas do LANDSAT e coordenadas da Tela do I-100.

Estas coordenadas estabelecem o tamanho da imagem e sua escala.

Uma imagem do LANDSAT possui como coordenadas originais: $X_1 = 0$; $Y_1 = 0$; $X_2 = 3482$; $Y_2 = 2339$, sendo que a tela do I-100 possui $X_1 = 0$; $Y_1 = 0$; $X_2 = 511$; $Y_2 = 511$. Usando-se estas coordenadas ter-se-á uma cena inteira do LANDSAT na tela do I-100.

Outro programa de transferência é o "Video I/O", que permite transferir imagens da tela do I-100 para a fita magnética, e vice-versa. Neste programa o operador não deve se preocupar com as coordenadas, somente com os canais da imagem a serem transferidos.

Outro programa de transferência é o "DICOMED", responsável pela transferência de imagens da tela do I-100 para o Gravador de Imagens (Filme Fotográfico), sendo que a transferência só se faz neste sentido. O operador deverá se preocupar com a calibração do gravador de imagens, conforme o filme usado, considerando sua sensibilidade. A transferência é feita canal por canal do I-100, um de cada vez.

O Programa "Printout" permite a obtenção de um mapa temático, pela impressora, após o resultado de uma classificação em temas; permite também a impressão de caracteres superpostos, aumentando o contraste do mapa temático. O mapa temático gerado pela impressora é constituído de duas partes, correspondentes às duas metades do vídeo do I-100.

A seguir, são apresentadas as listagens do diálogo dos programas D2IQIO, VIDEO I/O (opções RESTORE e SAVE), DICOMED e PRINTOUT.

PROGRAMA D2IQIO

*** IMAGE - 100 LOADER ***

ERTS X1, Y1 = (1, 1) > <>
ERTS X2, Y2 = (3240, 2340) > <>

IMAGE X1, Y1 = (1, 0) > 0 0
IMAGE X1, Y1 = (0, 0) > <>
IMAGE X2, Y2 = (512, 1) > 511 511
IMAGE X2, Y2 = (511, 511) > <>

BANDS 4 5 6 7 ON CHANNELS 1 2 3 4 > <>

*** IMAGE - 100 LOADER ***

ERTS	IMAGE
(1, 1)	(0, 0)
*****	*****
* * *	* * *
* * *	* * *
* * *	* * *
* * *	* * *
*****	*****
(3240, 2340)	(511, 511)

BANDS 4 5 6 7 ON CHANNELS 1 2 3 4

ERTS DATA FILE NAME > A.DAT

PROCEED ? (Y/N) > Y

(R)ESTART OR E(X)IT ? > X

PROGRAMA VIDEO I/O

(OPÇÃO RESTORE)

*** VIDEO CHANNEL SAVE/RESTORE D8/2.1 ***

(S)AVE VIDEO ...

(R)ESTORE VIDEO ... >

R

--- DEVICE, FILE NAME, & UIC ---

DEVICE: MT

UNIT: 4 > 6

FILE NAME > N6VT21.780

UIC: (100, 2)

IMAGE : < MT6:N6VT21.780(100, 2) (F)ULL-, (P)ARTIAL-, (N)-RESTORE > P

IMAGE CH1 TO BE RESTORE ...

SPECIFY NEW CHANNEL, (0=NO) > 1

IMAGE CH2 TO BE RESTORE ...

SPECIFY NEW CHANNEL, (0=NO) > 2

PARAMETER FILE BEING RESTORE ...

VIDEO RESTORE SUCCESSFUL !!!

(R)ESTART OR E(X)IT ? > X

PROGRAMA VIDEO I/O
(OPÇÃO SAVE)

*** VIDEO CHANNEL SAVE/RESTORE D8/2.1 ***

(S)AVE VIDEO ...

(R)ESTORE VIDEO ...

S

TYPE ALL CHANNEL NUMBERS (CR = 1 TO 5) > 1

--- DEVICE, FILE NAME, & UIC ---

DEVICE: MT

UNIT: 4 > TESTE.980

--- DEVICE, FILE NAME & UIC ---

DEVICE: MT

UNIT: 4 > 6

FILE NAME > TESTE.980

UIC: (100, 2)

MT6:TESTE .980(100, 2) < IMAGE CH10000: PROCEED ? (Y/N) > Y

PROGRAMA DICOMED

* IMAGE/TEMA RECORDER *

AVISOS: VERIFICAR ALTA TENSÃO E CALIBRAÇÃO
ASSOCIE DO CANAL AO FILTRO
COLOQUE 0 PARA FILTRO NÃO DESEJADO

(T)EMA OU (I)MAGEM ? > I
QUAIS OS CANAIS ? (N R G B) > 0 4 2 1
COORDENADAS DO DICOMED =(DX1,DY1) > 0 0
(R)ECOMEÇA, (C)ONTINUA OU (F)IM ?>

PROGRAMA PRINTOUT

*** IMPRESSAO DE TEMAS ***

ASSOCIE CARACTERES AOS TEMAS

** SUGESTAO **

1 = (8 0)
2 = (. *)
3 = (x 0)
4 = (= 0)
5 = (0)
6 = (")
7 = (+)
8 = (.)

ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 1 > 8 0 *
ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 2 > . *
ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 3 > X 0
ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 4 > = 0
ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 5 > 0
ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 6 > "
ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 7 > *
ESCOLHA OS SIMBOLOS PARA O TEMA 8 > &
(R)ECOMECA, (C)ONTINUA OU (F)IM ? >

2) TREINAMENTO E CLASSIFICAÇÃO

O Programa "SINGLE-CELL" é empregado para classificação utilizando-se como área de treinamento, o cursor ou os temas, selecionados por controles no painel do I-100. O programa assinala, com uma cor verde brilhante (alarme), os pontos da imagem cujos níveis de cinza estão compreendidos entre os limites da cela única.

O programa "DISPLAY" apresenta, simultaneamente, na tela do terminal, os Histogramas dos quatro canais do I-100, que são distribuições de nível de cinza dentro da área de treinamento, apresentadas ao programa "SINGLE-CELL". Caso o operador queira analisar algum canal em particular, deve introduzir o número do canal. Em seguida, é plotado o histograma do canal especificado, disponível para alterações em seus limites inferior e superior, oferecendo assim uma maneira de alterar a assinatura adquirida pelo programa "SINGLE-CELL".

A seguir, são apresentadas as listagens de diálogo e os resultados dos programas SINGLE-CELL e DISPLAY.

PROGRAMA "SINGLE-CELL"

*** 1-CELL SIGNATURE ACQUISITION - REV. B- ***

CHANNEL	EFFECTIVE RESOLUTION	BOUND-THRESHHOLDS(%)			START LEVEL	FINISH LEVEL
		LOW	INC/D	HIGH		
1	128	0.00	(100.00)	0.00	0	127
2	128	0.00	(100.00)	0.00	0	127
3	128	0.00	(100.00)	0.00	0	127
4	128	0.00	(100.00)	0.00	0	127

/// TRAINING IN PROGRESS ///

/// TRAINING COMPLETE ///

CHANNEL	SPECTRAL-BOUNDS	DELTA	PEAK	MEAN	VARIANCE
1	(4- 15)	12	319.	9.27	2.45
2	(6- 41)	36	157.	12.82	9.42
3	(13- 56)	44	139.	30.62	45.33
4	(12- 64)	53	89.	35.23	63.03

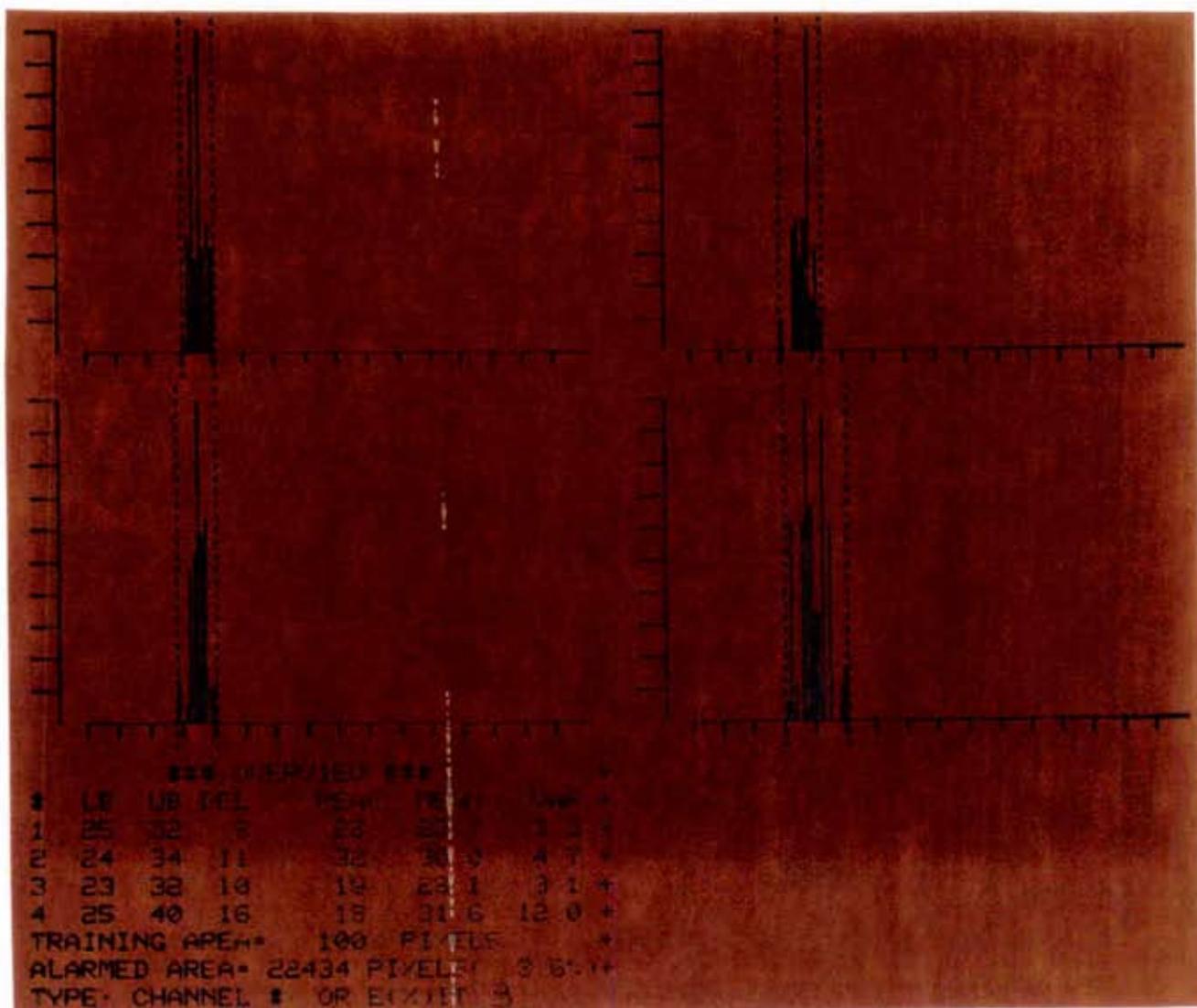
TRAINING AREA = 1140.

ALARMED AREA = 236403. (91.1%)

PARALLELEPIPED CELLS = 1007424.

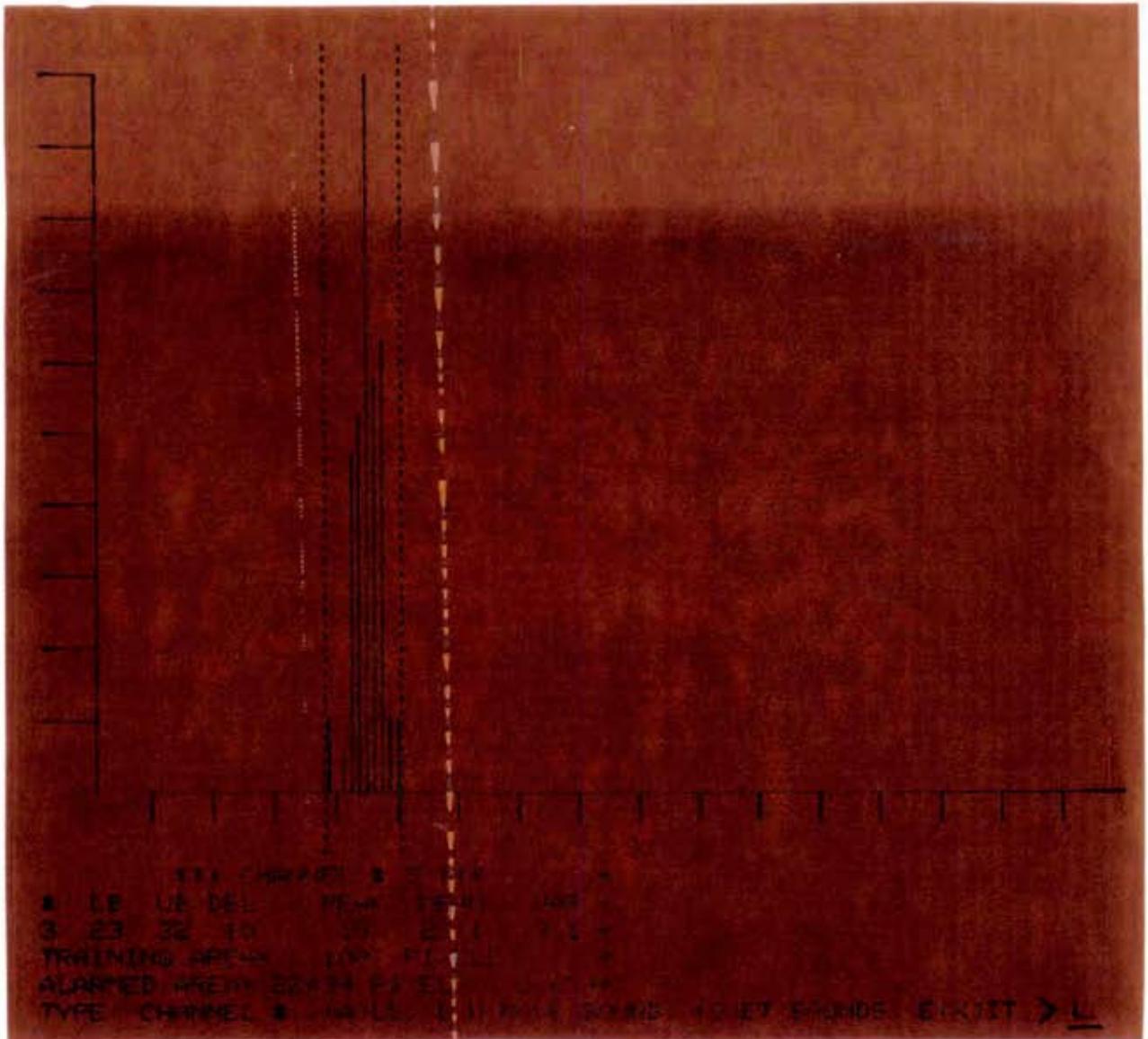
FIGURE OF MERIT = 266.

PROGRAMA DISPLAY



PROGRAMA DISPLAY

(OPÇÃO MODIFICAÇÃO DOS LIMITES DO HISTOGRAMA)



3) UTILITÁRIOS

O Programa "ESCALA" permite dimensionar as imagens do LANDSAT conforme várias escalas estabelecidas, podendo fornecer inclusive a escala da imagem atual, ou seja, a que se encontra no vídeo.

O programa "CURCO" permite ao operador saber as coordenadas da imagem, dentro de uma área indicada pelo cursor.

Para delimitação de áreas, o sistema dispõe do programa "TRACO". A delimitação é guardada em um tema e o cursor serve como "CANETA", para estabelecer as linhas, sendo que o cursor deve estar na forma de cruz. Após obter uma área delimitada, pode-se preenchê-la guardando-a em um tema escolhido.

A seguir, são apresentadas as listagens de diálogo dos programas ESCALA, CURCO e TRACO.

PROGRAMA ESCALA

***** ESCALA DE IMAGENS LANDSAT NO I-100 *****

ESCALA NO (V)IDEO OU EM (P)RINT-OUT ? > V
EX1 = 0 EY1 = 0 EX2 = 3482 EY2 = 2340

VIDEO DO I-100 DX,DY EM CM = 26.00 26.00 29. 29.
QUER A ESCALA DA IMAGEM ATUAL ? (S/N) > N
SELECIONE PONTO CENTRAL DA AREA DE INTERESSE CR

EXC = 1771 EYC = 2096
QUAL A ESCALA DESEJADA 1:100000.

EX1 = 1517 EY1 = 1886 EX2 = 2025 EY2 = 2252
NUMERO DE PIXELS NA HORIZONTAL = 508 NA VERTICAL = 367
SKEW FACTOR = 0.00000000
(R)EINICIA OU (E)NCERRA ? > R

***** ESCALA DE IMAGENS LANDSAT NO I-100 *****

ESCALA NO (V)IDEO OU EM (P)RINT-OUT ? > V
EX1 = 1517 EY1 = 1886 EX2 = 2025 EY2 = 2252

VIDEO DO I-100 DX,DY EM CM = 26.00 26.00 29. 29.
QUER A ESCALA DA IMAGEM ATUAL ? (S/N) > S

ESCALA HORIZONTAL = 1 : 99848.3 ESCALA VERTICAL = 1 : 99703.4
(R)EINICIA OU (E)NCERRA ? > E

PROGRAMA CURCO

*** SCALED CURSOR READOUT ***

EX1 =	0,	EY1 =	0	>	<u>1 1</u>
EX1 =	1,	EY1 =	1	>	<>
EX2 =	0,	EY2 =	0	>	<u>3240 2340</u>
EX2 =	3240,	EY2 =	2340	>	<>
IX1 =	0,	IY1 =	0	>	<>
IX2 =	0,	IY2 =	0	>	<u>511 511</u>
IX2 =	511,	IY2 =	511	>	<>

*** SCALED CURSOR READOUT ***

EX1 =	1	EY1 =	1	EX2 =	3240	EY2 =	2340
IX1 =	0	IY1 =	0	IX2 =	511	IY2 =	511

X1 =	1230	Y1 =	898	X2 =	2035	Y2 =	1479
X1 =	1230	Y1 =	907	X2 =	2035	Y2 =	1488
X1 =	1230	Y1 =	916	X2 =	2035	Y2 =	1497
X1 =	1230	Y1 =	925	X2 =	2035	Y2 =	1506
X1 =	1243	Y1 =	925	X2 =	2048	Y2 =	1506

(C)ICLE OR E(X)IT ? X

PROGRAMA TRACO

QUAL O NUMERO DO TEMA ? >7

ENCERRA (S/N) ? S

PREENCHER (S)IM/(N)A0 >S

PREENCHER LINHAS (S)IM (N)A0 ? >S

ENTRE COM O LIMIAR >40

ENTRE COM O LIMIAR >X

OUTRO (T)EMA OU (P)ARE ? >P

4) PROCESSAMENTO DE IMAGENS

O sistema I-100 possui programas que melhoram a qualidade da imagem transmitida pelo satélite.

Em algumas imagens é possível a ocorrência de ruídos, aparecendo comumente em forma de linhas horizontais.

O Programa "RUIDO" visa eliminar esse tipo de degradação obtendo-se assim uma imagem de melhor qualidade visual.

O programa "FILTRO" baseado em técnicas de filtragem digital consegue também melhorar a qualidade da imagem, podendo realçar ou suavizar suas bordas e definir estruturas que muitas vezes se misturam, não aparecendo de forma definida na imagem original.

O programa "SLICER" permite ao usuário dividir a imagem em faixas de níveis de cinza. O Programa extrai o histograma de toda a imagem, ou somente da área do cursor, plotado no vídeo do terminal.

O programa consegue seccionar a imagem em até oito faixas de níveis de cinza. Os "pixels" compreendidos em cada faixa são apresentados nos temas da tela do I-100.

O programa "STRETCH" permite realce de uma imagem contrastando seus níveis de cinza. O programa também constrói um histograma da imagem, que é plotado no terminal de vídeo, contendo limitadores móveis que permitem alterar os limites normais de nível de cinza que a imagem ocupa. Usando uma regra de transformação, conforme a escolha do usuário, o programa reescala os níveis de cinza contidos nos limites anteriores, de modo a ocupar toda a faixa de nível de cinza possível.

A seguir, são apresentadas as listagens de diálogo dos programas RUIDO, FILTRO, SLICER e STRETCH.

PROGRAMA RUIDO

CANAIS DE ENTRADA E DE SAIDA > 1 5

LIMIARES INFERIOR E SUPERIOR > 15 30

PROGRAMA FILTRO

(TIPO 1)

*** FILTRO BIDIMENSIONAL CURTO - 3 TIPOS ***

A	B	D	D
ADB	AAA	ADA	ADA
DCD	BBBCBBB	BBBCBBB	BBBCBBB
BDA	AAA	ADA	ADA
B	A	D	D
(1)	(2)	(3)	(3)

QUAL O TIPO DO FILTRO ? 1

ENTRAR COM A,B,C,D > 1 -2 10 1

ENTRE COM ATEH 4 PARES !

CANAIS DE ENTRADA E SAIDA, (R)ECOM. (X=SAI) > 1 5

PARAMETROS: A= 1, B= -2, C= 10, D= 1, PESO = 10
DO CANAL 1 PARA 0 5

(R)ECOMECA, NOVOS (P)ESOS, (F)IM CR = CONT > P

ENTRAR COM A,B,C,D > 0 -1 1 3

ENTRE COM ATEH 4 PARES !

CANAIS DE ENTRADA E DE SAIDA, (R)ECOMECA (X=SAI) > 1 2

PARAMETROS: A= 0, B= -1, C= 1, D= 3, PESO = 9
DO CANAL 1 PARA 0 2

(R)ECOMECA, NOVOS (P)ESOS, (F)IM CR = CONT > <CR >

ENTRE COM ATEH 4 PARES !

CANAIS DE ENTRADA E DE SAIDA, (R)ECOM. (X=SAI) > X

PROGRAMA FILTRO

(TIPO 3)

*** FILTRO BIDIMENSIONAL CURTO - 3 TIPOS ***

A	B	D	D
ADB		AAA	ADA
DCD		BBBCBBB	BBBCBBB
BDA		AAA	ADA
B	A	D	D
(1)		(2)	(3)

QUAL O # DO FILTRO? > 3

ENTRAR COM A, B, C, D > 1 -2 28 -2

ENTRE COM ATEH 4 PARES !

CANAIS DE ENTRADA E SAIDA, (R)ECOM. (X=SAI) > 1 2 3 5

PARÂMETROS: A= 1, B= -2, C= 28 D= -2, PESQ= 12

DO CANAL 1 PARA 0 2

DO CANAL 3 PARA 0 5

(R)ECOMECA, NOVOS (P)ESOS, (F)IM <CR>=CONT><CR>

ENTRE COM ATEH 4 PARES !

CANAIS DE ENTRADA E SAIDA, (R)ECOM. (X=SAI)> X

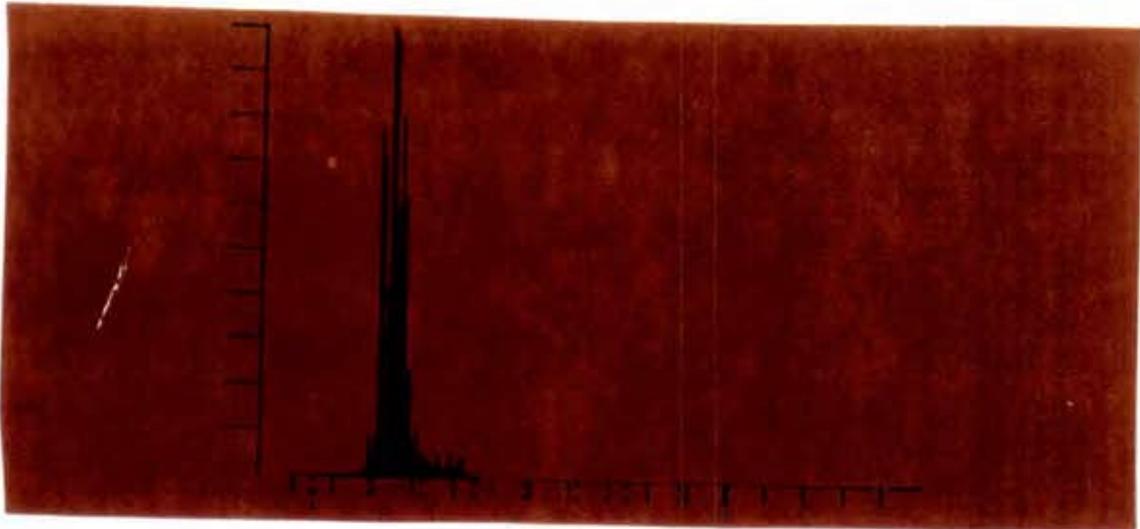
PROGRAMA SLICER

*** 1-CHANNEL LEVEL SLICER ***

TYPE CHANNEL# > 4

POSITION CURSOR ABOUT AREA TO BE SLICED

IS THERE AREA TO BE SLICED? IF YES INPUT THEME #, IF NO (CR) > 5



(N)ORMAL, (E)QUIDISTRIBUTION, (M)ANUAL OR E(X)IT > N

TYPE # -OF-SLICES > 8

U/L MOVE BOUND (C)ONTINUE OR E(X)IT > C

THEME(1): 8 TO 29
THEME(2): 30 TO 51
THEME(3): 52 TO 72
THEME(4): 73 TO 93
THEME(5): 94 TO 114
THEME(6): 115 TO 135
THEME(7): 136 TO 156
THEME(8): 157 TO 177

(R)ESTART, (C)ONTINUE OR E(X)IT > X

PROGRAMA STRETCH

*** TRIPLE MODE CONTRAST S-T-R-E-T-C-H REV. A ***

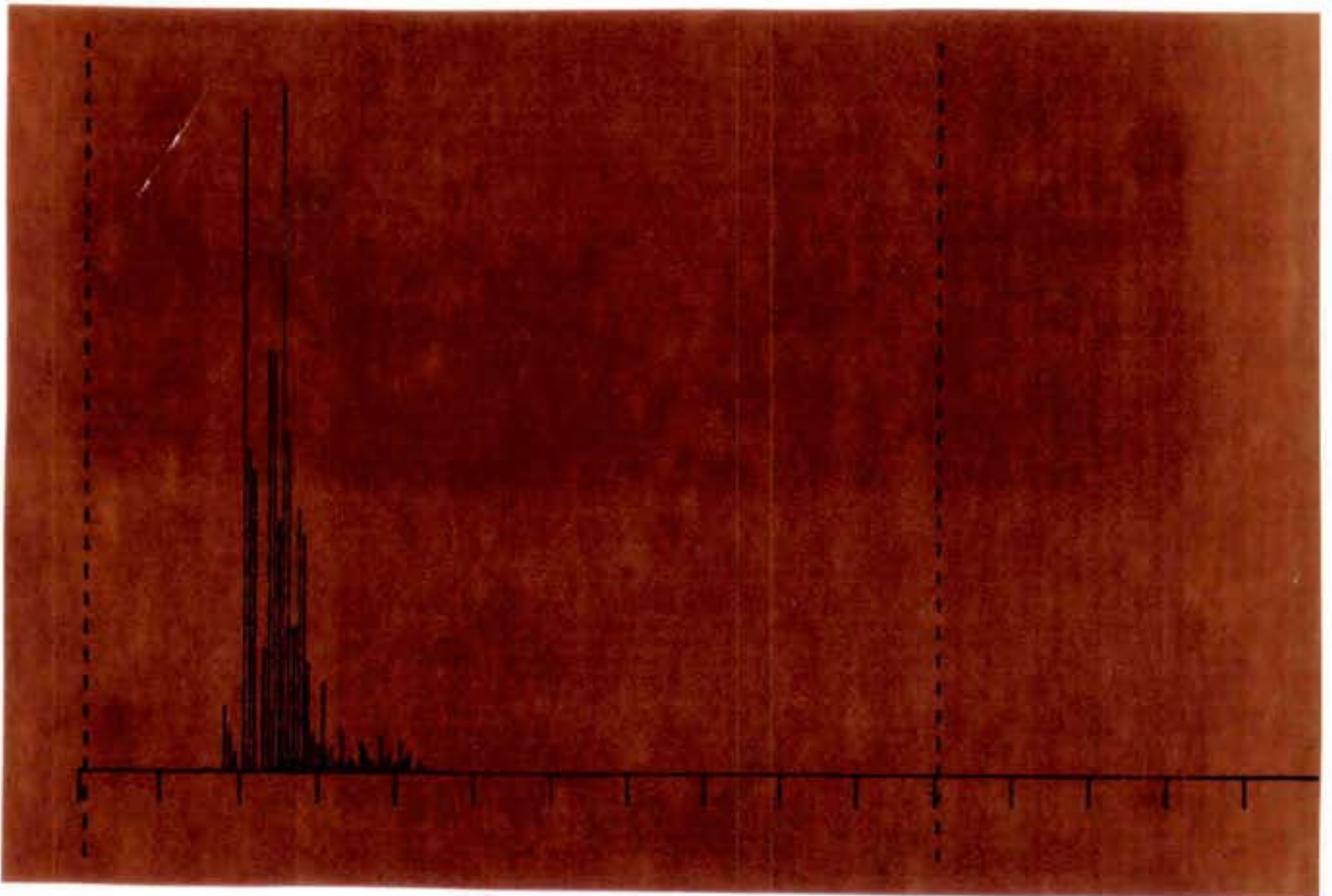
DESIGNATE SOURCE CHANNEL # > 4

(L)INEAR, (E)QUI-DISTRIBUTION OR (S)QUARE-ROOT STRETCH ? > L

REFERENCE (W)HOLE SCREEN OR (C)CURSORED AREA ? > W

DATA BEING COLLECTED

(C)YCLE OR E(X)IT ? > X



SET (L)OWER, (U)PPER BOUND, (C)CONTINUE OR E(X)IT ? > C

DESIGNATE OUTPUT CHANNEL # > 5

Cabe ressaltar que a sequência de programa, eventualmente utilizada no processamento de imagem, não é padronizada, podendo ser alterada conforme a necessidade de análise de imagem.

3.2.3 - SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO MAXVER

TREINAMENTO: MAXV01
ORDCEL

CLASSIFICAÇÃO: MAXV10
MEDIK

UTILITÁRIOS: MAXV02
MAXV04

A seguir, apresenta-se uma explicação do sistema MAXVER.

3.2.3.1 - EXPLICAÇÃO DO SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO MAXVER

Este sistema é destinado à classificação estatística ponto a ponto (critério de máxima verossimilhança) de imagens multiespectrais; em geral, provenientes do satélite LANDSAT.

Existem dois tipos de classificação: supervisionada, a qual necessita de áreas de treinamento para cada classe desejada, e a não supervisionada, que necessita apenas de uma área geral contendo todas as classes de interesse.

Os programas do sistema dividem-se em dois grupos:

- 1) os destinados ao "treinamento", ou seja, à aquisição das classes e de seus parâmetros, realizada pelos programas MAOV01 no caso supervisionado, e ORDCEL no caso não supervisionado;

- 2) os destinados à classificação da imagem, realizada pelos programas MAXV1Ø , no caso da classificação supervisionada e MEDIAK, no caso da classificação não supervisionada.

Os programas da fase de treinamento são interativos, enquanto que os da classificação não necessitam da participação do usuário.

O sistema possui também alguns programas utilitários como o MAXVØ2 e o MAXVØ4. O programa MAXVØ2 calcula uma "matriz de classificação" que fornece uma estimativa da separação entre as classes e dos erros prováveis de classificação. O programa MAXVØ4 subtrai amostras ou classes adquiridas.

3.2.3.2 - LISTAGEM DO DIÁLOGO

PROGRAMA MAXVØ1

AQUISIÇÃO DE PARAMETROS

POSICIONE O CURSOR SOBRE A AMOSTRA > < >

PARAMETROS DA AMOSTRA

NO. DE PONTOS = 100.

MEDIA = 46.60 29.75 74.66 143.40

MATRIZ DE AUTOCORRELAÇÃO = 2178.96 1391.06 894.91 3488.76 2226.18
5648.10 6695.82 4265.24 10842.87 20888.80

ADICIONAR AMOSTRA(A) OU CRIAR NOVA CLASSE(C) ? > C

ENTRE COM O NOME DA CLASSE > MATA

PARAMETROS DA CLASSE 1 MATA

NO. DE PONTOS = 100.

MEDIA = 46.60 29.75 74.66 143.40

MATRIZ DE COVARIANCIA:

	7.40	4.71	9.60	13.38
	4.71	9.85	5.04	-0.91
	9.60	5.04	73.98	136.63
	13.38	-0.91	136.63	325.24

AQUISIÇÃO COMPLETADA

AQUISIÇÃO DE PARAMETROS

POSICIONE O CURSOR SOBRE A AMOSTRA > < >

PARAMETROS DA AMOSTRA

NO. DE PONTOS = 100.

MEDIA = 46.77 28.54 76.80 144.16

MATRIZ DE AUTOCORRELAÇÃO = 2197.59 1338.58 819.22 3615.77 2203.14
6040.44 6798.32 4139.99 11381.97 21523.68

ADICIONAR AMOSTRA (A) OU CRIAR NOVA CLASSE (C) > A

CLASSES ATE AGORA

1. MATA
2. SOLO
3. SOMBRA
4. VEGETAL

QUAL CLASSE (#)? > 1

PARAMETROS DA CLASSE 1 MATA

NO. DE PONTOS = 300.

MEDIA = 46.08 28.02 78.38 151.68

MATRIZ DE COVARIANCIA:

	12.34	6.48	21.70	41.03
	6.48	10.03	7.59	6.76
	21.70	7.59	185.67	341.07
	41.03	6.76	341.07	812.65

PROGRAMA ORDCEL

RUN ORDCEL

*** CONTAGEM E ORDENAÇÃO DE CELAS ***

ENTRE COM O NUMERO DE CANAIS > 4
AREAS POR (C)URSOR OU (T)EMAS ? > C
POSICIONE O CURSOR E CR , E(X)IT, OU (O)RDENAR > <>

AMOSTRAGEM - LINHAS, COLUNAS > 1 1 > <>

TEMPO DE AQUISIÇÃO = 2.02
TEMPO ACUMULADO = 2.02
POSICIONE O CURSOR E CR , E(X)IT, OU (O)RDENAR > 0

NUMERO TOTAL DE CELAS = 945
TEMPO = 2.02

/// GRAVAÇÃO DO QUICK4.DAT ///

/// FIM DA GRAVAÇÃO ///

QUER IMPRESSORA ? < S/N > S
QUANTOS PTOS QUER IMPRIMIR ?, QUER (T)ODOS ? > T

(Cont. do Programa ORDCEL)

NUMERO TOTAL DE CELAS = 945 TEMPO = 2.12

*** PONTOS ORDENADOS POR POPULAÇÃO ***

6	21	29	65	78
5	23	33	72	82
4	21	33	65	73
4	19	30	58	70
4	22	36	65	78
4	22	31	65	77
4	25	33	62	73
4	22	35	65	79
4	19	30	54	61
4	18	24	53	64
3	23	31	68	82
3	20	31	59	72
3	15	20	46	59
3	21	33	65	78
3	21	33	62	69
3	19	28	58	70
3	22	30	70	79
3	22	30	70	84
3	22	31	65	73
3	19	26	59	68
3	19	29	59	63
3	18	20	76	95
3	22	33	65	77
3	21	33	71	87
3	22	30	60	70
3	22	36	65	73
3	19	21	75	87
3	16	24	43	49
3	17	23	59	67
3	22	27	76	91
3	15	20	40	46
3	18	24	56	64
2	19	24	84	92
2	22	31	61	73
2	13	18	47	58
2	22	31	61	68
2	19	29	59	68
2	12	15	43	55
2	18	24	57	64
2	18	24	65	77
2	18	31	54	64
2	21	29	56	69
2	15	17	47	60
2	18	24	47	64

PROGRAMA MAXVIØ

CLASSIFICAÇÃO

CLASSES:

1. MATA
2. SOLO
3. SOMBRA
4. VEGETAL

ENTRE COM OS TEMAS ASSOCIADOS AS CLASSES

CLASSE > 1 TEMA > 1
CLASSE > 2 TEMA > 2
CLASSE > 3 TEMA > 3
CLASSE > 4 TEMA > 4

ENTRE O LIMIAR >5
TODA A TELA? (S/N) >N
POSICIONE O CURSOS > <>

*** RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO ***

CLASSE: 1	MATA	(TEMA 1):	AREA	0.(0.00%)
CLASSE: 2	SOLO	(TEMA 2):	AREA	0.(0.00%)
CLASSE: 3	SOMBRA	(TEMA 3):	AREA	2.(1.11%)
CLASSE: 4	VEGETAL	(TEMA 4):	AREA	0.(0.00%)

NÃO CLASSIFICADOS-AREA = 178. (98.89%)
NO. TOTAL DE PONTOS = 180.
LIMIAR = 5.00

*** CLASSIFICAÇÃO TERMINADA ***

PROGRAMA MEDIAK

***CLASSIF. NÃO SUPERV. MEDIA-K COM SEPARABILIDADE ***

QUER POP. (U)NITARIA POR CELA ? < CR > =CONT.> < >

ENTRE COM POP. MINIMA P/ SE MANTER CLASSES,
COM PRECISÃO PARA O ALGORITMO (# REAL), [D] =0.001
E NUMERO MAXIMO DE INTERAÇÕES [D] =15 > 10 0.15

NOME DO ARQUIVO DE PARAM. < CR > =POR COMMON > TESTE.MAX

LIMIAR (>) DE POP. P/ SE CONSIDERAR PT. > 0

NUMERO DE PONTOS: 1000
QUER NOVO LIMIAIR? (S/N) > S

LIMIAR (>) DE POP. P/ SE CONSIDERAR PT. > 1

NUMERO DE PONTOS: 581
QUER NOVO LIMIAIR? (S/N) > N

ENTRE COM AS COORDENADAS DOS CENTROS DAS CLASSES
(OBS: ATE 32 CLASSES,
CASO QUEIRA, A OPÇÃO (M) DEVE SER A PRIMEIRA A USAR)
(X,Y,W,Z), (C)URSOS, (A)PAGA, (M)AXVER, (K) 10.S OU ...
< CR > =CONT > K

QUANTOS CENTROS? > 3
(X,Y,W,Z), (C)URSOS, (A)PAGA, (M)AVER, (K) 10.S OU ...
< CR > =CONT. > < >

NUMERO DE INTERAÇÕES: 5

MEDIAS E POPULAÇÃO

CLASSE 1	POPULAÇÃO	591	VAR..>	4.27	18.35	22.37	35.70
MEDIAS (CANAIAS: 1 2 3 4)>		19		25	73	82	
CLASSE 2	POPULAÇÃO	703	VAR..>	3.98	14.62	18.52	27.23
MEDIAS (CANAIAS: 1 2 3 4)>		18		26	60	67	
CLASSE 3	POPULAÇÃO	311	VAR..>	12.82	72.19	43.61	54.46
MEDIAS (CANAIAS: 1 2 3 4)>		16		25	44	48	

QUER (M)ODIFICAR ALGUMA CLASE? ...
(I)MPRIMIR E GUARDAR RESULTADOS? ...
(G)UARDAR RESULTADOS? ...
(R)ECOMEÇA OU (F)IM? ... > G

(Cont. do Programa MEDIK)

*** CLASSIF. NAO SUPERV. MEDIA-K COM SEPARABILIDADE ***

QUER POP. (U)NITARIA POR CELA ? < CR > = CONT. > < >
ENTRE COM POP. MINIMA P/ SE MANTER CLASSES,
COM PRECISAO PARA A ALGORITMO (# REAL), (D)=0.001
E NUMERO MAXIMO DE INTERACOES (D)=15 > 10 0.1 5
NOME DO ARQUIVO DE PARAM. < CR > = POR COMMON > TESTE.MAX

LIMIAR (>) DE POP. P/ SE CONSIDERAR PT. > 1

NUMERO DE PONTOS: 581

QUER NOVO LIMIAIR ? (S/N) > N

ENTRE COM AS COORDENADAS DOS CENTROS DAS CLASSES

(OBS: ATE 32 CLASSES,

CASO QUEIRA, A OPCAO (M) DEVE SER A PRIMEIRA A USAR)

(X,Y,W,Z), (C)URSOR, (A)PAGA, (M)AXVER, (K) 10.S OU ...

< CR > = CONT. > M

COORDENADAS DO PT. > 19 25 73 82

COORDENADAS DO PT. > 18 26 60 67

COORDENADAS DO PT. > 16 25 44 48

(X,Y,W,Z), (C)URSOR, (A)PAGA, (M)AXVER, (K) 10.S OU ...

< CR > = CONT. > < >

* MEDIA-K COM SEPARABILIDADE *

NUMERO DE INTERACOES: 1

MEDIAS E POPULACAO

CLASSE 1 POPULACAO 591 VAR.. > 4.27 18.35 22.73 35.70

MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4) > 19 25 73 82

CLASSE 2 POPULACAO 703 VAR.. > 3.98 14.62 18.52 27.23

MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4) > 18 26 60 67

CLASSE 3 POPULACAO 311 VAR.. > 12.82 72.19 43.61 54.46

MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4) > 16 25 44 48

QUER (M)ODIFICAR ALGUMA CLASSE ? ...

(I)MPRIMIR E GUARDAR RESULTADOS ? ...

(G)UARDAR RESULTADOS ? ...

(R)ECOMECA OU (F)IM ? ... > M

CLASSE A SER DIVIDIDA E FATOR MULT. DE SEPAR. X.X > 1 0.6

* MEDIA-K COM SEPARABILIDADE *

* NOVOS CENTROS INICIAIS *

MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4) > 19 25 73 104

MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4) > 18 26 60 67

(Cont. do Programa MEDIAS)

MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4) > 16 25 44 48
MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4) > 19 25 73 61

REAPLICA O ALGORITMO ? S/N X= SAI > S

NUMERO DE INTERACOES: 5

MEDIAS E POPULACAO

CLASSE 1 POPULACAO	254	VAR.. >	3.48	10.42	14.22	17.90
MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4)	>	18	23	77	88	
CLASSE 2 POPULACAO	568	VAR.. >	4.11	14.76	14.37	23.30
MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4)	>	18	26	59	65	
CLASSE 3 POPULACAO	298	VAR.. >	13.16	74.61	42.04	52.81
MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4)	>	16	25	44	48	
CLASSE 4 POPULACAO	485	VAR.. >	4.38	17.97	11.58	13.41
MEDIAS (CANALIS: 1 2 3 4)	>	19	27	68	76	

QUER (M)ODIFICAR ALGUMA CLASSE ? ...
(I)MPRIMIR E GUARDAR RESULTADOS ? ...
(G)UARDAR RESULTADOS ? ...
(R)ECOMECA OU (F)IM ? ... > I

PROGRAMA MAXVØ2

*** MATRIZ DE CLASSIFICACAO ***

ENTRE COM O LIMIAR > 5.
LIMIAR = 5.00

*** MATRIZ DE CLASSIFICACAO ***

	N	1	2	3	4
1. MATA	2.3	97.3	0.0	0.0	0.3
2. SOLO	3.0	0.0	91.0	0.5	5.5
3. SOMBRA	2.0	1.0	1.0	96.0	0.0
4. VEGETAL	3.0	4.0	13.0	0.0	80.0

DESEMPENHO MEDIO DM = 93.3%

ABSTENCAO MEDIA AM = 2.5%

CONFUSAO MEDIA CM = 4.3%

PROGRAMA MAXV04

CLASSES

1. MATA
2. SOLO
3. SOMBRA
4. VEGETAL

AMOSTRAS

AMOST	CLAS	XI	XF	YI	YF
1	1	284	297	196	213
2	1	306	319	224	241
3	2	318	331	128	145
4	3	92	101	222	231

JAH OLHOU ? > < >

*** SUBRACAO DE AMOSTRAS ***

SUBTRAIR CLASSE (C) OU AMOSTRA (A) ? > A

USAR CURSOR (S/N) > N

CLASSES

1. MATA
2. SOLO
3. SOMBRA
4. VEGETAL

QUAL CLASSE (1#) ? > 1

AMOSTRAS DA CLASSE 1

1. XI= 284 XF= 297 YI= 196 YF= 213
2. XI= 306 XF= 319 YI= 224 YF= 241

QUAL AMOSTRA (1#) ? > 2

PARAMETROS DA CLASSE 1 MATA

NO. DE PONTOS = 252.

MEDIA = 37.73 19.81 38.13 61.60

MATRIZ DE COVARIANCIA:

2.30	0.30	0.44	0.17
0.30	1.29	0.75	-0.04
0.44	0.75	9.09	2.59
0.17	0.04	2.59	24.46

AVISO>>> AMOSTRA APAGADA

** RESULTADO FINAL **

CLASSES

1. MATA
2. SOLO
3. SOMBRA
4. VEGETAL

AMOSTRAS

AMOST	CLAS	XI	XF	YI	YF
1	1	284	297	196	213
2	2	318	331	128	145
3	3	92	101	222	231
4	4	248	257	214	223

3.3 - OUTROS PROGRAMAS

3.3.1 - SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

3.3.1.1 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA SELATR

A finalidade deste programa é escolher um subconjunto de canais, dentre uma coleção de outros subconjuntos de mesma dimensão, de maneira a maximizar a separabilidade de um conjunto de classes dadas.

Esse programa é utilizado quando se quer reduzir o número de atributos (canais no caso de imagem) e, conseqüentemente, o custo computacional da classificação, além de atender a limitações físicas que possam existir.

Inicialmente o programa adquire o nome do arquivo MAXVER, o qual contém os parâmetros (classes, amostras etc...) que serão utilizados na seleção de atributos. O usuário tem a opção de entrar com o nome de um arquivo específico ou deixar que o programa adquira o arquivo que foi definido na inicialização do sistema (MAXVØØ).

Apresentam-se o número de dimensões e as classes do arquivo, e, em seguida, o usuário deve entrar com o grau de combinação (\leq número de dimensões) e com as classes a serem utilizadas na seleção de atributos.

O programa calcula as distâncias J-M (distância normalizada para medida de distância entre distribuições) entre as classes e, se o usuário desejar, sai uma listagem com a ordenação dos melhores subconjuntos de canais, que maximizam a separabilidade do conjunto de classes dadas.

Os critérios adotados na ordenação dos melhores subconjuntos de canais são:

- a) selecionar a combinação cuja distância média seja máxima; e
- b) selecionar a combinação cuja distância mínima entre os pares de classes seja máxima.

A seguir, apresentam-se o diálogo que o usuário deve manter com o programa e a ordenação dos melhores canais obtidos pelos dois métodos citados acima.

3.3.1.2 - LISTAGEM DO DIÁLOGO

PROGRAMA SELATR

*** SELECAO DE ATRIBUTOS ***

NOME DO ARQUIVO DE PARAM. CR = POR COMMON > TRIGO6.MAX

NUMERO DE DIMENSOES: 4

CLASSES

1 C1
2 C2
3 C3

ENTRE COM O GRAU DE COMBINAÇÃO E COM AS CLASSES A SEREM UTILIZADAS

>> 2 1 2 3

* CALCULANDO DISTANCIA J-M *

QUER ORDENACAO DAS DISTANCIAS J-M MEDIAS E MINIMAS ? (S/N) > S

ORDENACAO DAS DISTANCIAS J-M MEDIAS

CANAIS	2	4
CANAIS	2	3
CANAIS	3	4
CANAIS	1	4
CANAIS	1	3
CANAIS	1	2

ORDENACAO DAS DISTANCIAS J-M MINIMAS

CANAIS	2	4
CANAIS	2	3
CANAIS	3	4
CANAIS	1	3
CANAIS	1	4
CANAIS	1	2

3.3.2 - ROTAÇÃO ESPECTRAL

3.3.2.1 - DESCRIÇÃO

As técnicas de rotação espectral procuram maximizar a quantidade de informação de uma imagem multiespectral, em um número de canais menor que o número de canais originais. Consegue-se, assim, uma redução da dimensionalidade da imagem. Os novos canais gerados contêm, ordenadamente, quantidade decrescente de informação sendo que a primeira componente, ou primeiro canal, contêm mais informações que qualquer um dos canais originais.

Dois programas realizam o processo de rotação espectral. O primeiro, MATCOV, extrai a matriz de covariância da imagem, calcula os autovetores e autovalores desta matriz, gerando então a matriz de transformação, que será a responsável pela rotação espectral. Esta é a chamada transformação de Karhunen-Loève. O segundo programa, PRINCO, acessa esta matriz e executa a transformação lendo a imagem do vídeo, processando os dados e escrevendo no vídeo a imagem já transformada. Em MATCOV podem ser escolhidos os canais a serem transformados e a área de aquisição da matriz de covariância. O PRINCO não mantém diálogo com o operador, executando diretamente sua função.

3.3.2.2 - LISTAGEM DO DIÁLOGO

PROGRAMA MATCOV

*** TRANSFORMACAO DE K-LOEVE ***

EXTRACAO DA MATRIZ DE COVARIANCIA
ESCOLHA A DIMENSAO E OS CANAIS

ESCOLHA O NUMERO DE CANAIS (DIM = 4)>

CANAIS DE ENTRADA (1 2 3 4)>

CANAIS DE SAIDA (1 2 3 4)>

ESCOLHA A AREA DE TREINAMENTO

(T)ODA A TELA OU (C)URSOR I

CAPÍTULO IV

METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS (LANDSAT) NO MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL

4.1 - INTRODUÇÃO

O estabelecimento de uma metodologia de interpretação visual dos produtos do LANDSAT tem sido uma das principais atividades do grupo de Recursos Minerais do Departamento de Sensoriamento Remoto do Instituto de Pesquisas Espaciais. O empenho em definir um procedimento mais adequado e lógico para o mapeamento geológico regional, levou à sistematização de algumas regras que orientam os trabalhos de interpretação.

De um modo geral, as regras que conceituam estes procedimentos podem ser enunciadas como se segue:

- análise dos elementos textura e estrutura fotográficas, forma e níveis de cinza para identificação e individualização de áreas imageadas que possuem características semelhantes.
- processamento dedutivo destas áreas em seu significado geológico.

O bom desempenho nestas atividades relaciona-se diretamente com o entendimento das características dos produtos, isto é, do sensor e da geometria das imagens, com o conhecimento prévio da área a ser mapeada e a experiência em trabalhar com fotointerpretação.

Neste capítulo serão discutidos os principais conceitos teóricos da análise, interpretação e formulados alguns modelos teóricos com fins didáticos. A seguir, serão apresentadas as normas e procedimentos de utilização dos produtos do LANDSAT e, finalmente, serão equacionadas as principais questões em relação às expectativas do usuário que pretende utilizar tais produtos.

Seria uma grave omissão relegar os trabalhos de campo a um segundo plano, esperando que, apenas através da utilização dos produtos do LANDSAT, resolver-se-iam satisfatoriamente todos os problemas do mapeamento geológico regional. É somente no campo que se pode avaliar o significado geológico das feições extraídas das imagens.

Portanto, o emprego dos produtos do LANDSAT deve ser encarado com prudência para que não seja desvirtuada sua potencialidade como ferramenta auxiliar, de baixo custo, com vantagens e limitações como qualquer outra.

4.2 - METODOLOGIA

4.2.1 - ANÁLISE DOS ELEMENTOS

Convém recordar a conceituação dos elementos: textura, estrutura, forma e níveis de cinza, para maior clareza durante a abordagem da análise dos mesmos.

Elemento de textura de uma imagem é o menor elemento distinguível com forma e dimensão definida. Para ter uma idéia das dimensões deste elemento, em uma imagem do LANDSAT, é necessário recorrer a seu elemento de resolução. Assim, por exemplo, um corpo rochoso com um diâmetro mínimo teórico de 80 m, na superfície de terreno, constituir-se-ia em um elemento de textura na imagem.

O arranjo dos elementos texturais, segundo os mais variados padrões (retilíneos, curvilíneos, com formas geométricas regulares ou não), constituem a estrutura.

A forma é a expressão da disposição dos elementos texturais que possuem propriedades comuns (estrutura). Através desta disposição, definem-se as formas de relevo e os padrões da rede de drenagem.

Os níveis de cinza são definidos de acordo com as variações de reflectância dos alvos imageados na superfície do terreno.

Outro elemento, não citado anteriormente, mas que deve ser considerado, é a sombra, que confere às imagens a impressão de relevo. Sua origem está relacionada ao ângulo de elevação solar.

É através da análise destes elementos que se define o conceito de zonas homólogas, as quais contêm limites definidos ou difusos e caracterizam-se por possuírem propriedades semelhantes.

Apresenta-se a seguir o processo de análise de cada um dos elementos citados:

1) Análise da rede de drenagem

O padrão de drenagem pode ser definido como o arranjo espacial dos canais, na superfície do terreno e é obtido através do estudo detalhado das propriedades como a densidade, os alinhamentos, as ligações ou curvaturas, a assimetria, a tropia e a uniformidade dos canais.

Experiências têm mostrado que as imagens da banda 5 são as que normalmente fornecem maior volume de informações, com referência às propriedades da rede de drenagem. No entanto, a banda 7, também deve ser analisada. Deve ser ponderada a dificuldade de análise das mesmas, para áreas onde o relevo é medianamente ou muito acidentado, pois quanto maior a rugosidade, maior é a dificuldade de extração de dados referentes à rede de drenagem.

A observação criteriosa e o traçado rico em detalhes (quando possível), vão permitir o estudo das propriedades e consequentes padrões da rede de drenagem, além de fornecerem uma idéia sobre a permeabilidade e grau de dissecação do substrato. No entanto, não se

deve esquecer que os produtos do LANDSAT jamais irão fornecer a riqueza de detalhes que podem ser observados em fotografias aéreas convencionais.

Em um primeiro contato, é possível usar nomes descritivos para os padrões superficiais, como os seis clássicos (dendríticos, radiais concêntricos, anulares, paralelos, retangulares e treliça) (Figura IV.1), mas tão somente quando se tenta caracterizar, genericamente, áreas com as mais diversas propriedades. Existem duas justificativas para que estes termos descritivos continuem sendo utilizados. A primeira está relacionada às feições geológicas com as quais eles se associam (nem por isso, pode-se colocá-los como "chaves de interpretação") e a segunda, é devido às características dos produtos do LANDSAT, que nem sempre permitem atingir o nível de detalhes desejáveis.

No entanto, para atacar todos os aspectos significativos de uma análise da rede de drenagem é necessário distinguir cada uma de suas características particulares e não generalizá-las. Isto é conseguido, através da observação das principais propriedades resumidas a seguir:

- a) Densidade - está relacionada com a quantidade de canais observados por unidade de área imageada, sendo esta relação arbitrária. É utilizada para caracterizar zonas homólogas em densidade de drenagem e para dar uma idéia de permeabilidade do substrato (Figura IV.2).
- b) Alinhamentos, lineações ou curvaturas - os alinhamentos e lineações referem-se ao desenvolvimento orientado dos canais. Tal desenvolvimento pode ser um reflexo das estruturas das rochas sobre as quais se instala a rede. Essas estruturas podem ser falhamentos (alinhamentos), foliações, fraturamentos e acamamentos (lineações). As curvaturas, por sua vez, podem sugerir a existência de sedimentos e, logicamente, ausência do reflexo de estruturas lineares conspícuas. Ainda, podem estar relacionadas a feições como domos, intrusões circulares e etc. (Figura IV.3)

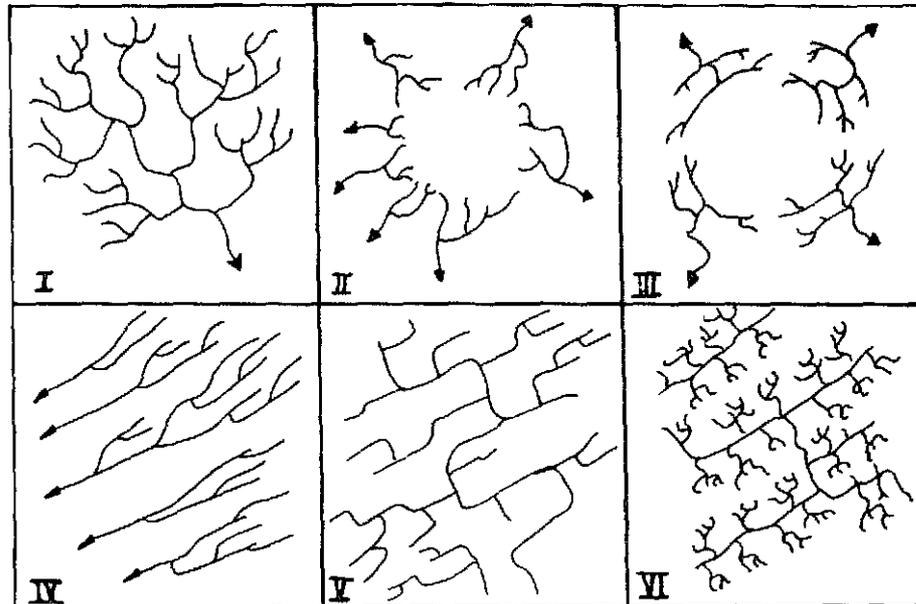
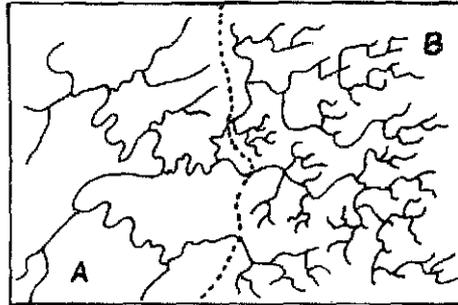


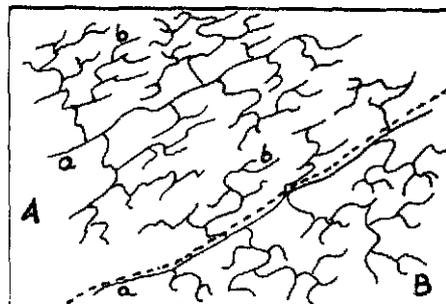
Fig.IV.1- Padrões clássicos da rede de drenagem.

Termos descritivos	Algumas feições geológicas associadas
I - Dendrítico	Materiais facilmente erodíveis ou então que tenham resistência uniforme aos processos erosivos, tais como, rochas sedimentares horizontais e algumas rochas cristalinas, respectivamente.
II - Radial Concêntrico	Domos, vulcões, crateras (e outras depressões).
III - Anular	Domos e bacias estruturais e possíveis "stocks".
IV - Paralelos	Mergulhos moderados e feições morfológicas alongadas, condicionadas por falhas ou fraturas.
V - Retangulares	Fraturas e falhas.
VI - Treliça	Rochas metassedimentares dobradas, soerguidas e erodidas.



---- limite entre zonas homólogas (A e B)
 A - baixa densidade
 B - alta densidade

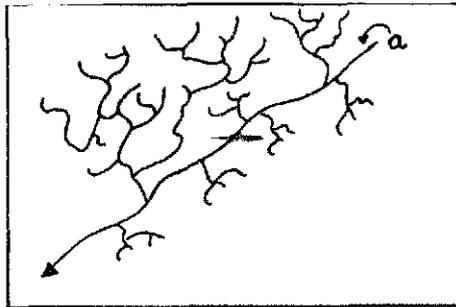
Fig. IV.2 - Densidade da rede de drenagem.



---- limite entre zonas homólogas (A e B)
 a - alinhamentos
 b - lineações
 A - predominância das lineações de drenagem
 B - predominância de curvaturas

Fig. IV.3 - Alinhamentos lineações e curvaturas.

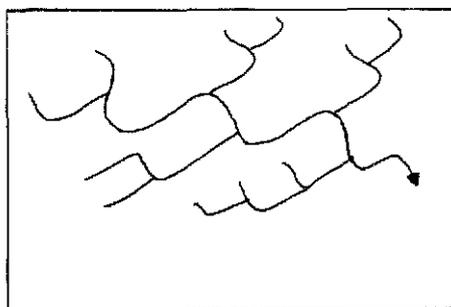
- c) Assimetria - refere-se às dimensões (extensões) dos afluentes de ambas as margens, comparativamente, sendo considerada em relação ao elemento estrutural de drenagem de maior expressão (Figura IV.4).



a - elemento estrutural principal

Fig. IV.4 - Assimetria.

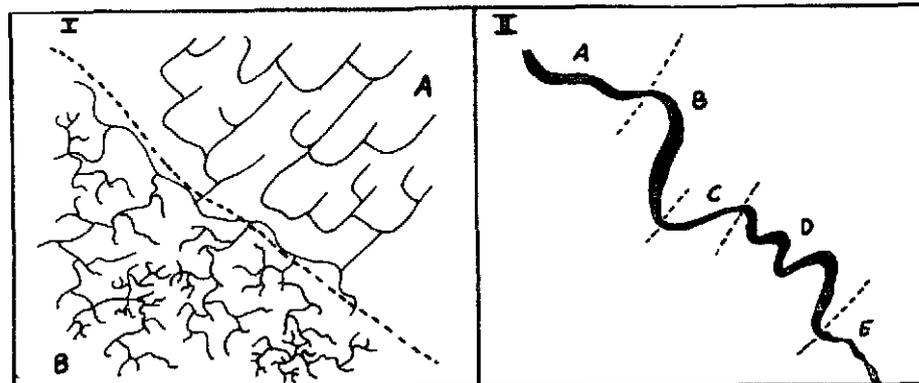
- d) Tropia - está relacionada com a orientação das linhas de drenagem em uma ou mais direções preferenciais (Figura IV.5).



tropia bi-direcional preferencial

Fig. IV.5 - Tropia.

e) Uniformidade - é considerada em relação à uniformidade ou não de distribuição da rede de drenagem e dos canais, isto é, quanto ao alargamento, estreitamento e angularidade dos componentes texturais dos mesmos (Figura IV.6).



---- limite entre zonas
homólogas (A e B)

A - distribuição uniforme

B - distribuição não uniforme

A, B, C, D e E - zonas de a
largamento e estreitamento do
canal não uniforme

Fig.IV.6 - Uniformidade.

Todas estas propriedades implicam variações do substrato rochoso sobre o qual se instala a rede de drenagem, e que podem ou não ter um significado geológico. É através da análise rigorosa das mesmas que se obtêm dados significativos, que definem e caracterizam zonas homólogas, que podem ou não representar variações litológicas e padrões estruturais.

Como já foi citado anteriormente, nem sempre é possível a extração de dados da rede de drenagem nos produtos do LANDSAT. Recorre-se, então, às cartas topográficas pré-existentes e, em última instância, tenta-se delimitar as zonas homólogas sobre as imagens, mesmo que o traçado da rede de drenagem seja inviável.

2) Análise das formas de relevo

Os elementos texturais do relevo são as rupturas de declive, isto é, as menores quebras bruscas da superfície do terreno imageado. Os seus arranjos espaciais constituem a estrutura do relevo.

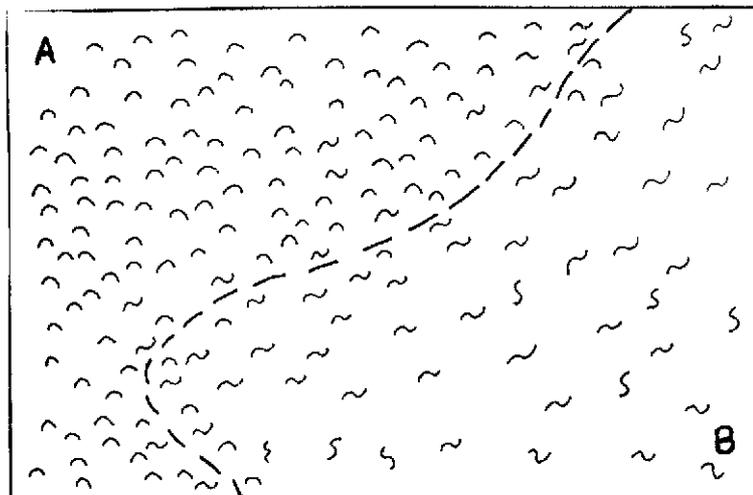
Experiências têm mostrado que as imagens da banda 7 são as que melhor se adaptam ao estudo da morfologia do terreno. No entanto, não se deve analisá-las isoladamente. As outras bandas, principalmente a 5, devem ser utilizadas paralelamente, pois adicionam dados valiosos que tornam os resultados mais satisfatórios.

As formas de relevo estão relacionadas aos processos erosivos que por sua vez, são dependentes dos agentes intempéricos que atuam em uma determinada região e da natureza dos materiais que sofrem tal atuação.

Através da análise das formas de relevo, é possível chegar a uma definição da expressão morfológica de um corpo rochoso, desde que este possua uma natureza físico-química, diferente em relação aos corpos adjacentes e esteja junto com estes sob a ação dos mesmos processos de intemperismo.

O procedimento lógico para determinar a expressão morfológica de um corpo rochoso é através das propriedades texturais do relevo que, de maneira geral, são citadas a seguir:

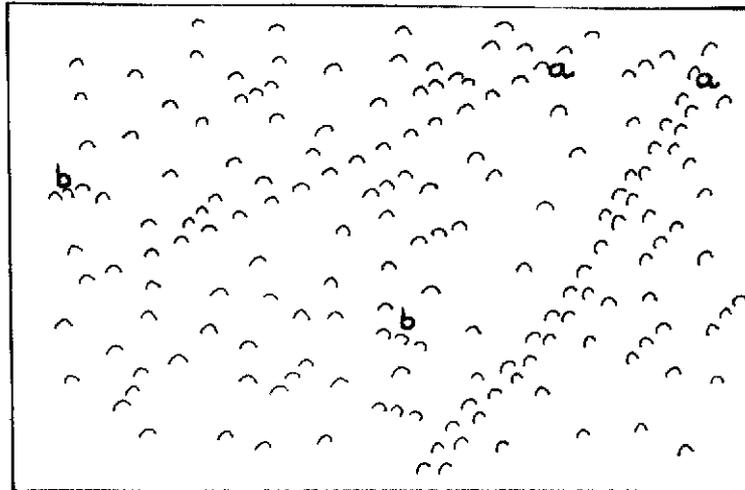
- a) Densidade de textura - está relacionada com a quantidade de rupturas de declive, por unidade de área imageada, sendo esta relação arbitrária. Deve ser utilizada na definição de zonas homôlogas em densidade de relevo. Para classificar estas zonas, podem ser empregados termos puramente descritivos, relacionados à rugosidade. Assim, quando a densidade é muito baixa denomina-se "relevo liso". À medida que esta aumenta, empregam-se termos como rugoso, muito rugoso e etc. (Figura IV.7).



---- limite entre as zonas homólogas (A e B)
 A - alta densidade
 B - baixa densidade
 o~ - elementos texturais de relevo

Fig.IV.7 - Densidade textural do relevo.

- b) Lineações e alinhamentos de relevo - lineações são elementos texturais do relevo, com disposição retilínea, que correspondem às feições estruturais do terreno, menores que 3 quilômetros. Alinhamentos correspondem à disposição retilínea a quase retilínea destes elementos, em linhas ou faixas, causando forte estruturação do relevo e possuindo extensão maior que 3 quilômetros, no terreno. Estas propriedades podem estar refletindo estruturas ou discontinuidades geológicas (Figura IV.8).
- c) quebras positivas e negativas, assimetria, formas das encostas - estas propriedades dificilmente podem ser visualizadas nos produtos do LANDSAT. A dependência da escala e resolução do sistema destas propriedades é bem mais acentuada que nos casos de "a" e "b". Essas propriedades são detalhes melhor caracterizados em fotografias aéreas convencionais.



- a - alinhamentos
- b - lineações
- ^ - elemento textural de relevo

Fig.IV.8 - Alinhamentos e lineações de relevo.

A análise das formas de relevo vai subsidiar a interpretação das unidades e estruturas geológicas.

3) Análise dos níveis de cinza

Convém recordar, de maneira sucinta, o conceito de níveis de cinza.

O nível de cinza é a quantidade de energia refletida por uma associação de materiais da superfície do terreno, em uma determinada banda espectral.

Sendo as bandas 5 e 7 as mais utilizadas para interpretações de cunho geológico, é importante ressaltar quais materiais da superfície refletem mais, nestas bandas.

A banda 5 corresponde à região do verde-laranja, apresentando as tonalidades mais escuras, para áreas onde a vegetação é densa, e as mais claras, onde a vegetação é rala ou praticamente ausente (ver Capítulo I).

A banda 7 corresponde à região do infravermelho próximo, apresentando as tonalidades mais claras, onde a vegetação é mais densa.

Deve-se lembrar que dos 256 níveis de cinza originais são reproduzidos cerca de 16, nas cópias fotográficas.

Após estas breves considerações, alguns fatores enumerados a seguir, devem ser levados em conta, quando se tenta a delimitação de *zonas homólogas em níveis de cinza*:

- 1º - As superfícies do terreno imageados constituem associações solo-rocha-vegetação.
- 2º - As imagens da banda 5 fornecem as maiores informações da associação solo-rocha, pois esta tem os picos mais altos de reflectância na região do laranja (Capítulo I).
- 3º - As imagens da banda 7 fornecem uma representação muito aproximada da morfologia do terreno, pois na região do infravermelho predomina a captação de energia refletida sobre a absorvida (Capítulo I)

4.2.2 - PROCESSAMENTO DEDUTIVO DOS ELEMENTOS ANALISADOS

Esta subseção trata da fotointerpretação e da confecção do mapa fotogeológico que guarda algumas relações com um mapa geológico propriamente dito.

Este mapa fotogeológico irá conter diversas zonas delimitadas em função de suas propriedades que representam rochas com as mesmas características petrográficas, ou então, conjuntos de rochas que

mostram as mesmas propriedades nas imagens, mas possuem características petrográficas diferentes. Irã conter, também, traços representantes de estruturas geológicas como falhamentos, foliações, fraturamentos e acamamentos e ainda outros que não tenham um significado geológico.

Como já foi visto, toda a análise desenvolvida sobre os produtos do LANDSAT está diretamente relacionada com a disposição espacial dos elementos texturais. Existe um relacionamento entre as propriedades destes elementos e as propriedades dos materiais superficiais imageados.

Para melhor entendimento da interpretação textura-material é necessário ter uma idéia a respeito dos fatores que controlam a textura em uma imagem.

Este tema foi bem desenvolvido por Soares e Fiori (1976), para as fotografias aéreas convencionais. Mesmo considerando-se as diferenças de escala, resolução e características espectrais entre estas e os produtos do LANDSAT, qualquer discussão do assunto seria uma mera repetição da abordagem dos autores citados. Deste modo, apenas serão mencionados, a seguir, os fatores mais relevantes:

- a) Morfogenéticos - são aqueles responsáveis pela elaboração das formas de relevo e da rede de drenagem.
- b) Litológicos - dependem da composição química e das propriedades físicas das rochas, sendo os seguintes: resistência à erosão, permeabilidade, plasticidade e ruptilidade, solubilidade e tropia.
- c) Deformacionais - são aqueles originados por fenômenos tectônicos.

Após estas considerações preliminares, onde ficou evidente a necessidade dos trabalhos de campo para a confecção de um mapa

geológico, serão abordados alguns modelos fotointerpretativos hipotéticos com fins didáticos:

1) Modelo fotointerpretativo da rede de drenagem

A Figura IV.9 mostra um modelo fotointerpretativo das propriedades texturais da rede de drenagem. Em uma primeira observação, destacam-se as zonas A, B, D e E, quando se notam diferenças marcantes em relação à densidade, alinhamentos e lineações, curvaturas, uniformidade e tropia.



Fig.IV.9 - Modelo fotointerpretativo da rede de drenagem.

Na zona A, destacam-se a baixa densidade e as curvaturas dos canais. Estas propriedades podem indicar que o substrato seja constituído por sedimentos.

Ao contrário, a zona E, é a que possui a mais alta densidade, além de uma tropia multidirecional e uma distribuição pouco uniforme dos canais. O seu substrato é pouco permeável.

As zonas B e D possuem densidades intermediárias entre A e E e suas propriedades mais conspicuas são respectivamente:

- a - alternância entre alinhamentos, lineações e curvaturas e tropia tridirecional preferencial. É menos permeável que a zona D;
- b - fortemente estruturada, mostrando alinhamentos, lineações e angulosidades bem evidentes, tropia bidirecional preferencial e uma boa uniformidade na distribuição dos canais. Reflete, sem dúvida, uma forte anisotropia do substrato.

A zona C é uma típica representante de uma anomalia de drenagem, talvez refletindo um alto estrutural do substrato.

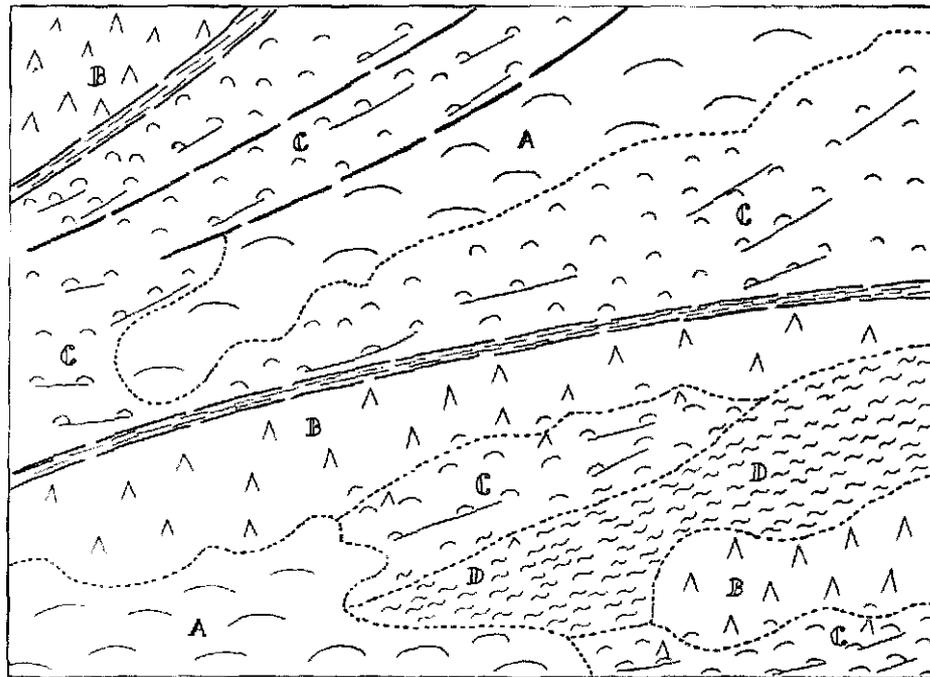
A zona F, sendo um típico divisor de águas, sugere a possível existência de um maciço rochoso mais resistente à erosão, através de seus limites a NW e SE, fortemente assimétricos, ou talvez camadas fortemente inclinadas que sustentam o relevo.

Os alinhamentos (F') refletem prováveis traços de falha, enquanto as lineações, traços de foliações e zonas de concentração de juntas.

Estes dados devem ser armazenados para um posterior confronto com as interpretações das formas de relevo e níveis de cinza.

2) Modelo de fotointerpretação das formas de relevo

A Figura IV.10 mostra um modelo fotointerpretativo das propriedades texturais do relevo.



△ ≈ elementos texturais de relevo

---- limites entre zonas homogêneas

— alinhamentos de relevo

— lineações de relevo

A, B, C, D zonas homogêneas de relevo

Fig.IV.10 - Modelo fotointerpretativo das formas de relevo.

A escolha dos símbolos que caracterizam as zonas homogêneas, na figura, é arbitrária. Isto se deve ao fato de existir uma grande dificuldade em observar as formas das encostas, nos produtos do LANDSAT.

É em função das diferentes resistências à erosão que estas zonas são delimitadas, caracterizando as diversas unidades fotolitológicas.

Nota-se um aumento progressivo da densidade textural da zona A para a zona D.

A baixa densidade de elementos de textura, na primeira, implica em uma "textura lisa", que pode significar a existência de sedimentos. Na superfície do terreno, de um modo geral, será observado um relevo suavemente ondulado com encostas predominantemente convexas.

A zona B, mais densa que a A, pode aparecer nas imagens como a feição de maior destaque morfológico, indicando a existência de rochas mais resistentes à erosão. Na superfície do terreno, provavelmente, será comprovada a existência de uma serra, cujas encostas tendem a ser côncavas a côncavas-retilíneas-convexas.

A zona D, com uma tendência à alta densidade de elementos de textura, mostra uma "textura rugosa", nas imagens, com lineamentos e lineações do relevo que podem ser representativos de traços de falha e de foliação, respectivamente. Seu destaque morfológico é menor que o da zona B, porém maior que o das zonas A e C.

Na superfície do terreno poderão ser observadas formas côncavas-convexas, por vezes alongadas, constituindo um relevo medianamente dissecado.

A zona D caracteriza-se por um relevo fortemente estruturado, refletindo uma anisotropia acentuada do substrato rochoso. Na superfície do terreno serão observadas formas bastante dissecadas.

Lineamentos de relevo conspícuos, interrompendo brusca e imediatamente zonas homólogas (no caso C), ou colocando em contato zonas com propriedades diferentes (no caso B com C e C com A), provavelmente são

traços de falhas ou de zonas de falha. Na superfície do terreno, seriam encontradas quebras positivas e negativas com continuidade por vários quilômetros.

Lineações de relevo, que aparecem nas zonas C e D, são traços do bandamento e xistosidade, respectivamente, podendo refletir também, zonas de concentração de juntas.

A Figura IV.11 mostra o mapa fotogeológico obtido a partir da análise das formas de relevo. Não se deve esquecer, no entanto, que durante o desenvolvimento de um trabalho com os produtos do LANDSAT, tal mapa é resultado da integração da interpretação da rede de drenagem com a das formas de relevo e níveis de cinza.

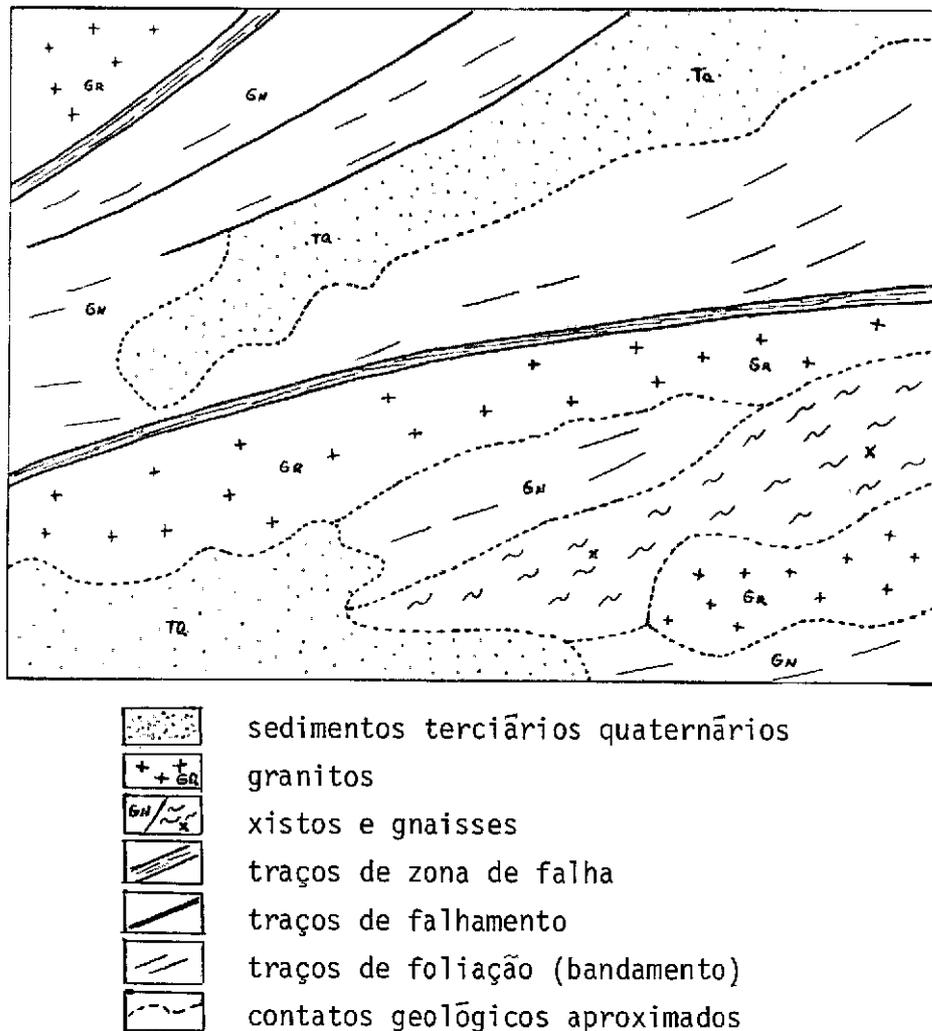


Fig.IV.11-Modelo fotográfico obtido a partir da interpretação do relevo.

4.3 - NORMAS E PROCEDIMENTOS PARA O MAPEAMENTO GEOLÓGICO REGIONAL UTILIZANDO PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DO LANDSAT

Esta seção sugere uma divisão em etapas de trabalho, baseada em experiências práticas e tem por objetivo racionalizar e otimizar a utilização dos produtos do LANDSAT para o mapeamento geológico regional.

Etapa 1ª

- a) Aquisição de imagens - devem ser adquiridos conjuntos de imagens das 4 bandas de diversas passagens, na escala de interesse. Quando isto não for possível, a preferência é dada para as bandas 5 e 7. Experiências demonstraram que o ideal é trabalhar com a escala 1:250.000 e depois efetuar as reduções ou ampliações para a escala de interesse.
- b) Aquisição e consulta de bibliografia e mapas geológicos da área de interesse (caso estejam disponíveis).
- c) Aquisição de cartas topográficas e planimétricas na mesma escala das imagens e/ou na escala 1:50.000 para a análise da rede de drenagem, quando a área de interesse engloba uma região de relevo muito acidentado (ver seção 4.2.1 - item 1).
- d) Confecção da base planimétrica, contendo as coordenadas, os principais rios, rodovias, cidades e represas. Esta deverá ser ajustada em função das cartas citadas no item "c".
- e) Verificação preliminar de campo, ao longo das principais rodovias ou quaisquer outras vias principais de acesso à área. O intuito desta excursão é ter um primeiro contato com a geologia que irá ser estudada.

Etapa 2ª

- a) Análise da rede de drenagem - deve ser desenhado um mapa com o máximo de detalhes possíveis.
- b) Análise das formas de relevo - devem ser escolhidos símbolos que melhor representem as propriedades do relevo. A seguir desenha-se um mapa que caracterize estas propriedades.
- c) Perfis de campo - devem ser realizados de acordo com a escala de trabalho, complexidade geológica e de preferência, perpendicularmente às principais direções estruturais.

Etapa 3ª

- a) Interpretação de dados - integrar os dados obtidos anteriormente e desenhar o mapa fotogeológico sobre a base planimétrica.
- b) Revisão bibliográfica e trabalho de campo final para elucidar os problemas surgidos.
- c) Confecção do mapa e relatório finais.

4.4 - RECURSOS AUXILIARES

Alguns recursos auxiliares, que contribuem efetivamente para o incremento de informações, podem ser destacados, mas acarretam um acréscimo nos custos.

Os mais importantes são o emprego das fitas compatíveis com o computador para serem analisadas no "IMAGE-100" e a utilização dos mosaicos de radar do projeto RADAMBRASIL.

Através de filtragens, realces e classificações, é possível obter sensíveis melhorias, tanto do ponto de vista geológico como estrutural. O procedimento normal envolve a ampliação da área de interesse para a escala desejada e a aplicação das técnicas acima citadas.

Através da observação das novas imagens formadas no vídeo, é possível selecionar a de maior interesse e fotografá-la, utilizando o equipamento "DICOMED", ou então, câmaras fotográficas comuns.

Estes produtos fotográficos serão interpretados de acordo com a metodologia já discutida.

Quando se usam "slides", tem-se vantagem, pois estes podem ser projetados e interpretados na escala desejada.

Os mosaicos de radar do projeto RADAMBRASIL constituem um recurso auxiliar praticamente indispensável, pois funcionam como um complemento de fácil obtenção e baixo custo.

A metodologia empregada na interpretação destes produtos é bastante semelhante à já discutida, com exceção do elemento nível de cinza, devido às características dos mesmos.

4.5 - NÍVEL DE DETALHES OBTIDOS ATRAVÉS DA INTERPRETAÇÃO DOS PRODUTOS LANDSAT

O nível de detalhes, que podem ser obtidos através da interpretação dos produtos do LANDSAT, é controlado por diversos fatores, sendo os mais importantes os que se seguem:

- a) Escala - conseguem-se, em cópias fotográficas, ampliações até 1:250.000, e utilizando fitas compatíveis com computador no "I-100", ampliações até 1:100.000, sem diminuição sensível na qualidade radiométrica e conseqüente resolução.

- b) Resolução - a menor feição que pode ser distinta necessita ter, no mínimo, um diâmetro de 80 m, teoricamente.
- c) Cobertura vegetal - em áreas onde a densidade de vegetação é muito alta, somente as imagens da banda 7 poderão ser utilizadas com relativo sucesso.
- d) Conhecimento prévio da área e experiência - quanto maior for o conhecimento prévio a respeito da área de interesse e a experiência de uso dos produtos LANDSAT, maior será o nível de detalhes atingível.

Considerando-se estes fatores, segue-se uma descrição simplificada quanto às suas implicações, do ponto de vista interpretativo, das feições litológicas e estruturais:

- a) Feições litológicas - somente é possível delimitar unidades litológicas que possuam características contrastantes (rede de drenagem, formas de relevo e, secundariamente, níveis de cinza) com as unidades adjacentes, e expressão morfológica significativa (da ordem de vários quilômetros quadrados).
- b) Feições estruturais - dentre as feições estruturais, os *traços de falha* são os mais conspícuos, sendo representados pelos alinhamentos de relevo e de drenagem que significam uma descontinuidade entre zonas homólogas ao longo de uma linha. O movimento relativo dos blocos muito dificilmente pode ser inferido. Em alguns casos muito especiais, quando o deslocamento espacial dos elementos texturais é muito acentuado (de ordem quilométrica), é possível observá-lo. No entanto, apenas com os trabalhos de campo pode-se definir, com segurança, a natureza dos falhamentos. Os *traços de fratura* são representados pelas lineações de relevo e drenagem, refletindo as direções preferenciais de zonas de concentração de juntas. É necessário considerar uma dimensão mínima (cerca de 3 quilômetros), pois a partir desta,

jã existe implicação com o movimento de blocos. Os *traços de foliações* também estão associados às lineações de relevo e drenagem. Em casos especiais, é possível, através da delineação dos mesmos, obter o desenho de dobras (de ordem quilométrica). Raramente consegue-se inferir o sentido do mergulho das feições planares. Os *traços de acamamento* dificilmente podem ser observados. Com raras exceções, em áreas onde afloram rochas sedimentares tectonicamente afetadas, ou metassedimentares de baixo grau de metamorfismo, dobradas, soerguidas e erodidas, os planos que representam a intersecção de camadas podem influenciar o comportamento textural da drenagem ou formas de relevo, produzindo lineações e alinhamentos das mesmas. Assim, do ponto de vista estrutural, podem ser mapeadas algumas feições mesoscópicas e a maioria das feições megascópicas. As restrições existentes, principalmente em relação às primeiras, tornam praticamente impossíveis especulações no campo do empilhamento estratigráfico.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMETRY. *Manual of remote sensing*. Falls Church, VA, 1975. 2V.

HOWARD, A.D. Drainage analysis in geologic interpretation. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 51:2246-2259, 1967.

LUEDER, D.R. *Aerial photographic interpretation; principles and applications*. New York, Mac Graw-Hill, 1959.

RICCI, M.; PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. São Paulo, Nacional, 1965.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, 16:72-104, 1976.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgar Blucher, EDUSP, 1974.

GUY, M. Quelques principes et quelques experiences sur la methodologie de la photo interpretation. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO INTERPRETATION, 2., Paris, 1966. Acte. V.1, p 21-24.

RIVERAU, J.C. *Notas de aula do curso de fotointerpretação*. Ouro Preto, Soc. Intern. Cult. Esc. Geol. de Ouro Preto, 1972.

CAPÍTULO V

METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS (LANDSAT) EM GEOMORFOLOGIA

5.1 - EXEMPLOS METODOLÓGICOS DE APLICAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT EM GEOMORFOLOGIA

A partir de 1972, com o lançamento dos satélites da série LANDSAT, têm surgido inúmeros trabalhos visando a avaliação das potencialidades das imagens MSS para estudos em Geomorfologia.

Dentre os trabalhos pioneiros, pode-se destacar o realizado por Morrison e Cooley (1973), que utilizaram imagens do sistema de varredura multiespectral (MSS) do LANDSAT e fotografias aéreas, no acompanhamento de um episódio de erosão acelerada no sul do Estado do Arizona. Os autores concluíram, desse estudo, que o canal 5 era melhor para a identificação de áreas com ocorrência de ravinas, devido ao alto contraste tonal entre o solo exposto na cicatriz e a vegetação adjacente. Este alto contraste pode ser explicado pelo comportamento espectral do solo e da vegetação neste canal, como pode ser visto pela Figura V.1. Na faixa do espectro correspondente ao canal 5, a vegetação apresenta um mínimo de reflectância, o que determina, em áreas de alta densidade de cobertura, a ocorrência de tonalidade clara dos solos sem recobrimento vegetal.

O estudo realizado por Morrison e Cooley (1973) é um exemplo de como as informações geomorfológicas podem ser adquiridas pela análise da tonalidade.

Morrison e Cooley (1973) avaliaram a influência da época do ano sobre a aquisição de informações geomorfológicas. Segundo os autores, as melhores estações do ano para o mapeamento de ravinas são o outono e o inverno, porque os ângulos mais baixos de elevação do sol acentuam o efeito do sombreamento. Com ângulos de elevação inferiores a 30° , ravinas mais profundas que nove metros podem ser identificadas no canal 5.

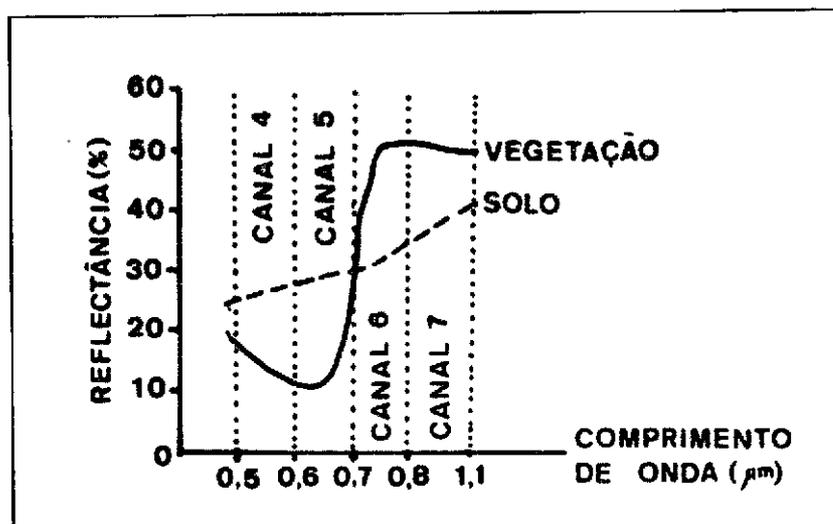


Fig. V.1 - Comportamento espectral de solo e vegetação.

Para Gimbarzewsky (1974), a principal deficiência das imagens LANDSAT é a ausência de estereoscopia. Entretanto, o autor salienta que dados indiretos, tais como padrões de drenagem e de cobertura vegetal, podem auxiliar na caracterização do relevo.

Weyns (Verstappen, 1977) utilizou diferentes técnicas de interpretação visual para avaliar o grau de precisão com que o fenômeno geomorfológico pode ser mapeado através de imagens LANDSAT. Os resultados dessa análise encontram-se resumidos na Tabela V.1.

Pela análise da Tabela V.1 pode-se concluir que algumas unidades geomorfológicas podem ser identificadas mais facilmente que outras. Segundo o autor, isto é explicado pelo fato de que, em algumas áreas, as variações de vegetação estão mais associadas à geomorfologia que em outras, e que esta associação também pode variar com a estação do ano e com o grau de interação humana.

TABELA V.1

PORCENTAGEM DE ACERTO NA CLASSIFICAÇÃO POR TÉCNICAS
DE AQUISIÇÃO DA INFORMAÇÃO

ANÁLISE VISUAL UNIDADE GEOMORFO LÓGICA	COM AUXILIO DE MAPAS		SEM AUXILIO DE MAPAS		COM AUXILIO DO I ² S
	CANAL 5	CANAL 7	CANAL 5	CANAL 7	CANAL 5 e CANAL 7
Morainas	67	80	64	74	77
Dunas costeiras	84	81	54	72	80
Solo turfoso	-	78	-	69	72
Dunas Interiores	60	73	59	63	58
Argilas Marinhas	89	87	92	81	86
Posição final da Técnica	III	II	V	IV	I

Os resultados apresentados na Tabela V.1 também permitem verificar que, em geral, o canal 7 fornece mais informações de natureza geomorfológica que o canal 5, mas que o uso conjunto dos dois canais aumenta consideravelmente a eficiência da interpretação.

Para Sayn-Wittgenstein e Dalensky (1974), a identificação de padrões de textura deve receber maior ênfase na interpretação de imagens MSS do LANDSAT, pois muitas feições não podem ser identificadas com base apenas em sua resposta espectral. Os autores acrescentam, ainda, que o padrão de textura fotográfica é muito sensível à escala, ou seja, ao tamanho do elemento de resolução. Quanto maior o elemento de resolução, menor a variação relativa entre os elementos e mais lisa é a textura.

Koffler (1976) observou que características, tais como densidade de drenagem e textura topográfica, podem ser avaliadas através de feições de textura fotográfica nas imagens do canal 7 do MSS. Valério Filho et al. (1976), utilizando informações de variação textural de imagens no canal 6 do MSS, reconheceram três unidades de relevo na região de Ribeirão Preto e Dourados/Amambã.

Santos e Novo (1977) observaram que a variação das condições topográficas provocam variações na textura fotográfica da imagem do canal 7. Desenvolveram um estudo no sentido de avaliar que características da topografia afetavam a textura fotográfica do canal 7. Para expressar o comportamento da topografia, foram selecionados parâmetros, tais como: declividade, densidade de drenagem e textura topográfica. A textura fotográfica foi expressa quantitativamente através do índice de rugosidade, definido como o número de variações de tonalidade por amostra, paralelamente à linha de varredura. Os resultados alcançados encontram-se resumidos na Tabela V.2.

TABELA V.2

COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE TEXTURA FOTOGRÁFICA E ÍNDICES QUE EXPRESSAM VARIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS DA TOPOGRAFIA

CORRELAÇÃO	ÍNDICES	TEXTURA TOPOGRÁFICA	DECLIVIDADE	DENSIDADE DE DRENAGEM
Área Teste de Roncador	- Rugosidade	0,90	0,57	0,90
Área Teste de Cana Brava	- Rugosidade	-	0,72	-
Área Teste de Serra das Almas	- Rugosidade	-	0,79	-

A análise da Tabela V.2 permite verificar que a correlação entre textura fotográfica (Índice de rugosidade) e os índices de densidade de drenagem e textura topográfica é elevada, enquanto que a correlação da textura fotográfica com a declividade já é bem mais baixa. Entretanto, essa correlação varia de 0,57 na área teste de Roncador até 0,79 na área teste de Serra das Almas. Levando-se em conta que os dados de declividade foram coletados em cartas topográficas e em imagens de escalas diferentes, pode-se concluir que o valor da correlação é afetado pelo tipo de documento utilizado na aquisição de dados.

Rabchevsky (1979) salienta as vantagens da utilização de coberturas multisazonais na aquisição de dados geológicos e geomorfológicos. Segundo o autor, essas vantagens advêm da mudança do ângulo de elevação do sol e do azimute. O autor conclui, também, que as unidades geomorfológicas mais facilmente delimitáveis são as que correspondem a mudanças abruptas de topografia, geologia estrutural, litologia e padrões de vegetação.

Para Verstappen (1977), a facilidade de interpretação do relevo não depende apenas das propriedades das imagens utilizadas, mas também das características do terreno imageado. A cobertura vegetal pode obliterar ou realçar o relevo. Santos e Novo (1977) observaram que a vegetação tem um efeito atenuador sobre as variações da textura topográfica. Em áreas de topografia pouco movimentada, a cobertura vegetal encobre suas variações, determinando uma maior homogeneidade nas condições de iluminação da cena.

Em geral, as imagens MSS do LANDSAT têm sido utilizadas para fins de mapeamentos geomorfológicos a nível de grandes unidades.

5.2 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS

Com base na experiência acumulada pelos diversos pesquisadores, pôde-se desenvolver um conjunto de procedimentos que permitem a aquisição de informações geomorfológicas das imagens MSS do LANDSAT.

Esses procedimentos são discutidos a seguir:

5.2.1 - SELEÇÃO DA ESCALA DA IMAGEM

A seleção da escala da imagem é feita em função do objetivo da pesquisa. Em geral, para mapeamentos geomorfológicos, costuma-se utilizar imagens na escala 1:500.000.

A escala 1:500.000 tem a vantagem de apresentar uma melhor definição dos elementos texturais, quando comparada com as escalas maiores (1:250.000 e 1:100.000). Além disso, é de fácil manuseio, permitindo ao fotointérprete uma maior facilidade na comparação entre canais.

Quando se tem em mente um mapeamento de mais detalhe, aconselha-se a utilização da imagem na escala 1:250.000, mas sempre acompanhada de imagens de escalas menores para servirem de orientação na definição mais precisa de limites entre unidades.

Deve-se salientar que uma ampliação da escala original não implica em aumento da resolução da imagem. Levando-se em conta que esta resolução é de cerca de $\approx 80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ no terreno, independentemente da escala da imagem utilizada, formas e feições, cuja dimensão sejam inferiores à essa área, não serão mapeáveis. O uso de escalas ampliadas pode facilitar apenas a restituição de feições muito pequenas.

5.2.2 - SELEÇÃO DA ÉPOCA DE TOMADA DA IMAGEM

A seleção da época de tomada da imagem vai depender das características da região em estudo e dos objetivos do trabalho.

Quando se vai estudar áreas de topografia plana ou com cobertura vegetal densa, é aconselhável utilizar imagens correspondentes aos meses de inverno, com pequenos ângulos de elevação solar, que tendem a realçar, pelo efeito do sombreamento, pequenas variações na

topografia. Em áreas de relevo caracterizado por elevados valores de amplitude altimétrica, entretanto, imagens de baixos ângulos de elevação podem provocar um excesso de sombreamento, obliterando importantes feições do relevo.

Sempre que for possível, deve-se optar pela utilização de imagens de mais de uma época, para aproveitar o realce natural de feições, proporcionado pelas variações de azimute e elevação do sol, conforme já sugerido por Rabchevsky (1979).

Quando se tem por objetivo o estudo dinâmico de fenômenos geomorfológicos, deve-se utilizar imagens sequenciais. Sausen (1980) estudou a dispersão de sedimentos em corpos de água artificiais, através da utilização de imagens tomadas em diferentes estações do ano e em anos sucessivos. Santos et al. (1980) estudaram a variação do perímetro úmido do Rio Doce em períodos pré e pós-enchente, utilizando imagens LANDSAT em anos diferentes. A seleção da estação ou estações mais propícias ao estudo depende das características inerentes ao fenômeno a ser estudado, cujo conhecimento deve ser adquirido pelo intérprete, através de pesquisa bibliográfica minuciosa.

5.2.3 - SELEÇÃO DE CANAIS DO MSS

A seleção dos canais a serem utilizados depende mais uma vez dos objetivos da pesquisa. Quando o objetivo da pesquisa é a compartimentação geomorfológica, o canal 7 é o mais adequado, como já ficou evidenciado pelos trabalhos de Verstappen (1977), Koffler (1976), Santos e Novo (1977) e Sausen (1980). O canal 5, entretanto, deve ser utilizado para a aquisição de informações adicionais, tais como: drenagem secundária, cobertura vegetal, etc..

Para o estudo de dispersão de sedimentos em corpos d'água, os canais mais adequados são os canais 4 e 5. Deve-se salientar, entretanto, que este tipo de estudo, atualmente, é realizado muito mais através de técnicas de interpretação automática.

Alguns fenômenos são mais facilmente observáveis através da análise de composição coloridas. Para isto, são utilizados equipamentos como o Additive Color Viewer, que permite a composição das imagens MSS através da combinação de filtros e controle de intensidade luminosa. Darch (1979), estudando as condições de umidade no Pantanal Matogrossense, utilizou o canal 4 com filtro azul para obter informações sobre profundidade e turbidez da água. Segundo esta autora, a combinação entre o canal 4, com filtro azul, e o canal 7, com filtro vermelho, proporcionou resultados excelentes para o mapeamento de áreas com diferentes teores de umidade.

5.2.4 - SELEÇÃO DE LEGENDA

A seleção de legenda é função do objetivo do trabalho. Em geral, quando se faz a compartimentação geomorfológica de uma área, costuma-se utilizar uma legenda composta de letras e dígitos. As letras simbolizam os grandes conjuntos de formas, tais como: colinas, tabuleiros, cristas, e os dígitos, a intensidade relativa da dissecação. Esta legenda é também utilizada pelo RADAM.

As formas discerníveis na imagem, tais como: escarpas, depressões, inselbergs, etc., podem ser mapeadas com a simbologia já consagrada nas legendas geomorfológicas.

A legenda de letras e dígitos, entretanto, é a que mais se presta ao mapeamento geomorfológico regional e às limitações de resolução e escala das imagens.

5.2.5 - AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÕES EM IMAGENS

A aquisição de informações em imagens é feita conforme os seguintes passos:

1) Aquisição de Informações Básicas

Colocando-se papel poliéster transparente sobre a imagem, o intérprete deve demarcar cuidadosamente os limites da mesma, as coordenadas, a sua data de aquisição, o ângulo de elevação, o azimute, a órbita e o ponto.

Essas informações auxiliarão posteriormente a interpretação final dos resultados, bem como a montagem de mapas quando se trabalha com mais de uma imagem.

2) Traçado da Rede de Drenagem

O traçado da rede de drenagem deve ser feito inicialmente no canal 7, através do qual podem ser facilmente restituídos os rios principais, cuja lâmina de água apresenta tonalidade escura. Após a definição dos rios principais no canal 7, o papel poliéster deve ser cuidadosamente transferido para a imagem do canal 5, que será utilizada para o mapeamento da drenagem secundária.

A rede de drenagem secundária é identificada através da mata galeria, que apresenta tonalidade escura contrastante com as áreas adjacentes, em áreas de vegetação pouco densa.

Em regiões recobertas uniformemente por vegetação densa, deve-se utilizar a imagem do canal 7, referente ao período seco, para o mapeamento da rede de drenagem, pois nessa época existem diferenças entre a resposta espectral da mata galeria e a da mata adjacente, devido às diferenças de unidade (Santos e Novo, 1977).

Deve-se salientar que, em certas regiões com alta densidade de drenagem organizada em padrão dendrítico e caracterizada por vales encaixados e com pequena amplitude lateral, torna-se difícil a restituição da rede de drenagem. Assim sendo, em regiões do Pré-cambriano, devem ser utilizados outros critérios de interpretação do relevo, pois não se tem condições de obter um traçado minucioso da rede de drenagem.

3) Identificação dos Padrões de Textura

A identificação dos padrões de textura fotográfica é feita utilizando-se a imagem do canal 7. Os padrões de textura podem representar diferentes feições do terreno. Assim sendo, pode-se encontrar padrões de textura retilínea que podem ser associados a cristas (Figura V.2).

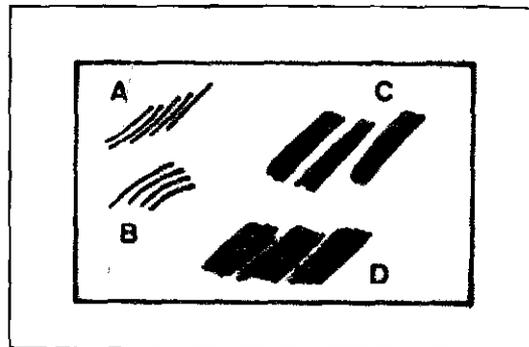


Fig. V.2 - Padrão de textura retilínea.

Um mesmo padrão de textura pode ser ainda subdividido em função da densidade dos elementos texturais, da disposição desses elementos e de sua dimensão. Em A e C observam-se dois padrões de textura linear que se distinguem pela amplitude lateral dos elementos. No terreno, A corresponderia à região de cristas, separadas por vales estreitos, enquanto B corresponderia à região de cristas residuais em áreas com vales amplos. Em C e D, a amplitude lateral e a orientação das cristas são semelhantes; entretanto, podem representar compartimentos distintos no terreno, pois o padrão de sombreamento indica uma assimetria de vales em D, o que não ocorreria em C. O padrão de sombreamento também pode dar indicações do grau de entalhamento, ou seja, da amplitude altimétrica do conjunto topográfico.

As regiões de mesmo padrão de textura serão então separadas por linhas contínuas. Feições específicas do relevo, como escarpas, relevos residuais etc., serão também assinadas.

À medida que se processa a identificação dos padrões de textura, deve-se tomar nota, numa folha à parte, da sua possível feição no terreno. Isto facilitará a análise posterior dos padrões de textura.

4) Identificação de Unidades Homogêneas de Tonalidade

Esta identificação é feita, principalmente, no canal 5 e poderá auxiliar a caracterização de unidades geomorfológicas que apresentem forte associação com as condições de cobertura vegetal. A comparação posterior do "overlay" de níveis de cinza com o "overlay" de textura permitirá a elucidação de algumas anomalias nos padrões de textura, uma vez que em áreas de vegetação densa há uma diminuição nas correlações entre as características do terreno e os padrões texturais no canal 7 (Santos e Novo, 1977).

A análise de tonalidade no canal 7 também pode auxiliar a identificação de regiões com teores de umidade diferentes. Assim sendo, quando forem observadas variações significativas de tonalidade de cinza no canal 7, estas devem ser incorporadas ao "overlay" de tonalidade.

5.3 - COMPARAÇÃO DOS DADOS EXTRAÍDOS DE IMAGENS COM DADOS COLATERAIS

5.3.1 - COMPARAÇÃO COM PERFIS TOPOGRÁFICOS

Com o auxílio de cartas topográficas, pode-se construir uma série de perfis topográficos, orientados segundo diferentes direções. Estes perfis são comparados com as unidades de textura, de modo a verificar se há correspondência entre as rupturas topográficas e os limites identificados nas imagens.

Este procedimento pode auxiliar a classificação preliminar das unidades e reduzir consideravelmente a etapa de trabalho de campo. Permite, também, atribuir às unidades, informações quantitativas de altitude, amplitude, etc.. A Figura V.3 ilustra o procedimento.

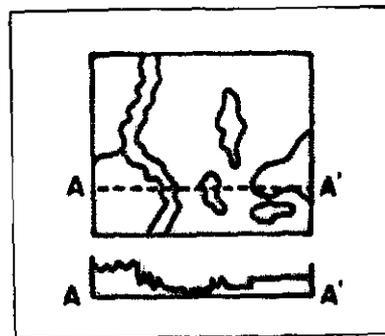


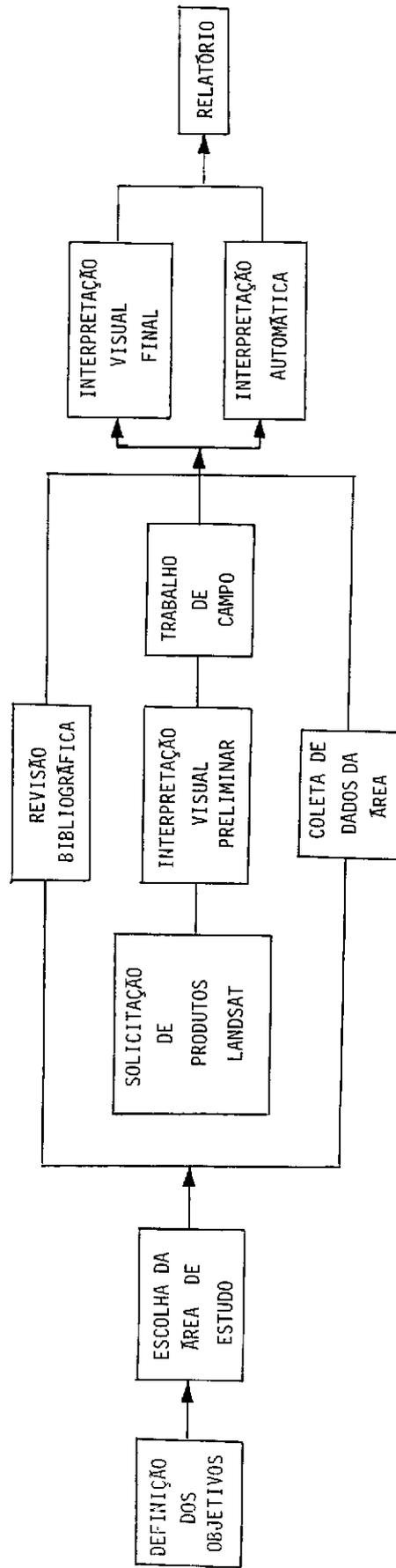
Fig. V.3 - Comparação entre perfis topográficos e feições texturais da imagem.

5.3.2 - COMPARAÇÃO COM CARTAS DE DECLIVIDADE

Com o auxílio de cartas topográficas, podem ser construídas cartas de declividade. Estas cartas podem ser comparadas com as distribuições de padrões de textura, para verificar se estes apresentam distribuições semelhantes.

5.3.3 - COMPARAÇÃO COM INFORMAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

Com o auxílio de bibliografia e de informações preexistentes sobre a área, pode-se tentar atribuir a cada unidade de textura uma classificação provisória.



Em geral, devido à baixa resolução das imagens LANDSAT, o que o sistema detecta são grandes conjuntos de formas. Assim sendo, podem ser identificadas: unidades de colinas, unidades de tabuleiros, unidades de cristas, chapadões, superfícies de erosão, etc.

Essas unidades podem ainda ser subdivididas, em função das dimensões das formas. Para isto podem ser obtidos valores quantitativos extraídos da própria imagem. Estes valores podem ser, por exemplo, os de amplitude lateral de formas, que expressam a dimensão dos interflúvios (Sausen, 1980).

A classificação das unidades poderá ainda ser aperfeiçoada com o auxílio das informações coletadas em cartas tipográficas e bibliografia existente e através da comparação com o "overlay" de tonalidade.

Uma unidade de textura lisa no canal 7, localizada ao longo de um rio, caracterizado por canal sinuoso, pode ser classificada como planície aluvial. A análise do "overlay" de tonalidade permitirá ainda a subdivisão da unidade em áreas permanentemente alagadas e em áreas inundadas periodicamente.

5.4.3 - CONFECÇÃO DO MAPA PRELIMINAR

Com base nas análises anteriores, confecciona-se um mapa preliminar com as unidades fotogeomorfológico, a partir do qual será elaborado um roteiro de campo que permita a coleta de maior número de informações a respeito das unidades.

5.5 - TRABALHO DE CAMPO

Durante o trabalho de campo deverão ser coletadas informações que permitam confirmar ou corrigir os limites das unidades geomorfológicas.

De acordo com o objetivo da pesquisa, outros dados também podem ser coletados. Santos et al. (1980) coletaram dados sobre as propriedades químicas dos solos da Amazônia para as diferentes unidades geomorfológicas mapeadas, a fim de verificar se estas sofriam um condicionamento geomórfico. Pinto (1980) coletou dados sobre frequência de ravinamentos no Sudoeste Paulista, para verificar em que tipo de compartimento geomorfológico havia maior probabilidade de ocorrência de erosão.

5.6 - ELABORAÇÃO DO MAPA FINAL

As informações de campo são transferidas para os "overlays" preliminares a fim de complementar ou corrigir as unidades. Faz-se, então, uma avaliação dos resultados e a redação do relatório final.

BIBLIOGRAFIA

- DARCH, J.P. A study of moisture conditions in the pantanal of Brazil using satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 8 (4):331-348, 1979.
- GIMBERZEWSKY, P. ERTS-1 imagery in biophysical studies. IN: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2. Ottawa, 1974. Proceedings, v.2, p. 392-407.
- GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. *Drainage basin: form and process*. A Geomorphological approach. London, Edward Arnold, 1973.
- HOWARD, A.D. Geomorphological systems equilibrium and dynamics. *American Journal of Science*, 263 (4):302-312, 1965.
- KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976. (898-TPT/029).
- MORRISON, R.B.; COOLEY, M.E. Application of ERTS-1 Multispectral imagery to monitoring the present episode of accelerated erosion in Southern Arizona. IN NASA: *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1*, Maryland, mar. 5-9, 1973. Proceedings. v.1, p. 283-288.
- PINTO, S. dos A. F. Projeto EROS. Comunicação Pessoal, 1980.
- RABCHEVSKY, G.A. LANDSAT Geologic reconnaissance of the Washington, D.C. Area westward to the Appalachians. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45 (5):611-621, 1979.

- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L.M. *Uso de dados do LANDSAT-1 na implantação controle e acompanhamento de projetos agropecuários no Sudoeste da Amazônia Legal*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1977. (INPE - 1044-TPT/056).
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L.M.; DUARTE, V. *Exemplo na aplicação de dados do sistema LANDSAT, no estudo das relações entre compartimentação topográfica e qualidade de pastagens no Município de Paragominas (PA)*. São José dos Campos, INPE, jun., 1980 (INPE-1756-RPE/145).
- SAYN-WITTGENSTAIN, L.; KALENSKY, Z. Interpretation of forest patterns on computer compatible tapes. IN: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Canada, University of Guelph, 1974. Proceedings. v.1, 268-277.
- SAUSEN, T.M. *Estudo metodológico da dinâmica de reservatórios artificiais em função do transporte e dispersão do material em suspensão, através de imagens LANDSAT - Exemplo: Reservatório de Três Marias (MG)*. Tese de Mestrado. Apresentada no INPE em 1980.
- VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. de *Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para levantamento de solos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1976. (INPE-912-TPT/030).
- VERSTAPPEN, H. Th. *Remote sensing in geomorphology*. Amsterdam, Elsevier, 1977.

CAPÍTULO VI

METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS (LANDSAT) EM VEGETAÇÃO

6.1 - INTRODUÇÃO

De um modo geral, na realização de trabalhos que utilizam dados multiespectrais, obtidos do sensor MSS do LANDSAT, na caracterização e mapeamento da vegetação natural e artificial, devem ser utilizados os seguintes passos metodológicos (Figura VI.1).

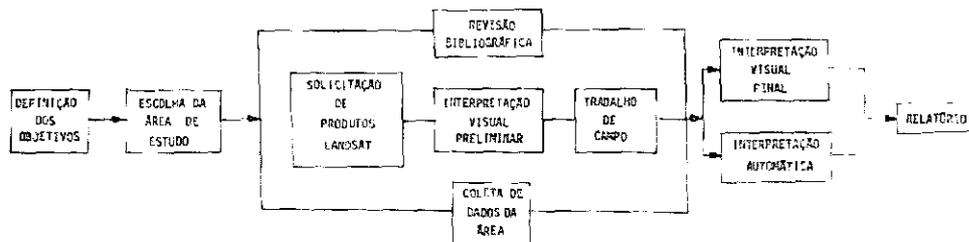


Fig. VI.1 - Passos metodológicos para a caracterização e mapeamento da vegetação natural e artificial.

6.2 - DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Nesta fase, são estabelecidas as metas a serem atingidas no final do trabalho. Como exemplo podem-se citar: estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais (Hernandez Filho e Shimabukuro, 1978); caracterização da vegetação do cerrado na área do Distrito Federal (Aoki e Santos, 1980).

6.3 - ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o objetivo geral do trabalho, é definida uma área representativa que englobe os tipos de vegetação de interesse. Esta área pode ser escolhida a nível de município, a nível estadual ou até mesmo a nível regional, como o caso do mapeamento da vegetação natural na Amazônia Legal.

6.4 - SOLICITAÇÃO DE PRODUTOS DO LANDSAT

Uma vez definida a área a ser estudada, são solicitadas as imagens fotográficas em preto e branco na forma de papel e/ou fitas compatíveis com o computador (CCT), que cobrem a região, em função das órbitas e pontos do satélite LANDSAT correspondentes. Isto pode ser feito através de um formulário, que apresenta todas as especificações, de forma que o pedido deste material se conclua.

6.5 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa, faz-se um levantamento dos trabalhos que apresentam metodologias similares ao que se pretende desenvolver, ou mesmo, trabalhos de base já realizados na área de estudo. Devem ser consultados os trabalhos em que se fez uso de imagens orbitais e fotografias de avião para fins de mapeamento da vegetação.

Outro fato que deve ser verificado e analisado diz respeito à tipologia a ser empregada quando da legenda final, alertando que

muitos autores divergem quanto à nomenclatura acerca da vegetação. O fotointérprete deve estar apto a escolher aquela que melhor se enquadra dentro do tipo de trabalho que realiza.

6.6 - COLETA DE DADOS

Antes de qualquer dedução por parte do fotointérprete com relação às classes de vegetação encontradas na área de estudo, é conveniente coletar informações locais. Desta forma, procura-se saber se existe levantamento cartográfico, levantamento de solos, formas de relevo, clima predominante, geologia e principalmente sobre vegetação. Em um contexto bem geral, verifica-se em que domínios está a cobertura vegetal da área e a influência dos fatores ambientais a ela interligados.

6.7 - INTERPRETAÇÃO VISUAL PRELIMINAR DAS IMAGENS MSS/LANDSAT

Ao iniciar a descrição dos passos metodológicos, ressalta-se que, no estudo da vegetação, a escolha da imagem que contem a área de interesse deve basear-se em três pontos de seleção: época da tomada da imagem, canais e escala de trabalho.

A época da tomada da imagem é importante e diretamente ligada à variação sazonal que ocorre com as espécies vegetais, pois este aspecto pode refletir no comportamento espectral da vegetação. (Draeger et al., 1971). As imagens do período seco são recomendadas, pois permitem identificar melhor os tipos de vegetação e discriminar, em alguns casos, as diferentes formas dentro de um mesmo tipo de vegetação. Isto pode ser constatado nos trabalhos de Santos e Novo (1977), Aoki et al. (1978), ao comentarem que as imagens do período seco evidenciam os tipos de cobertura vegetal, cujos substratos apresentam sistemas radiculares diferentes. Outros trabalhos, como de Safir et al. (1973), Valério Filho et al. (1976), Pinto et al. (1979) recomendam a seleção da época seca, para o estudo da vegetação. Entretanto, as passagens do período úmido, quando ocorre um maior desenvolvimento vegetativo, podem ser utilizadas como apoio na interpretação (Aoki e Santos, 1980).

Na escolha dos canais do MSS, recomenda-se, através dos resultados obtidos por Elbersen(1973), Grehs (1974), Santos e Novo(1977) e Hernandez Filho e Shimabukuro (1978), o uso dos canais 5 (0,6 a 0,7 μm) e 7 (0,8 a 1,1 μm). Os alvos florestais têm a propriedade de absorver maior quantidade de energia eletromagnética na região do visível (banda 5) em relação direta ao aumento de densidade da cobertura vegetal. Na região do infravermelho próximo (banda 7), em geral, quanto maior o grau de cobertura da vegetação, maior será a reflexão da radiação.

Quanto às escalas de trabalho, recomenda-se o uso de 1:500.000 e 1:250.000, tanto para a análise visual, como para a etapa de campo, conforme Pinto et al. (1979) e Aoki e Santos (1980).

Uma vez observados estes três pontos de seleção, pode-se efetuar a etapa de interpretação das imagens. Esta deve basear-se, de acordo com a vegetação da área (natural e/ou artificial), nos aspectos espectrais, temporais e/ou espaciais. Nos aspectos espectrais, são analisados os elementos de fotointerpretação (tonalidade e textura fotográfica). Nos aspectos temporais, são analisadas as características espectrais do alvo em imagens de datas de passagem diferentes. Nos aspectos espaciais, são analisadas a forma e a distribuição do alvo.

Com um "overlay" (papel poliéster estável transparente) colocado sobre a imagem, demarcam-se as coordenadas (latitude sul e longitude oeste), estradas e cidades, para a localização da área de interesse. Neste mesmo "overlay", recomenda-se o traçado da rede hidrográfica (rios, córregos). Estas informações contidas no "overlay" servirão de base cartográfica para a montagem do mapa final de vegetação.

As estradas e as cidades são melhor definidas no canal 5, pelos tons claros que caracterizam estes alvos. As estradas possuem forma linear e as áreas urbanas são caracterizadas pelos limites irregulares e convergência de estradas. As cartas do Brasil ao milionésimo, publicadas pelo IBGE (1972), são de grande ajuda para localizá-los.

No caso da rede de drenagem, sua caracterização permite mostrar a influência do material de origem, solo, relevo, conteúdo hídrico, no comportamento da vegetação local. O canal 7 é o melhor para o traçado dos rios principais (Koffler, 1976). Em alguns casos, este canal pode ser usado no traçado da rede secundária, principalmente, quando a área de estudo é predominantemente coberta por vegetação densa (Santos e Novo, 1977). Porém, quando a vegetação é mais rala, o canal 5 é indicado, pois o traçado dos rios pode ser feito em função da mata galeria que os acompanha.

Assim, no canal 7, os rios apresentam-se em tonalidade bem escura (preta), em virtude da lâmina d'água absorver grande quantidade de radiação no infravermelho próximo.

Para a caracterização e mapeamento da cobertura vegetal (natural e artificial) nas imagens, utiliza-se outro "overlay", onde se rá feita uma "interpretação preliminar". O principal aspecto interpretativo é a tonalidade.

Assim, procura-se identificar e demarcar o maior número possível de unidades homogêneas quanto a este padrão, tanto nas imagens do canal 5 como do 7 (Santos et al, 1979).

O padrão tonal está relacionado ao nível de cinza que cada alvo apresenta na imagem. Por exemplo: no canal 5, geralmente, uma vegetação bem densa aparece em tons escuros, enquanto uma vegetação mais rala, aparece em tons claros. Logicamente, ocorrem exceções, como casos de áreas com espécies caducifólias, campos inundáveis, etc. Na região do espectro eletromagnético em que opera o canal 7, quanto maior a densidade de cobertura vegetal, maior a reflectância, assim, em função dessa densidade os tons de cinza variam de médio a claro. Saliente-se que as áreas com baixa densidade de cobertura vegetal e com alto grau de umidade apresentam tons mais escuros, devido à absorção pela água, nessa faixa do espectro.

Um outro padrão considerado que pode auxiliar na interpretação, para alguns casos, é a textura fotográfica (Aoki e Santos, 1980). Este aspecto diz respeito à variação dos tons de cinza apresentados na imagem, por unidade de área, e pode ser dividida em três categorias: lisa ou fina, média e grosseira. A textura é lisa quando não há variação perceptível de tons de cinza e, grosseira, quando em uma determinada área há uma mescla (variação) de tons claros e escuros. Exemplificando cita-se que uma área coberta totalmente pela vegetação e outra área parcialmente coberta (manchas de solo exposto) apresentam textura lisa e grosseira, respectivamente. No caso de áreas reflorestadas, pode-se dizer que a textura é lisa quando o plantio é homogêneo, e grosseira, quando a área apresenta falhas (plantio heterogêneo). Neste caso do reflorestamento, a relação de textura é para plantios com a mesma idade, espécie, e deve cobrir totalmente o solo.

Nesta oportunidade, também é necessária a comparação de informações do canal 5 com as obtidas no canal 7, tendo em vista que a faixa do IV próximo permite com eficiência a identificação, por exemplo, vegetação de várzea, áreas sujeitas à inundação, e delimitação de áreas em que as diferenças da cobertura vegetal estão associadas a diferentes condições de umidade do solo (Santos e Novo, 1977). O canal 7 também é recomendável para a delimitação de áreas de vegetação em regeneração, após a queimada (Aoki e Santos, 1978).

A confrontação das informações obtidas dos canais 5 e 7 permite obter uma melhor eficiência na interpretação. Como exemplo, pode-se citar o caso de áreas reflorestadas, cuja delimitação é mais eficiente no canal 5, enquanto o canal 7 permite melhor discriminação entre os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (Hernandez Filho e Shimabukuro, 1978).

Uma vez delimitada todas as manchas homogêneas, com relação aos padrões tonais e/ou texturais, elabora-se, com auxílio dos dados bibliográficos da área uma legenda preliminar. Assim, este mapa de vegetação, também preliminar, será levado ao campo, para possíveis correções e estabelecimento da legenda final.

6.8 - TRABALHO DE CAMPO

Esta etapa, que consta da metodologia, deve ser realizada no período equivalente à data da passagem. Isto quer dizer que, se a imagem interpretada é do período seco, deve-se ir ao campo nesta época. Assim, pode-se relacionar os padrões tonais e/ou texturais na imagem, com o aspecto da vegetação em estudo.

A etapa de campo deve ser constituída de percursos terrestres e ou aéreos, de modo a cobrir o maior número possível das classes de cobertura vegetal, conforme Santos et al.(1979) e Pinto et al.(1979).

A técnica de coleta de informações no campo consiste no estabelecimento de uma associação entre determinado sistema homogêneo, identificado na imagem, com a correspondente unidade de vegetação, presente no solo. Esta unidade é então fotografada e descrita em termos de seu aspecto fitofisionômico. No caso da vegetação natural, a descrição pode incluir uma estimativa da taxa de elementos arbóreo, arbustivo e herbáceo, o tipo de relevo, porcentagem de cobertura do solo, tipo de solo, etc. Para áreas reflorestadas, pode-se descrever os itens relacionados à altura, idade, diâmetro à altura do peito (DAP), ocorrência ou não de falhas, etc..

6.9 - INTERPRETAÇÃO VISUAL FINAL

As informações do trabalho de campo, associadas às da imagem multiespectral, permitem as correções na delimitação das classes mapeadas e o estabelecimento de uma chave de interpretação para os sistemas homogêneos. Desta forma, faz-se o mapa final, cuja legenda deve ser:

- compatível com a escala de trabalho;
- adequada às condições da região; e
- adaptada aos objetivos do levantamento da cobertura vegetal.

Este mapa final é feito também em papel poliéster estável transparente, devendo ter como base cartográfica, o mapa de drenagem obtido das imagens multiespectrais.

Pode-se efetuar uma avaliação quantitativa, através da utilização da técnica de contagem de pontos em grade milimetrada colocada sobre o "overlay". Isto permite avaliar a área ocupada por classe de vegetação mapeada. Um exemplo desta quantificação, pode ser observado no trabalho de Hernandez Filho e Shimabukuro (1978). Estes autores comparam áreas reflorestadas e de mata natural do mapa obtido de imagens LANDSAT, com aquelas fornecidas no mapa da fazenda de estudo. A partir da fórmula a seguir, obtiveram o desvio percentual (C) entre as informações dos dois mapas:

$$C = \frac{B-A}{A} \times 100$$

onde:

A = área fornecida pelo mapa da fazenda, em ha.

B = área da classe determinada na imagem LANDSAT, em ha.

6.10 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA

No desenvolvimento de métodos de classificação automática existem três passos que devem ser seguidos; deve-se:

- decidir quais as classes de cobertura do solo a serem individualmente distinguidas;
- relacionar características próprias para discriminar as diferentes classes; e
- estabelecer um método de decisão para definir a que classe pertence o elemento analisado (Goodenough e Shlien, 1974).

Para a classificação automática de alvos florestais, a escolha das classes a serem distinguidas é realizada através de informações detalhadas da área de estudo. Essas informações são obtidas através de fotografias aéreas, mapas de fazendas ou informações obtidas no campo.

Para esse estudo, utilizando dados do LANDSAT, a seleção de características é restrita às quatro bandas do imageador multiespectral (MSS). Informações espacial e textural, sendo mais difícil de tratar, não são incluídas nessa análise (Goodenough e Shlien, 1974).

6.10.1 - MATERIAL

A interpretação automática de alvos florestais é feita através do sistema I-100, utilizando dados do MSS contidos nas fitas compatíveis com computador (CCT).

a) Sistema I-100

O I-100 é um analisador interativo utilizado para fazer classificação automática.

A principal função do I-100 é extrair informação temática de imagens multiespectrais. Uma função secundária é realçar essas imagens, permitindo destacar contrastes entre alvos de interesse (General Electric Company, 1975).

b) Fitas CCT

Uma imagem pode ser definida como uma matriz de pontos que representa uma determinada cena. As intersecções das linhas com as colunas dessa matriz caracterizam o elemento mínimo de resolução, que no caso das imagens do MSS do LANDSAT representam um retângulo de aproximadamente 79 m x 57 m, no solo.

Para cada ponto desta matriz está associado um valor de in tensidade de luz. No caso das imagens do LANDSAT, estes valores podem ser armazenados em fitas magnéticas, numa forma digital.

Uma cena ou quadro do LANDSAT é, na realidade, formada por quatro matrizes, correspondentes aos quatro canais do MSS (4,5,6 e 7). Cada cena pode ser armazenada em duas fitas magnéticas, digitalizadas, compatíveis com computador (CCT).

6.10.2 - MÉTODO

A interpretação automática dos dados contido- nas CCTs é efetuada pelo Sistema I-100, adotando-se as seguintes fases:

- 1) fase preparatória;
- 2) classificação da área de estudo; e
- 3) avaliação dos resultados.

1) Fase preparatória

A imagem do satélite (em fitas digitalizadas) é carregada no Sistema I-100, sofrendo operações de formatação e correções.

Desta forma, há o armazenamento dos valores de reflectân cia gravados nas fitas CCT, na memória do I-100, valores estes que são apresentados no vídeo, na forma de uma imagem completa.

A entrada dos dados das imagens do MSS do LANDSAT é feita por intermédio do programa "INPERTS". Este programa é acionado por inter médio de um botão, localizado no painel de controle, que contém uma das funções especiais do Sistema I-100.

O passo seguinte é a delimitação da área de interesse e a ampliação da mesma. A delimitação é feita com o progra ma "TRAÇO". De acordo com o tamanho da área, esta pode ser dividida em

vários módulos, para que cada um, ampliado na escala de trabalho selecionada, se encaixe por inteiro no vídeo. Recomendam-se escalas em torno de 1:100.000 para não haver perda de informações dos dados do LANDSAT.

Toda a área ampliada (1:100.000), ou os módulos (um de cada vez) sofrem funções de pré-processamento. A mais indicada é a correção radiométrica, visando eliminar falhas oriundas da gravação das CCTs e realçar os aspectos da cena no vídeo. Em alguns casos, de acordo com o grau de detalhamento das classes de vegetação estudadas, pode-se fazer uso das funções de "RATONING".

2) Classificação da área de estudo

Para a classificação da área de estudo, o primeiro passo é a aquisição de amostras de treinamento, demarcadas no vídeo através do "CURSOR". Estas áreas de treinamento não têm uma dimensão constante (valor de "pixel"), a qual deve ser estabelecida em função do tamanho da área ocupada por tipo de vegetação, identificado na imagem e localizado através do trabalho de campo. Segundo Murine (1979) deve-se evitar em global parte dos outros alvos, pois as diferenças nos tamanhos das amostras, desde que sejam absolutamente representativas da classe em estudo, geralmente, não afetam a significância dos resultados.

A maior ou menor representatividade em termos de tonalidade (níveis de cinza) depende do conhecimento do fotointérprete quanto ao comportamento da vegetação nas imagens orbitais.

A classificação dos temas pode ser feita por dois métodos: o método do paralelepípedo (1 - CELL SIGACQ) ou o método de máxima verossimilhança (MAXVER).

O método do paralelepípedo oferece a assinatura da célula única, mostrando a distribuição de frequência dos valores de níveis de cinza, ou seja, os chamados histogramas unidimensionais, dos quatro ca

nais do MSS, para as amostras de treinamento. Quando a assinatura apresentar valores de cinza distantes da média, ou seja, de baixa frequência de ocorrência, faz-se o refinamento, modificando-se os limites inferior e/ou superior do histograma, em cada canal.

O método de classificação de máxima verossimilhança (MAXVER), descrito por Velasco et al (1978), é utilizado para a obtenção de parâmetros espectrais das classes de vegetação da área de estudo. Estes parâmetros são representados pelos valores médios de níveis de cinza e a matriz de covariância da classe. Este método fornece a matriz de classificação que possibilita avaliar o grau de superposição entre as classes. Além disso, ele fornece a porcentagem dos pontos classificados ou não, nas classes de interesse. Nesse método, pode-se fazer refinamento da classificação, utilizando-se o programa "ANÁLISE DAS AMOSTRAS", para estudar a discriminação das classes superpostas, através da subtração e aquisição de novas amostras, até que a matriz de classificação ofereça valores satisfatórios (Aoki e Santos, 1980).

Uma vez obtidas as assinaturas espectrais das classes de vegetação, alarma-se o vídeo e pode-se, através do uso de "áreas testes", verificar o grau de confiabilidade de interpretação.

O produto final da análise automática pode ser obtido em duas formas: fotografias e "slides", obtidos através do DICOMED, e "Print-out" (mapas alfanuméricos), obtido através da impressora.

3) Avaliação dos resultados

A avaliação do resultado de classificação automática é feita de duas maneiras. A primeira, é a avaliação qualitativa da classificação através do vídeo do I-100, realizada simultaneamente com a classificação temática. O objetivo é determinar, visualmente, quando uma classificação é satisfatória. A segunda, é uma avaliação quantitativa, onde se obtêm o cálculo de área e a determinação da precisão de classificação.

O cálculo de área é obtido através do programa "THEME AREAS". A determinação da precisão da classificação é feita comparando-se as informações de verdade terrestre, fornecidas por mapas de fazendas, fotografias aéreas e trabalho de campo. Esta comparação é feita numa área teste, utilizando-se o mapa alfanumérico obtido pela impressora, através do programa "ALPHANUMERIC THEME PRINT".

Os índices utilizados para definir a precisão são:

- PA - porcentagem de ocorrência da classe dentro da área teste;
- Pa - porcentagem de classificação correta; e
- Pb - porcentagem de erro de comissão.

Esses valores são calculados do seguinte modo:

$$\text{a) } PA = \frac{NA}{NT} ; \quad \text{b) } Pa = \frac{NC}{NA} ; \quad \text{c) } Pb = \frac{NE}{NT - NA}$$

onde:

- NA - é o número de pontos da classe dentro da área teste;
- NT - número total de pontos da área teste;
- NC - número de pontos da classe classificados corretamente;
- NE - número de pontos classificados incorretamente como pertencentes à classe.

A utilização desses índices para medir a precisão de classificação automática pode ser vista nos trabalhos de Hernandez Filho e Shimabukuro (1978) e Hernandez Filho et al. (1980).

6.11 - RELATÓRIO

É a compilação das informações obtidas no transcorrer do plano de trabalho. Esta inclui os resultados obtidos nas fases de interpretação, quer seja visual e/ou automática; análise destes resultados; e, conclusões sobre os objetivos atingidos.

Assim, são apresentados os mapas de cobertura vegetal obtidos dos produtos orbitais, são discutidos os parâmetros fotointerpretativos para cada classe mapeada e são mostrados os valores quantitativos das classes de vegetação.

Das conclusões do relatório, pode-se ou não afirmar da importância de utilização da metodologia empregada na caracterização e mapeamento da cobertura vegetal, através dos produtos do LANDSAT.

6.12 - EXEMPLOS DE TIPOS DE COBERTURA VEGETAL E SUA CORRESPONDÊNCIA NAS IMAGENS DO LANDSAT

Mata

Apresenta tonalidade cinza-escuro, homogênea, no canal 5, por motivo da cobertura total do solo por essa formação. No canal 7, geralmente, apresenta a tonalidade cinza claro devido à alta porcentagem de reflexão de energia pelas copas das árvores na região do espectro correspondente ao infravermelho próximo. Deve-se, entretanto, analisar a condição topográfica da área de ocorrência de mata, pois, este fator pode afetar a resposta da reflectância nessa região específica do espectro eletromagnético, devido aos efeitos de sombra e rugosidade da cobertura vegetal.

Mata de Galeria

Caracteriza-se pela localização ao longo dos cursos d'água. No canal 5, esta classe apresenta a tonalidade de cinza-escuro, quando os alvos vizinhos são constituídos por vegetação menos densa e de porte

menos exuberante. No canal 7, esta unidade de vegetação não apresenta os limites bem definidos.

Cerrado

No terreno, o cerrado típico caracteriza-se por possuir o estrato superior mais denso, apresentando certa cobertura do solo, pelas copas, embora de modo irregular. Estas características determinam, no canal 5, uma tonalidade de cinza médio, pouco homogênea, com manchas de tonalidades mais escuras, onde há adensamento das copas. Esta tonalidade de cinza médio varia de acordo com as espécies que compõem o substrato. Se o substrato for composto por dicotiledôneas, a tonalidade aparecerá mais escura do que aquela dada pelo substrato constituído de gramíneas.

Campos

Devido ao predomínio de gramíneas, esta unidade apresenta tonalidade de cinza claro no canal 5, caracterizando uma maior exposição do solo, afetando a resposta espectral deste tipo de formação vegetal. A tonalidade irá variar de acordo com o número de arbustos; por exemplo, no caso de campos sujos poderá apresentar este tipo de variação.

Campos Úmidos

Esta unidade é descrita como tendo uma vegetação de gramíneas sobre topografia plana, com solos úmidos, arenosos e sujeitos à inundação sazonal. Na estação seca, a umidade do solo diminui, permitindo que a resposta espectral seja determinada pelo solo arenoso. Em depressões do terreno, onde o acúmulo de água é maior, permanecem áreas úmidas. Destas características resultam tonalidades claras nos canais 5 e 7, com manchas escuras correspondentes às áreas alagadas.

Caatinga

Esta unidade se caracteriza por apresentar, geralmente, elementos lenhosos que perdem as folhas na estação da seca e que se acham sobre solos relativamente rasos e quase sempre pedregosos. No canal 5, apresenta tonalidade cinza-escuro, que pode ser explicada pelo seu índice de massa foliar que, mesmo sendo baixo, é bem distribuído sobre o solo. No canal 7, apresenta tonalidade de cinza médio, que pode ser explicado também pelo baixo índice de massa foliar, que caracteriza a baixa reflectância na faixa espectral do infravermelho próximo, o que não acontece com uma vegetação de maior índice de área foliar como a mata ou o cerrado.

Reflorestamento

Em alvos florestais artificiais, os elementos de interpretação analisados são a tonalidade e a textura fotográfica. No Brasil, praticamente, as áreas reflorestadas são as do gênero *Pinus e Eucalyptus*. Quando se analisam estes tipos de povoamentos florestais, procura-se verificar os aspectos espectrais, temporais e espaciais. Via de regra, os reflorestamentos se apresentam com forma regular e limites bem definidos.

No caso do reflorestamento bem homogêneo, com o gênero *Eucalyptus*, que esteja cobrindo totalmente o solo, apresenta a tonalidade de cinza bem escuro no canal 5 e de cinza bem claro no canal 7. Os povoamentos mais antigos apresentam uma alteração de cinza, de claro a médio no canal 7. A textura neste caso, é classificada como lisa, tanto no canal 5 como no 7. Plantios com idades diferentes e homogêneos de gênero *Eucalyptus* apresentam uma textura lisa no canal 5 e média e grosseira no canal 7.

À medida que esse alvo perde a sua condição de homogeneidade e o elemento solo contribui para modificar o seu comportamento espectral, as tonalidades tendem-se a alterar. No canal 5, os alvos florestais apresentariam variação de tons cinza, bem como o canal 7 modifi

caria também o seu comportamento espectral. As texturas, nos dois canais, seriam classificadas como média e grosseira.

Um plantio uniforme de *Pinus* apresenta uma tonalidade de cinza bem escuro no canal 5 e cinza médio no canal 7. A textura é classificada como lisa. Quando existe uma diferença de espécie de *Pinus* aparece uma variação de tons de cinza no canal 7. A textura é, neste caso, denominada média ou grosseira.

No caso de um reflorestamento de *Pinus* apresentar-se heterogêneo, ele propiciará uma resposta de tons de cinza desuniforme nos canais 5 e 7, e a textura será denominada média ou grosseira.

Este tipo de problema cria alguma dificuldade na caracterização do alvo. Essa confusão apresentada pelo alvo pode ser esclarecida através da utilização de imagens correspondentes a passagens anteriores de satélite onde sua condição de heterogeneidade não seja tão proeminente.

BIBLIOGRAFIA

- AOKI, H.; SANTOS, J.R.dos Monitoramento do Parque Nacional de Brasília através de dados orbitais. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1.*, São José dos Campos, nov., 1978, no prelo.
- . *Estudo da vegetação de cerrado na área do Distrito Federal, a partir de dados orbitais.* Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, maio, 1980. (INPE-1730-TDL/026).
- AOKI, H.; SANTOS, J.R.dos; CARVALHO, V.C. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicado na caracterização da vegetação de cerrado. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1.*, São José dos Campos, nov., 1978, no prelo.
- DRAEGER, W.C.; PETTINGER, L.R.; BENSON, A.S. The use of small scale aerial photography in a regional agricultural survey. In: *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 7.*, Ann Arbor, MI., 1971. Proceedings. v.2, p.1205-1217.
- ELBSERSEN, G.W.W. Interpretation of ERTS-MSS images of a savanna area in Eastern Columbia. In: NASA. *Symposium on Significant Results Obtained from the Earth Resources Technology Satellite-1: Symposium held at New Carrollton, MD.*, 1973. Proceedings. v.1, p.105-109.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Image-100-interactive multispectral image analysis system: user manual.* Daytona, FL., 1975.
- GOODENOUGH, D.; SHLIEN, S. *Automatic classification methodology.* Ottawa, Canada Center for Remote Sensing. Department of Energy, Mines and Resources, 1974.
- GREHS, S.A. Interpretação das imagens do satélite ERTS-1 da região de Brasília. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28*, Porto Alegre, 1974. Anais. v.4, p.165-171.
- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. *Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais, utilizando-se dados do LANDSAT.* Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, junho, 1978. (INPE-1271-TPT/089)

- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E.; MEDEIROS, J.S.; SANTANA, C.C. de; ALVES, E.C.M. *Relatório das atividades do Projeto IBDF/INPE (sub-projeto reflorestamento), durante o ano de 1979*. São José dos Campos, INPE, jan., 1980. (INPE-1664-RPE/104)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Atlas do Brasil ao milionésimo*. Rio de Janeiro, 1972.
- KOFFLER, N.F. *Utilização de imagens aerofotográficas e orbitais no padrão de drenagem em solos originados do arenito Bauru*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, junho, 1976. (INPE-898-TPT/029)
- MURINE, G.E. The effects of varying training set size on multispectral scanner data classification. In: SHAHROKHI, F., ed. *Remote sensing of earth resources*. Tullahoma, TN., University of Tennessee, 1975. v.4, p.743-758.
- PINTO, J.H.D.; SANTOS, J.R. dos; CHIANG, L.C.; NIERO, M.; PINTO, S. dos A.F.; CARVALHO, V.C. de *Levantamento integrado dos recursos naturais da área do Parque Nacional da Amazônia (Tapajós), baseado nas imagens do MSS do LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, set., 1979. (INPE-1577-RPE/074)
- SAFIR, G.R.; MYERS, W.L.; MALILA, W.A.; MORGENSTERN, J.P. Application of ERTS-1 data to analysis of agricultural crops and forests in Michigan. In: NASA. *Symposium on Significant Results Obtained from Earth Resources Technology Satellite-1: Symposium held at New Carrollton, MD., March, 5-9, 1973*. Proceedings. v.1, p.173-180. (NASA SP-327)
- SANTOS, A.P. dos; NOVO, E.M.L.M. *Avaliação do uso de dados do LANDSAT-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no sudoeste da Amazônia Legal*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, junho, 1977. (INPE-1044-TPT/056)

SANTOS, A.P.dos; ASSUNÇÃO, G.V.; SANTOS FILHO, C.P.dos *Relatório das atividades do Projeto IBDF/INPE (sub-projeto Desmatamento) durante o ano de 1978*. São José dos Campos, INPE, mar., 1979. (INPE-1428-RPE/007)

VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C.de *Avaliação das imagens orbitais (LANDSAT-1) como base para o levantamento de solos*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, julho, 1976. (INPE-912-TPT/030)

VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: manual do usuário*. São José dos Campos, julho, 1978. (INPE-1315-NTI/110)

CAPÍTULO VII

METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS (LANDSAT) NA AGRICULTURA

7.1 - INTRODUÇÃO

7.1.1 - NECESSIDADE DE ESTATÍSTICAS AGRÍCOLAS

Entidades governamentais e mesmo privadas, ao esboçarem programas de desenvolvimento, necessitam tomar decisões rápidas e seguras, tanto do ponto de vista do desenvolvimento econômico em geral, como do agrícola em particular.

A política de um país que se propõe a assegurar um suprimento adequado de alimentos e fibras a um preço acessível deverá, como condição mínima para tanto, elaborar um planejamento agrícola global. Esse planejamento requer previsões precisas de produção em tempo hábil, devendo ser feitas de maneira sistemática e através do tempo.

7.1.2 - DIFICULDADES DE AQUISIÇÃO DE DADOS SOBRE ÁREAS PLANTADAS

No caso brasileiro, a falta de boas estatísticas, referentes a produções agrícolas passadas e de mapeamentos temáticos precisos e atualizados de culturas, constitui-se numa grande lacuna para os planejamentos agrícolas elaborados por agentes governamentais. Com efeito, no setor agrícola, a necessidade de informações atualizadas é realmente imperiosa, dado que as variações das características que influenciam a produção ocorrem muito rapidamente. Um bom conhecimento de fatores, tais como, área plantada e distribuição espacial das culturas é essencial para que se possa realizar uma correta previsão de produção.

Dentro da realidade da agricultura brasileira, considerando-se o tamanho das diversas áreas de plantio, a variabilidade de suas características, sua localização muitas vezes remota, a diversidade dos métodos de exploração e dos hábitos sociais das populações

rurais, conclui-se que a obtenção de informações repetitivas, precisas e rápidas se constitui, pelo emprego exclusivo de métodos convencionais, numa tarefa muito difícil.

7.1.3 - IMPORTÂNCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO NUM SISTEMA DE PREVISÃO DE SAFRAS

O advento dos satélites de levantamento de recursos naturais proporciona uma nova dimensão na área de tecnologia de sensoriamento remoto, através do imageamento periódico da superfície da terra, permitindo a muitos usuários, em todo o mundo, estabelecer programas de acompanhamento e controle de vários recursos naturais, inclusive os recursos agronômicos.

No caso de utilização de dados coletados pelo sensor MSS do satélite da série LANDSAT, é possível desenvolver uma metodologia operacional, a partir de estudos das características espectrais, temporais e espaciais das culturas, a fim de identificar e avaliar áreas ocupadas com culturas, que auxiliarão nos sistemas de previsão de safras.

7.1.4 - METODOLOGIA DE TRATAMENTO DOS DADOS ORBITAIS

Definida uma *área de estudo*, pode-se estabelecer uma metodologia para identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas, utilizando dados orbitais, de acordo com as seguintes fases:

FASE 1: estudo dos *dados terrestres*, que consiste na aquisição de informações preliminares da região, que ajudarão na definição da área de estudo;

FASE 2: estudo dos *dados suborbitais*, que compreende a aquisição de informações, a nível de aeronave, de áreas previamente selecionadas, dentro da área de estudo, denominadas áreas de treinamento;

FASE 3: estudo dos *dados orbitais*, os quais podem ser tratados visual ou automaticamente.

A seguir, discute-se, detalhadamente, cada uma dessas três fases.

7.2 - TRATAMENTO DOS DADOS TERRESTRES DA ÁREA DE ESTUDO

7.2.1 - INFORMAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A REGIÃO

É muito importante levantar informações de fatores ambientais, tais como clima, solos e relevo predominantes na região e, do ponto de vista agrônomo, quais as culturas relevantes que ocorrem e como se desenvolve o calendário cultural.

Contatos com técnicos e consultas a trabalhos de interesse, já realizados, são muito importantes e permitem definir, dentro da região, a área a ser estudada.

7.2.2 - INFORMAÇÕES PRELIMINARES SOBRE A CULTURA

As principais informações obtidas das culturas a serem identificadas com as técnicas do sensoriamento remoto são as referentes ao desenvolvimento do calendário cultural, ao tamanho dos campos ocupados com as culturas, às práticas culturais adotadas e, se possível, às informações sobre sua concentração e distribuição espacial, dentro da região.

7.2.3 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A partir da análise das informações obtidas anteriormente, pode-se definir a *área de estudo*.

Nesta etapa, elaboram-se mapas preliminares mostrando a distribuição espacial da cultura e sua concentração, a distribuição

e ocorrência dos diversos tipos de solos, a época a ser definida para obtenção das informações de dados orbitais e o número de passagens do LANDSAT, que cobrirão a área de estudo.

7.3 - TRATAMENTO DOS DADOS SUBORBITAIS DA ÁREA DE ESTUDO

7.3.1 - DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE TREINAMENTO

Normalmente, uma área de estudo não é toda homogênea. Fatores ambientais e agronômicos manifestam-se diferentemente e influenciam, decisivamente, a ocorrência de diferentes padrões espectrais, seja em diferentes culturas ou dentro de uma mesma cultura. Tal fato dificulta grandemente a análise dos dados orbitais.

Como é muito difícil verificar, em uma área de estudo, a ocorrência de todos os diferentes padrões espectrais de uma ou mais culturas, um método utilizado para estudar essas variabilidades é o de definir, dentro da região de estudo, áreas a serem aerofotografadas, as quais são denominadas *áreas de treinamento*.

Tais áreas devem ser em número conveniente para cobrir, tanto quanto possível, o máximo de variações espectrais da cultura em questão, dentro da área de estudo. As informações obtidas na *primeira fase* auxiliam muito na definição das áreas de treinamento.

7.3.2 - PLANEJAMENTO DO VÔO AEROFOTOGRAFICO

Para a cobertura aerofotográfica das áreas de treinamento são definidos, além do tamanho de cada área a ser sobrevoada, sua localização, o equipamento para a aquisição das fotografias aéreas, e os seguintes parâmetros: data do vôo, tipo do filme, superposições longitudinal e lateral, e escala de vôo.

7.3.3 - REALIZAÇÃO DO VÔO E APOIO DE VERDADE TERRESTRE

Durante a realização do vôo aerofotográfico, faz-se o trabalho de campo com o objetivo de levantar informações sobre o estágio da cultura aerofotografada, a ocorrência de outros alvos e informações que auxiliam na elaboração de uma chave de interpretação das fotografias aéreas que estão sendo obtidas.

7.3.4 - TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS DAS ÁREAS DE TREINAMENTO

Após realizar o processamento do filme e plotar as fotografias aéreas em carta topográfica, procede-se ao tratamento dos dados suborbitais coletados, na seguinte ordem:

1) Determinação da Escala Média do Vôo Aerofotográfico

A partir da carta topográfica, onde foram plotadas as fotografias aéreas, é possível determinar a escala média do vôo aerofotográfico.

Para tanto, selecionam-se algumas fotografias de cada faixa do vôo e identificam-se pares de pontos comuns tanto na fotografia aérea, quanto na carta topográfica. A seguir, mede-se a distância linear entre esses pares de pontos, em cada um daqueles dois documentos cartográficos, através da seguinte relação:

$$\frac{dc}{1/Ec} = \frac{df}{1/Ef}$$

onde:

dc = distância do par de pontos na carta topográfica

df = distância do par de pontos na foto aérea

Ec = escala da carta topográfica

Ef = escala da foto aérea

Determina-se, então, a escala de cada foto pela seguinte expressão:

$$E_f = \frac{dc \times E_c}{df}$$

e a escala média do vôo aerofotográfico, definida por:

$$E_{fm} = \sum_{i=1}^N E_{f_i} / NF$$

onde:

E_{fm} = escala média do vôo aerofotográfico

NF = número de pares de pontos medidos nas fotos aéreas.

2) Estabelecimento da Chave de interpretação e Legenda

Com base nos objetivos do trabalho, definidos anteriormente, e nas informações de campo, coletadas por ocasião do vôo aerofotográfico, estabelece-se uma chave de interpretação das fotografias aéreas.

A seguir, estabelece-se uma legenda para os diferentes temas a serem identificados.

3) Fotointerpretação das Fotografias Aéreas

Para a interpretação visual de fotografias aéreas coloridas no infravermelho, podem ser utilizadas transparências positivas sobre uma mesa de luz.

Neste caso, para a identificação dos temas, são utilizadas as técnicas de sensoriamento remoto, cujo critério básico é a cor.

A cor apresenta três características principais: tonalidade, saturação e brilho.

A tonalidade é determinada pela frequência da energia luminosa no espectro eletromagnético. Esta característica é a mais utilizada na identificação de padrões característicos de culturas. Por exemplo: a cana adulta, numa imagem colorida no infravermelho, é diferenciada, através da tonalidade, da cana nova. Com efeito, o padrão fotográfico da cana adulta típica se apresenta com uma tonalidade magenta bem definida e homogênea. A cana nova, por sua vez, pode apresentar dois padrões de tonalidades, dependendo do tipo de solo. Assim, solos de coloração vermelha dominante apresentam um padrão verde intenso, mosqueado de magenta, o qual se mostra tanto mais intenso, quanto maior for a percentagem de cobertura do solo pela planta; e em solos de coloração clara, o padrão de tonalidade apresenta-se verde-claro, variando até o esbranquiçado (Mendonça, 1980).

Outros critérios que ajudam os trabalhos de interpretação são textura e arranjo espacial.

4) Verificação de Campo

Durante os trabalhos de interpretação, muitas dúvidas podem ocorrer. Para solucionar este problema, selecionam-se aquelas fotos com interpretação duvidosa e faz-se uma verificação de campo, a fim de proceder às devidas correções.

5) Elaboração de Mapas Temáticos

Após as correções dos temas através da verificação de campo, elaboram-se os mapas temáticos das áreas de treinamento.

6) Avaliação de Áreas

O cálculo da área dos temas identificados podem ser feitos através de malha de pontos equidistantes, colocada sobre o mapa

pa temático obtido. Para mapas na escala de 1:20.000, a malha poderá ser formada de pontos equidistantes de 0,5 cm. Neste caso, cada ponto equivale a 1 ha, que multiplicado pelo número de pontos contados, dá a área do tema, em hectare. Em termos gerais, a relação do valor da área, utilizando malha de pontos, é a seguinte:

$$A = N \times f$$

onde:

A = área do tema

N = número de pontos contados

f = fator a ser multiplicado pelo número de pontos contados, o qual é função da escala de trabalho.

7.4 - TRATAMENTO DOS DADOS ORBITAIS DA ÁREA DE ESTUDO

7.4.1 - DADOS ORBITAIS TRATADOS VISUALMENTE

Quando o tratamento dos dados orbitais é feito, exclusivamente, utilizando o método de *tratamento visual*, a fase 2, ou seja, a de tratamento de dados suborbitais pode ser dispensada. Os procedimentos adotados podem ser os seguintes:

1) Seleção das Imagens LANDSAT

Realizados os estudos preliminares, conforme metodologia estabelecida na fase 1, faz-se a seleção das imagens LANDSAT a serem utilizadas, de acordo com as órbitas e os pontos sobre a área de estudo, escolhendo aquelas de melhor qualidade, não só quanto ao aspecto de cobertura de nuvem, mas também quanto ao aspecto da época mais conveniente, segundo o ciclo da cultura estudada.

2) Estabelecimento da Chave de Interpretação e Legenda

Para o estabelecimento de uma chave de interpretação, os critérios adotados podem ser as características de resposta espectral e a variação temporal.

Um exemplo da utilização desses dois critérios pode ser esquematizado, tomando-se a cana-de-açúcar como alvo a ser identificado e utilizando-se imagens LANDSAT, na escala de 1:250.000, nos canais 5(0,6 a 0,7 μ m) e 7(0,8 a 1,1 μ m) de duas épocas distintas, conforme apresentado na Tabela VII.1.

Decididos os temas a serem identificados, estabelecem-se os símbolos representativos ou a cor para cada tema.

3) Interpretação das Imagens Utilizando os Recursos Espectrais e Temporais

Inicialmente, faz-se a preparação da imagem, que consiste na superposição de um papel transparente, tipo "ultraphan", sobre a imagem LANDSAT. A seguir, inicia-se a interpretação propriamente dita, utilizando-se a chave de interpretação mostrada no item anterior (4.1.2). Os passos para a interpretação das imagens, referentes à cultura de cana são mostrados a seguir:

- a) toma-se a imagem LANDSAT, no canal 7, correspondente à passagem de abril, e faz-se a delimitação das áreas com tonalidade de *cinza-claro*;
- b) com a imagem LANDSAT da mesma passagem de abril, mas no canal 5, caracteriza-se, com uma cor (amarelo, por exemplo), todas aquelas áreas que eram *cinza-claro* no canal 7, e que, agora no canal 5, apresentam um padrão de tonalidade *cinza-médio*. Há probabilidade destas áreas serem ocupadas com cana, ou com pastagens bem formadas. Todas as áreas que se apresen

TABELA VII.1

EXEMPLO DE UMA CHAVE DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT, EXPLORANDO AS CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS E A VARIACÃO TEMPORAL, PARA A IDENTIFICAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

EPOCA CANAL NÍVEIS DE CINZA TEMA	ABRIL							JULHO							
	5			7				5			7				
	CINZA-ESCURO	CINZA-CLARO	CINZA-MÉDIO												
CANA ADULTA			X					X						X	
CANA CORTADA			X					X					X		

tam claras no canal 7, mas que não são coloridas no canal 5, são apagadas;

- c) toma-se a interpretação anterior e superpõe-se a ela a imagem LANDSAT, no canal 7, correspondente à passagem de julho. Todas as áreas delimitadas anteriormente, e que nesta data apresentam um padrão de tonalidade *cinza-escuro*, podem ser consideradas como áreas de *cana cortada*, (no caso em que a área canavieira esteja localizada sobre solos argilosos de coloração escura); e as que apresentam um padrão de tonalidade *cinza-claro* devem ser assinaladas, para serem examinadas na imagem do canal 5, na passagem de julho, a fim de decidir se as áreas são de cana ou pastagem. As que forem de cana cortada podem ser marcadas com uma cor preestabelecida na legenda (preta, por exemplo);
- d) superpondo-se a interpretação obtida no canal 7, sobre a imagem LANDSAT no canal 5, na passagem de julho, todas as áreas demarcadas anteriormente, e que apresentam, neste canal, um padrão de tonalidade *cinza-médio*, podem ser pintadas com a cor estabelecida pela legenda (verde, por exemplo) para o tema cana adulta, e as que apresentam um padrão *cinza-claro*, são pintadas com a cor que, na legenda, indica cana cortada, e que corresponde às áreas canavieiras localizadas em unidades de solo com textura argilo-arenosa e coloração amarela e/ou esbranquiçada.

4) Determinação da Exatidão da Interpretação

Para determinar a exatidão da interpretação visual em imagens LANDSAT, considera-se a área mapeada como uma população de infinitos pontos. Cada ponto tem seu padrão espectral característico e se refere a um alvo específico, sendo que pode ou não haver erros de interpretação quanto a esses pontos. O que se deseja saber é a probabilidade de interpretação correta de tais pontos (P), no mapa, uma vez

que o valor de P somente pode ser obtido através de uma enumeração completa desses pontos. Isto é impraticável, pois consome muito tempo; então um procedimento adotado é o da amostragem estatística aleatória, onde pode-se estimar o valor de P.

Para a aplicação desse método, a fim de selecionar as mostras a serem verificadas no campo e determinar a exatidão da interpretação em imagem LANDSAT, procede-se da seguinte maneira: - superpõe-se um sistema de coordenadas espaciais aleatório, de uma grade de 1x1cm, sobre a área interpretada. A seguir, através de uma escolha aleatória, seleciona-se o número de amostras, anteriormente determinado por métodos estatísticos e de acordo com as características da área de estudo, para serem verificados no campo. Baseando-se na informação de campo, a exatidão da interpretação pode ser quantificada, isto é, dá-se o valor 1, para os pontos interpretados corretamente, e o valor 0 para aqueles interpretados incorretamente. A seguir, faz-se a análise estatística dos dados e determina-se a exatidão da interpretação (Chen, 1980).

5) Elaboração de Mapas Temáticos

Utilizando-se cartas topográficas como base cartográfica, monta-se um mosaico preliminar e, em seguida, elabora-se um mapa temático da área de estudo.

6) Avaliação de Áreas

O procedimento adotado para a avaliação da área do tema interpretado, a partir de imagens do LANDSAT, é idêntico àquele adotado para dados obtidos a partir de fotografias aéreas e descrito no item 6 da seção 7.3.4. A única diferença é no tamanho da malha, que para o caso de imagens LANDSAT, na escala de 1:250.000, utiliza-se uma malha cuja distância entre pontos é de 1 mm, onde cada ponto equivale a 6,25 ha.

7.4.2 - DADOS ORBITAIS TRATADOS AUTOMATICAMENTE

De um modo geral, a imagem é uma representação, direta ou indireta, da realidade.

Nesta seção, aborda-se apenas a imagem indireta onde a cada tonalidade de cinza de cena é associado um número. A importância da imagem indireta é permitir a utilização de computador para a interpretação. Um exemplo disto são as imagens LANDSAT na forma digital, gravadas em fitas magnéticas (CCT).

No tratamento automático de dados orbitais, para a classificação de temas agrícolas, utilizam-se, na maioria das vezes, métodos supervisionados, nos quais o analista fornece informações ao sistema de classificação automática por meio de áreas previamente conhecidas, ou seja, áreas de treinamento descritas na seção 7.2. Faz-se o tratamento automático dos dados orbitais em três etapas distintas, descritas a seguir:

1) Etapa Preparatória

A primeira providência é ler o arquivo de fita CCT e identificar, através de cálculo, as coordenadas que definem a área de estudo. A seguir, grava-se essa área de estudo em arquivo de disco magnético.

Com auxílio dos mapas temáticos, gerados a partir de fotografias aéreas (item 5 da Seção 7.3.4) delimita-se, na tela do IMAGE-100, as áreas de treinamento onde serão obtidas as amostras para a classificação automática. Essas áreas de treinamento podem ser ampliadas para uma escala conveniente, chamando-se o programa denominado ESCALA. Cada área de treinamento delimitada deve ser gravada em arquivo de fita ou disco magnético.

2) Etapa de Classificação das Áreas de Treinamento

Esta é a etapa da interação entre homem e máquina, onde o analista deve decidir se aceita ou não a classificação obtida. Há necessidade de um bom conhecimento da área pelo analista uma vez que o sucesso da classificação depende, em grande parte, de boas e significativas amostras do alvo a ser classificado; amostras estas oferecidas ao sistema automático pelo analista.

a) Aquisição de Amostras de Treinamento

Com base em informações de dados suborbitais (ver Seção 7.2), selecionam-se no "video" do IMAGE-100, através de um cursor, amostras de treinamento da cultura em estudo. A seleção das amostras deve ser criteriosa, pois dessa depende o êxito da classificação automática.

b) Classificação Automática da Área de Treinamento

Obtidas as amostras de treinamento, têm-se os elementos necessários para obter a classificação da cultura em estudo, em toda a área de treinamento. Para tanto, chama-se o programa denominado MAXVER, o qual, a partir das amostras de treinamento utilizando o critério da máxima verossimilhança, executa a classificação automática (Velasco et al., 1978).

c) Avaliação da Classificação Automática dentro da Área de Treinamento

A classificação automática de um tema, obtida através do sistema IMAGE-100, é usualmente avaliada mediante a determinação dos erros de *omissão* (ED) e *inclusão* (EI) cometidos, e da *percentagem de acerto de classificação* (Pa). Para tal, usam-se - para a mesma área classificada automaticamente, a partir dos dados digitalizados do LANDSAT - informações obtidas da interpretação visual de fotografias aéreas, que são utilizadas como referência para medir a exatidão da classificação automática.

Os parâmetros para a determinação dos erros de omissão e inclusão, e a percentagem de acerto de classificação podem ser assim estabelecidos, como mostra a Figura VII.1.

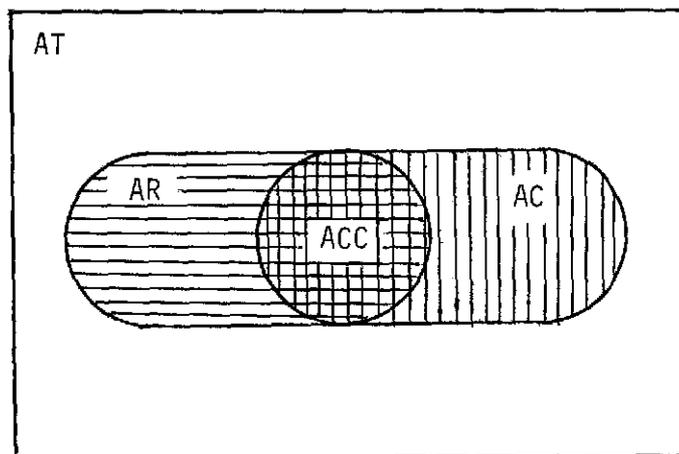


Fig. VII.1 - Esquema demonstrativo dos elementos para avaliação de dados, obtidos com a classificação automática de cultura agrícola.

Neste caso, tomando-se a cultura da cana-de-açúcar como exemplo, AT é a área total do segmento ou área de treinamento; AR, a área real da cana-de-açúcar, segundo informações obtidas por fotografias aéreas; AC, a área classificada como cana-de-açúcar pelo sistema IMAGE-100, a partir de dados digitalizados do LANDSAT; ACC, a área classificada corretamente como cana-de-açúcar pelo sistema IMAGE-100.

Desse modo, o erro de inclusão, definido como a razão entre a área classificada incorretamente pelo IMAGE-100 e a área que não possui cultura de cana-de-açúcar, conhecida através das informações obtidas por fotografias aéreas, pode, em termos percentuais, ser assim determinado:

$$EI = \frac{AC - ACC}{AT - AR} \times 100$$

e a percentagem de acerto de classificação é calculada como se segue:

$$Pa = \frac{ACC}{AR} \times 100$$

Finalmente, define-se o erro de omissão como:

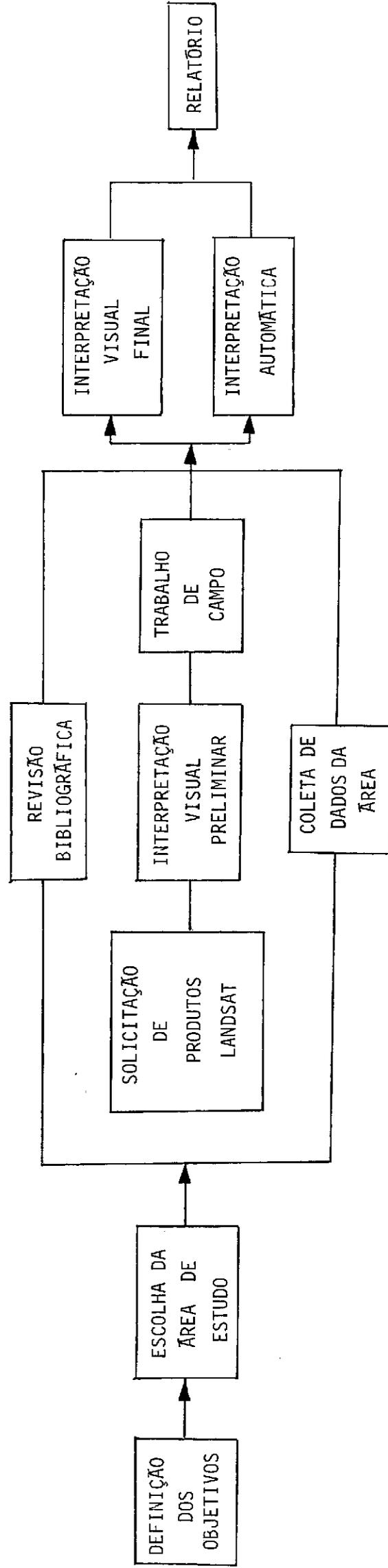
$$EO = \frac{AR - ACC}{AR} = 100 - Pa$$

3) Etapa da Classificação Automática da Área de Estudo

Faz-se a classificação de toda a área de estudo através das amostras coletadas na etapa de tratamento das áreas de treinamento (item 2 da Seção 7.4.2). Naturalmente, a extensão das amostras de treinamento para a classificação geral deve ser feita por estratos, os quais são função da homogeneidade apresentada pelos mesmos, quanto às variáveis ambientais e agronômicas, que apresentam.

4) Mapeamento da Cultura Classificada

O resultado da classificação automática pode ser obtido através de um mapa temático. Esse mapa pode ser gerado de dois modos: através da impressora do sistema IMAGE-100 (mapa alfanumérico), ou através da unidade denominada DICOMED, na forma fotográfica (General Electric Company, 1975).



BIBLIOGRAFIA

- CHEN, S.C. *Precisão de classificação do mapa de distribuição de culturas, obtido a partir de imagens LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, set., 1980. (INPE-1889-RPE/233).
- GENERAL ELETRIC (GE). *Image-100 interactive multispectral image analysis system; user manual*. Dayton, 1975.
- MENDONÇA, F.J. *Uso de dados do LANDSAT para avaliação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo*. Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1713-PDL/023).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.G.M. *Sistema MAXVER, manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul., 1978. (INPE-1315-NTI/110).

CAPÍTULO VIII

METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO DE DADOS ORBITAIS (LANDSAT) NO USO DA TERRA

8.1 - INTRODUÇÃO

Os dados coletados pelo sensor MSS do satélite LANDSAT podem ser utilizados para mapeamento de uso da terra. Para tanto, é necessário ter conhecimento sobre as características espectrais dos alvos, sobre a ocupação do espaço a ser analisado assim como o seu comportamento temporal.

Para o mapeamento de classes de uso da terra, deve-se de limitar a área de estudo assim como levantar bibliografia sobre os seus aspectos geográficos. O conhecimento prévio da área a ser interpretada facilitará a identificação dos tipos de uso da terra.

A interpretação dos dados orbitais pode ser feita tanto visual como automaticamente.

8.2 - METODOLOGIA

8.2.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS

a) Definição da área teste

No tratamento visual de imagens LANDSAT é importante associar os diferentes tipos de uso da terra com os padrões tonais e texturais nos vários canais, em diferentes épocas.

A ocupação da terra é um fenômeno complexo e dinâmico que influi diretamente nos padrões espectrais.

A escolha de áreas testes pode auxiliar na identificação dos diferentes padrões espectrais dos tipos de uso da terra que ocorrem na área de estudo. A área teste deve ser caracterizada pela presença de diversos tipos de uso da terra da área de estudo.

Estas áreas testes podem ser aerofotografadas em escalas apropriadas variando de 1:20.000 a 1:50.000. A definição da escala a ser utilizada depende da complexidade da área de estudo e da disponibilidade de recursos. As fotografias aéreas, coloridas, no infravermelho, são as que mais auxiliam nas informações de alterações dos tipos de uso da terra.

Concomitantemente, deve-se fazer um trabalho intensivo de campo a fim de corrigir a fotointerpretação preliminar. O trabalho de campo deve visar, também, os aspectos de calendário agrícola e identificação das variações temporais e espaciais da ocupação do solo.

Após a interpretação das fotografias aéreas, são elaborados mapas temáticos da área teste. Estes mapas servem como base para o levantamento da chave de interpretação.

b) Definição de classes de uso da terra

As classes de uso da terra são definidas de acordo com as características dos sensores utilizados.

Em 1971 foi formado um comitê para estudar o uso da terra e sua classificação sob direção da NASA e do programa EROS do Departamento do Interior, dos EUA. Foi estabelecida a seguinte legenda para uso de sensoriamento remoto a nível orbital:

- áreas urbanas e edificadas;
- vias de transporte e comunicação;
- agricultura;
- áreas extrativas;
- pastagens naturais

- floresta;
- água

Através da análise de fotografias aéreas da área teste, pode-se modificar e/ou ampliar as classes de uso da terra. O mapa temático da área teste permite, também, testar a precisão da classificação. Um método de comparação dos dados a nível de aeronave com os dados orbitais foi preconizado por Harde Brooner (1976).

c) Seleção das imagens e dos canais

Para a seleção das imagens, deve-se levar em consideração o grau de cobertura de nuvens e a época mais conveniente, devido à mudança espectral dos alvos. O período seco é mais adequado para estudar as variações de uso da terra. A cobertura vegetal, principalmente, apresenta-se com as maiores variações espectrais, na época em que muitas espécies sofrem "stress" devido à falta d'água.

No levantamento do uso da terra, a sequência dos dados mostrando as variações do ciclo vegetativo auxilia a identificação das culturas.

O uso de composições coloridas possibilita maior quantidade de informações dos tipos de uso da terra. Entretanto, em geral, são usados os canais 5 (0,6 a 0,7 μm) e 7 (0,8 a 1,1 μm), na escala 1:250.000 para a caracterização do uso da terra.

d) Interpretação preliminar das imagens na área teste

Através da superposição de um papel transparente "ultraphan" na imagem LANDSAT, no canal 5, identificam-se e delimitam-se as variações de tons de cinza. Estas informações são completadas com variações espectrais dos alvos no canal 7.

Em seguida, faz-se uma análise comparativa entre comportamento espectral dos alvos e os tipos de uso da terra interpretados a través de fotografias aéreas. Através de amostras aleatórias e tratamento estatístico dos dados pode-se observar se existem certas características espectrais que podem ser associadas a determinadas classes de uso da terra.

Entretanto, apenas a utilização da tonalidade como critério de classificação dos dados, não é suficiente para a interpretação das imagens. Isto pode ser explicado pelo fato de que as classes analisadas variam sua resposta espectral em função de diferenças de solo, posição no quadro topográfico, estação do ano e posição relativa das classes no espaço.

Para um mapeamento de classes de uso da terra, através de imagens LANDSAT, torna-se necessária a utilização de outros critérios de classificação como: tamanho, forma, localização e textura, complementado com intenso trabalho de campo.

Através destes parâmetros, pode-se propor uma chave de interpretação para mapeamento do uso da terra no Vale do Paraíba (S.P) utilizando-se imagens LANDSAT, na escala 1:250.000, nos canais 5 e 7:

. Áreas urbanas edificadas

Canal 5 - tonalidade - cinza-claro, mosqueado (arruamento)
textura - média
limite - irregular
característica espacial: convergência de estradas

Canal 7 - mal caracterizada

. Campos de cultivo e pastagens artificiais

Canal 5 - tonalidade: cinza-escuro, áreas com culturas.
cinza-claro, áreas preparadas para cultivo
textura: lisa

Canal 7 - tonalidade: cinza-escuro, área submetida à queimada ou
com solo exposto.
cinza-claro, áreas cultivadas
textura: lisa

Canal 5 - limite: regular
forma: geométrica
característica espacial: linhas paralelas de cultivo
dimensão: unidades em torno de 2 ha

Canal 7 - limite: regular
forma: geométrica
característica espacial: linhas paralelas de cultivo

. Áreas desocupadas e pastagens naturais melhoradas

Canal 5 - tonalidade: cinza-médio
limite: irregular
textura: média

Canal 7 - tonalidade: cinza-médio
limite: irregular
textura: média

. Reflorestamento

Canal 5 - tonalidade: cinza-escuro
textura: lisa a média
limite: regular
forma: geralmente geométrica

Canal 7 - tonalidade: cinza-claro e médio
textura: rugosa
limite: não definido

. Mata

Canal 5 - tonalidade: cinza-escuro
textura: rugosa
limite: irregular

Canal 7 - tonalidade: cinza-claro com o alvo na direção de iluminação, cinza-médio com o alvo sob efeito de sombra
textura: rugosa
limite: irregular

. Estradas

Canal 5 - tonalidade: cinza-claro
forma: linear

Canal 7 - mal definido

. Represas

Canal 5 - tonalidade: cinza-escuro
textura: lisa
limite: mal definido
forma: irregular

Canal 7 - tonalidade: cinza-escuro
textura: lisa
limite: nítido
forma: irregular

. Rios

Canal 5 - tonalidade: cinza-médio
forma: curvilínea

Canal 7 - tonalidade: escura
forma: curvilínea

8.2.2 - INTERPRETAÇÃO AUTOMÁTICA DOS DADOS

Os dados LANDSAT podem ser gravados em fitas compatíveis com o computador (CCT), o que permite uma análise automática dos mesmos, através da utilização do Analizador Interativo de Imagens Multiespectrais (I-100).

É de fundamental importância, na interpretação automática, a interação homem-máquina. É o pesquisador que, através da seleção de áreas de treinamento, fornece informações ao sistema de classificação automática.

A realização da classificação automática dos dados orbitais pode ser feita de acordo com as seguintes fases:

- a) leituras do arquivo de fitas compatíveis com computador e identificação das coordenadas correspondentes à área de estudo;
- b) delimitação da área teste na tela do sistema I-100;

- c) ampliação da área de estudo na tela do I-100, utilizando-se o programa ESCALA; e
- d) seleção das áreas de treinamento que é feita com o auxílio do mapa de uso da terra, obtido através da interpretação de fotografias áreas convencionais e reconhecimento de campo. As amostras de cada classe são selecionadas de modo a serem representativas das classes de uso da terra da área de estudo. Deve-se selecionar o maior número possível de amostras para obter uma classificação satisfatória.

. Classificação automática do uso da terra

Após a seleção das áreas de treinamento, passa-se à escolha de classificação a ser utilizada. Pode-se utilizar, no caso de uso da terra, a classificação "máxima verossimilhança" implementado no sistema I-100 por Velasco et al. (1978).

. Cálculo da precisão de classificação

A avaliação da precisão da classificação pode ser feita a partir da utilização dos seguintes métodos:

- 1) interseção do resultado da classificação da área de estudo com a área teste de cada classe analisada, utilizando-se o programa "Cálculo de área". Deste modo, pode-se avaliar o número de "pixels" corretamente classificados em cada classe. Através da interseção do resultado da classificação de determinada classe com as áreas testes das demais classes, obtém-se o número de "pixels" incorretamente classificados. Este método encontra-se descrito em Niero e Lombardo (1979).
- 2) Análise comparativa entre o total de áreas em cada classe de uso da terra, através da classificação automática, com o total de cada classe, obtido através de fotografias aéreas. Desde mo

do, tendo-se como base a classificação correta, feita através de interpretação de fotografias aéreas, pode-se inferir o erro da classificação automática.

BIBLIOGRAFIA

- GENERAL ELECTRIC (GE). *Image-100 interactive multispectral image analysis system; user manual*. Daytona, 1975.
- HARD, M.R.; BROONER, W. Land use maps accuracy criteria. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(5):671-677, May, 1976.
- NIERO, M.; LOMBARDO, M.A. *Uso de técnicas de interpretação automática na determinação de classes funcionais de uso da terra no Vale do Paraíba*. São José dos Campos, INPE, mar. 1979. (INPE-1426-RPI/001).
- NOVO, E.M.L.M. Projeto UTVAP. *Análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens do LANDSAT para fins de levantamento do uso da terra*. São José dos Campos, INPE, ago. 1978. (INPE-1337-NTI/113).
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema Maxver; manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul. 1978. (INPE-1315-NTI/110).
- WESTIN, F.C.; LEMMER, G.D. LANDSAT spectral signatures: studies with soil associations and vegetation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44(3):315-325, mar. 1978.

CAPÍTULO IX

METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS EM OCEANOGRAFIA

9.1 - INTRODUÇÃO

A qualidade da água em regiões costeiras vem sendo cada vez mais objeto de pesquisa, devido ao fato que a maior parte das cidades importantes do mundo e os problemas sérios e frequentes de deterioração das condições naturais pelo efeito antrópico se concentram nestas regiões.

Pode-se abordar o seu estudo de diversas maneiras e através de vários métodos dependendo do meio de que se dispõe. Caso se disponha apenas de embarcações, há possibilidade de fazer apenas observações pontuais de parâmetros de qualidade visível tais como: transparência d'água, presença de flutuantes, odor e cor. Se, além de embarcações, se dispuser de laboratórios para análise, pode-se ter avaliações de parâmetros de qualidade mais estreitamente relacionadas com as propriedades físico-químico-biológica das águas (demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio solúvel, teor de clorofila "a"; poder-se-ia ainda fazer análise sedimentológica e levantamento das curvas de reflectância espectral). De qualquer forma, pode-se ter uma visão pontual do fenômeno restrito à área de coleta de amostra. Mas, caso se disponha de imagens através de sensores remotos sem que apareçam diferentes tipos de água, ter-se-á também uma visão sinótica da área.

De um modo geral, os sensores remotos fornecerão:

- a) dados instantâneos e sinóticos de uma situação que, dependendo da frequência de repetição de sobrevôo, daria informações sobre a dinâmica do corpo d'água;

- b) a resolução geométrica dos sensores remotos sempre é bem maior do que qualquer coleta de amostras, fornecendo um volume de in formação muito mais denso, por unidade de área;
- c) a rapidez da obtenção dos dados de certos sensores remotos é fundamental também na sua aplicação.

Finalmente, pode-se observar que, caso se disponha ape nas de dados de sensores remotos e de nenhum apoio de verdade terres tre, ainda assim poder-se-ã ter estimativa qualitativa do tipo d'ãgua, bem como certas estimativas de dinâmica.

9.1.1 - CONCEITO DE QUALIDADE DA ÁGUA

De início, para caracterizar a qualidade da água, é ne cessário conhecer os usos para os quais ela estará destinada; assim, procede-se à escolha dos métodos de análise e padrões de qualidade pa ra, finalmente, poder classificar, com um determinado método, essa água em um certo nível de qualidade. Os parâmetros importantes para cada u so são os que se tentaram medir através dos métodos utilizados.

Existem, também, certos testes que caracterizam as pro priedades da água de maneira não específica, tais como: resíduo fil trado, salinidade, densidade, condutividade elétrica, dureza, alcalini^u dade ou acidez, demanda em cloro, gosto, odor, cor, material em suspen são e turbidez.

As águas podem ser classificadas, de acordo com seu uso, em:

- água potável;
- uso industrial;
- aquicultura;

- abastecimento de pecuária ou animais selvagens;
- irrigação de culturas;
- navegação;
- recreação ativa ou passiva;
- geração de eletricidade;
- deposição de esgotos domésticos e/ou industriais.

Certamente, alguns destes usos são incompatíveis, mas vários deles podem coexistir sem haver perturbação ambiental expressiva, dentro de certos limites.

Por exemplo, as águas da Baía de Guanabara têm diferentes utilidades que são as seguintes (Coelho e Fonseca, 1976):

- 1) recreação de contato direto com a água;
- 2) recreação de contato indireto com a água: navegação e pesca;
- 3) navegação comercial;
- 4) pesca;
- 5) água para indústrias;
- 6) estético.

Cada uma destas utilidades tem como parâmetros certas características cujos níveis devem ser obedecidos; caso contrário, o seu uso ficará comprometido. Coelho e Fonseca (1976) estabeleceram 5 tipos de situações de qualidade da água possíveis, levando em consideração o zoneamento da baía feito previamente (Figura IX.1):

- a) procura assegurar todos os usos para toda a baía;
- b) garante o uso de recreação por contato direto nas zonas de praias (zona 1) e o uso estético (zona 3); contudo, não garante o uso para pesca comercial (zona 2);
- c) assegura o uso pesqueiro na zona 2 e o uso estético nas zonas 1 e 3; porém, não garante o seu uso para recreação por contato direto com a água;
- d) assegura o uso estético e de navegação nas zonas 1 e 3, mas não garante os demais usos;
- e) garante o uso de navegação e protege a baía de um estado indesejável de poluição.

Cada uma destas situações possíveis deverá ser atingida quando os mínimos de cada parâmetro para cada zona forem definidos, se guindo-se o estabelecimento de mecanismos de controle e fiscalização para o cumprimento dos padrões mínimos.

Baseando-se nestas condições, pode-se perceber que não é possível argumentar sobre a qualidade da água sem definir previamente o seu uso e a situação que se espera no decorrer do tempo, num determinado corpo de água e na sua bacia abastecedora.

O uso a que será destinada a água, por sua vez, obrigará o estabelecimento de um certo nível de qualidade, definido através de um ou vários parâmetros. Os limites máximos e/ou mínimos que devem ser respeitados condicionarão o tipo de fiscalização necessária, os equipamentos a serem utilizados, a densidade de coleta, etc.; além disso, sensores remotos também poderão (ou não) ser utilizados.

9.1.2 - SISTEMAS SENSORES USADOS EM ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A observação dos corpos de água na região espectral em que comprimentos de onda da energia eletromagnética pertencem ao visível e ao infravermelho próximo (0,4 a 1,1 μm) tem muitas vantagens, embora existam sistemas mais eficientes para detetar os sólidos e solúveis que comumente poluem as águas.

Dentre essas vantagens, as mais importantes são as que se seguem:

- a) a tecnologia de detecção no visível é a mais desenvolvida, com inúmeros sistemas comerciais plenamente testados e extremamente eficientes em funcionamento. Podem-se citar a fotografia convencional, os sistemas eletrônicos de produção de imagem (como os imageadores) as câmeras de televisão e o próprio olho humano, que é um sistema muito desenvolvido em resolução espacial e espectral;
- b) a tecnologia de detecção no visível é a técnica de menor custo e que sofre menores interferências atmosféricas. Por outro lado, a informação que emerge da água, em comprimentos maiores do que o vermelho longínquo, é escassa devido à alta absorção pela água (Hulburt, 1945; Clarke e James, 1939 e Jerlov, 1968);
- c) é muito fácil observar a faixa do visível, por coincidir com a sensibilidade da visão, podendo-se combinar observações diretas com aquelas feitas pelos sensores.

Atualmente, a linha de pesquisa em matéria de novos sistemas sensores para a detecção das propriedades químicas da água visa à melhora do incremento da detectabilidade e à capacidade de perceber as discontinuidades nos tipos de água estudados.

Para maiores referências sobre outros sistemas sensores de detecção da qualidade de água, como o sistema de TV ou fotografias no ultravioleta, microondas, discriminador de linhas de Fraunhofer, uso de Laser de alta potência, etc., consultar Reeves (1975) e Betz (1968).

9.2 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR COM OS MEIOS LÍQUIDO E ATMOSFÉRICO

9.2.1 - PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA LUZ SOLAR

Num dia sem nuvens, a irradiância do sol (H_s) atinge a superfície da água após passar pela atmosfera que tem uma transmitância τ . A radiância resultante, num ângulo zenital θ , é (Scherz e Domelen, 1975):

$$L_s^* = \frac{H_s \tau}{\cos \theta} \quad (\text{IX.1})$$

O símbolo (*) indica a energia emergindo da interface ou incidindo sobre ela, e (**) indica a energia que chega ao espaço e atinge o satélite (Figura IX.2).

A radiância G^* refletida pela interface ar-água abandona a superfície com um ângulo igual ao incidente e, pela geometria do imageamento, da qual nunca se obtêm imagens LANDSAT com o sol na posição zenital, não é registrada pelos detectores. No caso de fotografias com câmeras, como o ângulo de visada é muito maior que o do MSS dos LANDSAT: $11^\circ 56'$ (NASA, 1975), pode-se ter ingresso da radiância G^* , que obscurece toda a informação proveniente do interior do corpo da água.

Além da radiação direta do Sol, a água recebe a radiação espalhada pelos componentes do ar, denominada luz do céu (ou "skylight"). Entretanto, o que interessa é a radiância do céu incidente desde o zênite (L_c^*), esta será refletida pela interface e atingirá o satélite (S_c^{**}).

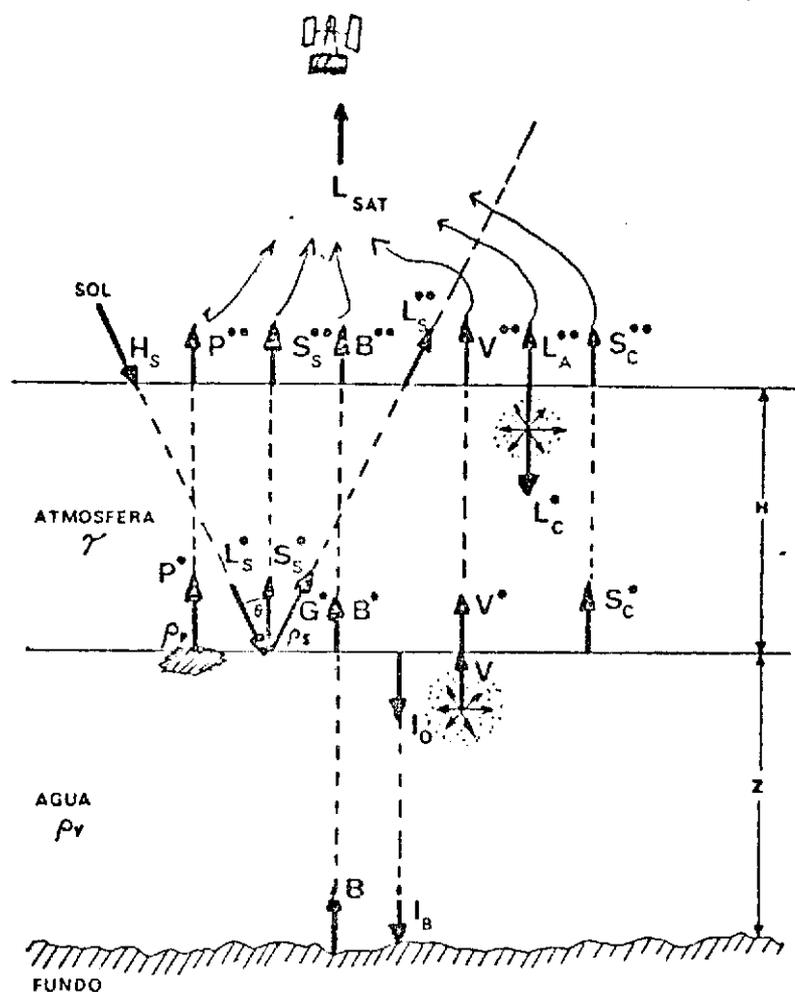


Fig. IX.2 - Interação da radiação solar com a atmosfera e com a água.
 Fonte: SCHERZ e DOMELLEN, 1975.

Segundo Scherz e Domelen (1975), a irradiância do céu é:

- L_{sat} - radiância recebida pelo sensor;
- H_s - irradiância solar;
- L_A - radiância de retroespalhamento do ar;
- L_s^* - radiância do sol incidente na água;
- L_c^* - radiância do céu incidente na água;

- θ - ângulo zenital do sol;
- H_S^* - irradiância da água devido à radiância do sol;
- H_C^* - irradiância da água devido à luz do céu;
- p^* - radiância de objetos flutuantes;
- V^* - radiância emergente retroespalhada pela água devido ao espalhamento da luz dentro da água pelas partículas suspensas;
- S_S^* - radiância da espuma e borrfio do mar;
- S_C^* - radiância refletida pela superfície do mar;
- ρ - reflectância especular para a interface água-ar. Em água calma e medida na vertical, é igual a 0,02;
- B^* - radiância emergente do fundo;
- G^* - reflexo especular do Sol;
- I_O - energia radiante que consegue penetrar na água;
- I_B - energia radiante que atinge o fundo;
- ρ_V - reflectância por volume da água;
- ρ_S - reflectância da espuma e borrfio do mar;
- ρ_P - reflectância dos materiais flutuantes;
- * - indica emergência da água;
- ** - indica emergência da atmosfera.

Segundo Scherz e Domelen (1975) a irradiância do céu é:

$$H_C^* = L_C^* \pi \quad (IX.2)$$

sendo a irradiância total incidente igual a:

$$H_O^* = H_S^* + H_C^* \quad (IX.3)$$

A energia luminosa que passa a interface e penetra na água é:

$$I_0 = H_0(0,98 - \rho_s) \quad (IX.4)$$

A irradiância espectral do sol H_s encontra-se listada na Tabela IX.1, que contém os dados de Johnson (1954). Nela pode-se ver que a energia incidente do sol é aproximadamente igual à de um corpo negro a 6000^0 K. Note-se que o ar tem uma transmissividade espectral que varia com o comprimento de onda, e que a composição do ar não é constante, ela muda muito ao longo do tempo. Observa-se também que as reflectâncias do borrimo do mar, a da interface e a do volume de água são espectralmente variáveis. No fim haverá uma somatória de efeitos consideráveis para cada comprimento de onda.

9.2.2 - PROPRIEDADES ESPECTRAIS DA ÁGUA E DE SEUS POLUENTES

Vários autores têm feito medições da reflectância espectral total da água:

$$\rho_A = \rho_s \rho_v \quad (IX.5)$$

ρ_A pode ser definida também como:

$$\rho_A = \frac{S_s^* + V^* + S_c^*}{L_s^* + L_c^*} \quad (IX.6)$$

Wezernak et al. (1976b) compilaram todas estas medições feitas de barco e aeronave, aplicaram um modelo de transferência da radiação na atmosfera, e calcularam a radiância total que recebe o satélite a 900 km de altura. Esta radiância total é produto da soma da radiância inerente da água com a do retroespalhamento da atmosfera (Figura IX.2).

$$L_{sat} = (V^{**} + S_s^{**} + S_c^{**}) + L_A^{**} \quad (IX.7)$$

TABELA IX.1

IRRADIÂNCIA ESPECTRAL DO SOL EM WATTS/M²/μM

(μm)	H _S	(μm)	H _S		(μm)	H _S	
0,400	1,54	0,500	1,98	—	0,600	1,81	↑
0,405	1,88	0,505	1,97	↑	0,610	1,77	↑
0,410	1,94	0,510	1,96	↑	0,620	1,74	↑
0,415	1,92	0,515	1,89	↑	0,630	1,70	M
0,420	1,92	0,520	1,87	M	0,640	1,66	S
0,425	1,89	0,525	1,92	S	0,650	1,62	S
0,430	1,78	0,530	1,95	S	0,660	1,59	
0,435	1,82	0,535	1,97		0,670	1,55	5
0,440	2,03	0,540	1,98	4	0,680	1,51	↓
0,445	2,15	0,545	1,98	↓	0,690	1,48	↓
0,450	2,20	0,550	1,95	↓	0,700	1,44	—
0,455	2,19	0,555	1,92	↓	0,710	1,41	M
0,460	2,16	0,560	1,90	↓	0,720	1,37	S
0,465	2,15	0,565	1,89	↓	0,730	1,34	S
0,470	2,17	0,570	1,87	↓	0,740	1,30	
0,475	2,20	0,575	1,87	↓	0,750	1,27	6
0,480	2,16	0,580	1,87	↓	0,800	1,13	—
0,485	2,03	0,585	1,85	↓	0,850	1,00	M
0,490	1,99	0,590	1,84	↓	0,900	0,90	S
0,495	2,04	0,595	1,83	—	0,950	0,80	S
					1,000	0,73	
					1,100	0,61	7

Fonte: JOHNSON (1954)

Calculou-se a radiância total para diferentes condições atmosféricas, expressas em visibilidade horizontal de 15, 23, 40 e 60 km e a diferentes ângulos zenitais do Sol.

Como ilustração, construíram-se alguns gráficos (Figuras IX.3 e IX.4), para as condições aproximadas que se encontram na Baía de Guanabara (elevação solar de 35° e visibilidade de 15 km). Em regiões tropicais a visibilidade é normalmente baixa. No cálculo, leva-se em consideração que os arredores do alvo têm reflectância nula, a superfície refletora é de resposta lambertiana, e o ângulo de imageamento é zero. Os gráficos mostram que é possível, nos comprimentos de onda do MSS, distinguir estes poluentes. Em comprimentos de onda menores que $0,5 \mu\text{m}$, a contribuição dos efeitos atmosféricos é tão forte que pode impedir a discriminação dos poluentes.

O cálculo despreza a contribuição do fundo (B^{**}) que, neste caso, também não é importante, pois, no trabalho em questão usam-se dados de locais com o fundo a três metros da superfície. Também se despreza a influência dos sólidos flutuantes (P^{**}), uma vez que as medidas foram feitas sem este problema. Na Baía de Guanabara, existem regiões em que esta contribuição pode ser importante, dificultando o monitoramento das propriedades inerentes da água. As abundantes manchas de óleo encontradas na baía também podem ser consideradas da mesma maneira que os sólidos flutuantes.

A contribuição mais importante da radiância recebida pelo satélite, se deve à própria reflectância total da água: ρ_A (Figura IX.2). Nesta reflectância total, na Baía de Guanabara, ρ_S é bem menor em relação a ρ_V , devido ao fato de existir pouca espuma gerada pela agitação superficial. Em mar aberto e em certas condições de agitação intensa, a contribuição de ρ_S pode ser importante e deve ser levada em conta (Scherz e Domelen, 1975).

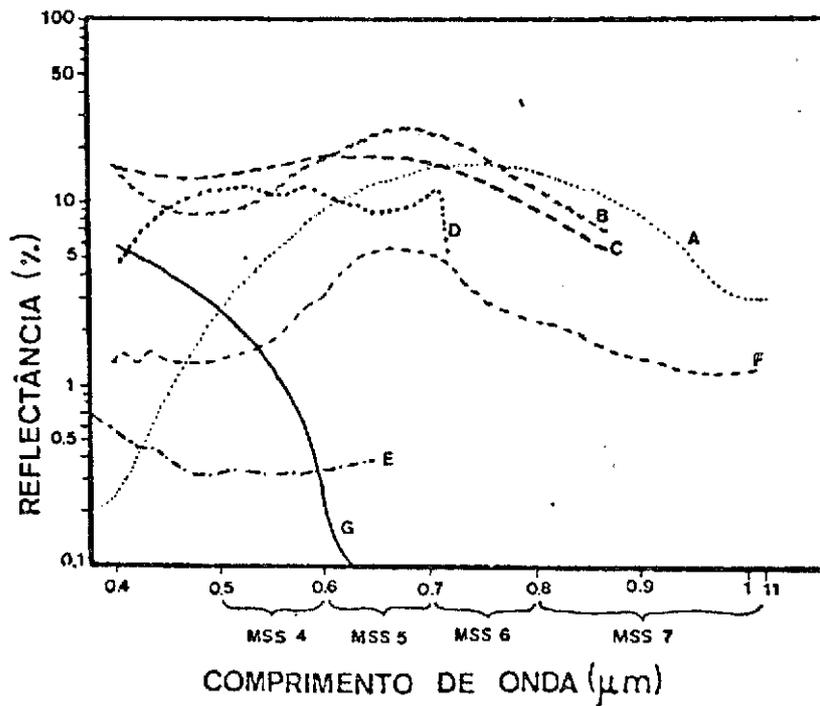


Fig. IX.3 - Reflectância espectral medida de diversos tipos de efluentes industriais e esgoto domiciliar.

Fonte: WEZERNAK et al. (1976b)

- A - efluente de fábrica de papel por sulfeto (8% de sólidos);
- B - efluente de siderúrgica;
- C - efluente de fábrica de produtos cloro-alcalinos;
- D - esgoto domiciliar;
- E - camada de óleo de menos de 10 μm de espessura;
- F - efluente de indústria de tanino;
- G - água clara do oceano

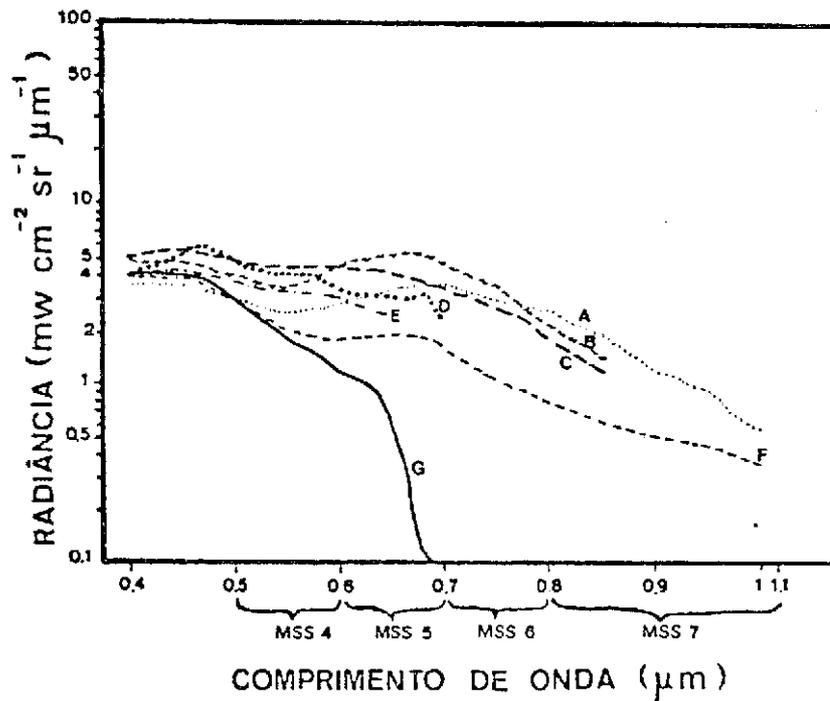


Fig. IX.4 - Radiância espectral calculada com os dados da Figura IX.3, e recebida pelo satélite a 900 km de altura. A visibilidade foi de 15 km e a elevação solar de 35°.

Fonte: WEZERNAK et al. (1976b)

A contribuição da radiância de retroespalhamento devido à interação da luz com os componentes do ar: L_A , no caso da Baía de Guanabara, pode ser importante, pois se trata de área tropical e industrializada. A alta umidade, a presença de grande quantidade de aerossóis naturais e artificiais, e o pó e fumaça decorrente de atividades rurais fazem que a L_A varie muito ao longo do ano e de um dia. No inverno há menor índice de umidade atmosférica, além da presença de névoa durante algumas horas da manhã, com grandes possibilidades de acumulação dos poluentes industriais. No verão, a poluição do ar pode ser menor, mas a umidade do ar é sempre mais alta.

Nas Figuras IX.3 e IX.4 estão expressos os valores medidos para reflectância e calculados para a radiância recebida pelo satélite em águas oceânicas claras, águas com sólidos em suspensão e águas

poluídas. Pode-se observar que as radiâncias das águas poluídas têm sempre respostas mais altas que as do oceano, nas quatro faixas em que atua o MSS, inclusive, na faixa MSS 7, em que a água pura absorve praticamente toda a radiação; estas águas apresentam valores mais altos que os do oceano.

Neste ponto, é necessário chamar a atenção para o fato de que os dados de radiância foram calculados com medidas de reflectância total ρ_A , no ponto desejado, onde o teor em poluentes é grande (Wezernak, 1976a). Também existem poluentes como a matéria orgânica de esgoto domiciliar que, uma vez chegados ao corpo de água receptor com salinidade maior, tendem a separar as partes mais leves e flocular certas frações e, em alguns casos, precipitar boa parte dela. Alguns poluentes industriais solúveis ou pesados embora muito nocivos, são de difícil percepção por não transmitirem cor à água ou por precipitá-la instantaneamente.

O resultado de todas estas interações é que as curvas de reflectância espectral de diferentes tipos de água mostram diferentes formas o que se observou na Figura IX.3, em diferentes tipos de águas poluídas. O tanino dá uma curva achatada devido à grande absorção em todos os comprimentos de onda, o esgoto de fábrica de papel tende aos vermelhos e infravermelhos devido à presença de sulfatos de lignina a vermelhados escuros, o óleo apresenta os valores mais baixos de reflectância e a curva é bem achatada.

9.2.3 - EFEITOS E INTERAÇÕES

Até ser convertida em sinal eletrônico, a radiância emergente na água, sofre inúmeros efeitos derivados de outros fatores que não o próprio sinal; estes efeitos estão descritos abaixo:

- a) na seção 9.2.2 já se explicou que o sinal proveniente da água e recebido pelo sensor do satélite é composto fundamentalmente da somatória da radiância refletida proveniente do céu naquela direção (S_C), da radiância proveniente do retroespalhamento da

radiação solar com a atmosfera (L_A), da radiancia proveniente do material flutuante na água e da radiancia emergente do interior do corpo de água, produto do retroespalhamento da radiação solar que penetrou na água (V). Esta última radiancia diz respeito à qualidade da água; portanto, deve-se tentar eliminar os outros efeitos, (todos os mencionados são aditivos, segundo Kriegler et al., 1969);

- b) um outro efeito importante pode se denominar ruído eletrônico, que se compõe de diversos sinais: ruído dos próprios sensores e do circuito da espaçonave (efeito predominantemente aditivo), mudança nos ganhos dos amplificadores ou dos próprios detectores (efeito multiplicativo). Durante a calibração dos dados de vídeo, pode-se adicionar efeitos aditivos ou multiplicativos, pois os dados de calibração não são corretos. Stevenson (1975) expressa sua desconfiança de que os dados de calibração não sejam válidos; em seu trabalho eles não se mostram eficientes para eliminar o "strapping" (fatiado). Ele usa um método estatístico no lugar dos dados de calibração fornecidos pela NASA;
- c) a iluminação da cena a ser imageada será variável ao longo do ano, devido às mudanças da elevação solar em cada passagem e à presença de sombras de montanhas ou de nuvens (efeitos multiplicativos);
- d) o valor da transmissividade da radiação (Jurica, 1973) é importante uma vez que varia muito devido à presença ou ausência de alta quantidade de aerossóis, à névoa, à variação da elevação solar, à variação da quantidade de umidade, etc. Estes efeitos podem variar de hora em hora e de local a local (efeito multiplicativo).

9.3 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO VISUAL

Nesta seção, dar-se-á o conceito do processo de extração de informações através da análise de sua resposta nos quatro canais do MSS do satélite LANDSAT. Esse processo consiste basicamente em inspecionar e identificar diferentes padrões tonais e texturais, em cada canal, e compará-las com diferentes canais, em diferentes épocas.

Para a interpretação visual das imagens LANDSAT, devem-se considerar alguns aspectos, tais como:

- 1) *Aspecto espectral* - Permite a coleta de informações em 4 faixas distintas do espectro eletromagnético. Por exemplo, na Figura IX.3 as curvas de reflectância espectral de diferentes tipos de águas mostram diferentes formas. O esgoto domiciliar (D) apresenta alta reflectância nos canais 4 e 5 do MSS. A água clara do oceano, por sua vez apresenta baixa reflectância no canal 4, e nenhuma no canal 7.
- 2) *Aspecto temporal* - Devido ao caráter dinâmico das águas oceânicas e à repetitividade de imageamento feito pelo LANDSAT, as variações temporais apresentadas pelos padrões de tonalidade e textura do alvo, permitem a análise das modificações no tempo. Desta forma, o aspecto temporal das imagens torna-se um fator de grande importância para a interpretação visual.
- 3) *Aspecto espacial* - O aspecto espacial relaciona-se com a forma e distribuição dos alvos que compõem a cena imageada. Cada alvo geralmente apresenta forma e distribuição características, que facilitam sua identificação na imagem. A resolução espacial do MSS do LANDSAT é 80 m e neste intervalo, é adequado para o monitoramento de zonas costeiras, mas não para a detecção de mudanças de pequena escala.
- 4) *Seleção de canais* - A escolha do canal ou canais a serem utilizados na análise visual de imagens LANDSAT é um passo muito im

portante no acompanhamento de fenômenos oceanográficos. O conhecimento prévio das características do alvo em cada canal auxilia na escolha dos canais adequados ao objetivo do interesse. Para estudos da qualidade dos corpos de água, os canais 4 e 5 são os mais recomendados. O canal 4 permite uma maior penetração de luz na água, e favorece os estudos de sedimentação, batimetria, etc. O canal 6 é também sensível às variações de teor de sedimentos em suspensão nos corpos de água, principalmente quando existem substâncias de cor vermelha decorrentes das descargas de rios. Apesar de não fornecer informações sobre a condição interna dos corpos de água, o canal 7 geralmente é útil na definição dos limites entre terra e água, devido à alta absorvância da água nessa faixa do espectro.

- 5) *Seleção de escala* - A escolha da escala na imagem dependerá do detalhe exigido. Por exemplo, estudos que envolvem alvos menores devem ser feitos em escalas maiores. Outro fator que também deve ser considerado na seleção de escala é a extensão da área de estudo.

9.3.1 - METODOLOGIA PARA INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS EM CORPOS D'ÁGUA

Qualquer que seja o tema a ser mapeado através da análise visual de imagens LANDSAT, um passo fundamental no processo é a obtenção de uma base para a montagem dos "overlays" (transparências).

IMAGENS	MSS-4	MSS-5	MSS-6	MSS-7
	↓	↓	↓	↓
OVERLAY	0-4	0-5	0-6	0-7
	↓	↓	↓	↓
BANDA ESPECTRAL (μm)	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-1,1
	↓	↓	↓	↓
COR	Verde	Laranja	Vermelho	Infravermelho próximo

O primeiro passo na interpretação visual de imagens consiste na identificação do maior número possível de unidades homogêneas, em termos de tonalidade. A seguir, deve-se fazer uma análise conjunta dos canais de onde se extraíram as informações.

Ainda como parte do processo de interpretação visual de imagens, deve-se destacar a importância do estabelecimento de relações entre o comportamento de corpos d'água nas imagens e seu aspecto na superfície ou subsuperfície, visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos, do significado das funções e relações dos fenômenos observados na imagem. Essas relações são complementadas por informações bibliográficas e combinação de observações de satélites com processos de observação "in situ", por regimes de correntes, marés, ventos e até mesmo por modelos matemáticos para que se possa entender as inter-relações físicas.

9.3.2 - PROCESSOS DE OBSERVAÇÃO "IN SITU"

Os processos de observação "in situ" consistem na coleta de amostras de água em diferentes níveis durante períodos prolongados, abrangendo todas as possíveis variações nas condições ambientais, tanto horizontal como verticalmente. Um processo normal de coleta num ponto do corpo d'água requer da ordem de 15 minutos a meia hora, dependendo do grau de amostragem e dos parâmetros que se pretende estimar. Este ponto é importante, visto que uma equipe de coleta só poderá amostrar cerca de 4 pontos, 1 hora antes e 1 hora depois da passagem do satélite.

9.3.2.1- PARÂMETROS A SEREM MEDIDOS

Na coleta de amostras, alguns parâmetros podem ser medidos para serem correlacionados com as imagens do satélite, tais como: profundidade de dois discos de Secchi (branco e cinza) (Bentancurt, no prelo), teor de sedimentos em suspensão, teor de clorofila "a", teor dos

nutrientes essenciais para os organismos, observações sobre quantidade de sólidos ou líquidos flutuantes, rugosidade de superfície e profundidade da água.

Tendo-se em conta todos os fatores apontados para a escolha do método analítico, devem-se considerar as seguintes características:

- a) a sensibilidade e precisão requeridas;
- b) o número de amostras necessárias;
- c) a necessidade da determinação "in situ";
- d) a rapidez de análise e o pessoal disponível;
- e) a disponibilidade de instrumentos requeridos.

Além dos parâmetros de qualidade da água já mencionados, podem-se coletar outras informações complementares para estudar a dinâmica dos corpos d'água tais como: altura e correntes da maré, e ventos pelo menos dois dias antes da passagem do satélite. Mesmo assim, serão importantes os dados de chuvas, a vazão dos rios e os esgotos na área da bacia do corpo de água em estudo. A resolução temporal necessária para uma análise exaustiva deve ser horária.

9.3.2.2 - ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DA ÁGUA COM SENSORES

Caso se pretenda obter através de abordagem empírica (ou estatística) estimativas semiquantitativas dos parâmetros de qualidade de água, com os dados de vídeo de sensores remotos, os dados mencionados anteriormente são suficientes para a consecução das correlações bem altas entre os parâmetros de qualidade de água e os dados da imagem dos sensores do LANDSAT.

Os coeficientes de correlação podem ser calculados por meio da análise de regressão linear ou não linear ou até por meio da

análise de regressão multivariada. Depois de realizados vários levantamentos das diferentes condições ambientais encontráveis no corpo d'água, pode-se ter um modelo empírico para prever a qualidade d'água com sensores remotos, sem ter de coletar muitas amostras.

Por outro lado, se o que se pretende com a análise das imagens de satélite é obter estimativas da radiância emergente do alvo e com ela inferir a qualidade da água, serão necessários, além dos dados mencionados, medidas de radiância de retroespalhamento do alvo, da radiância do céu, da irradiância do sol e da transmissividade espectral da atmosfera.

9.4 - RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM ÁREAS COSTEIRAS ATRAVÉS DE DADOS DO LANDSAT

Geralmente o termo reconhecimento de padrões, como usado na literatura técnica, refere-se ao desenvolvimento de técnicas e equipamentos para o reconhecimento automático de padrões em imagens. Nesta seção, dar-se-á mais ênfase às aplicações dos programas desenvolvidos e implementados no sistema I-100, sem entrar em detalhes matemáticos e em algoritmos de classificação.

A diferença entre interpretação visual e reconhecimento de padrões é que a primeira requer muita atenção humana e a segunda exige a classificação automática feita pelo computador. A similaridade entre eles é o fato de ambos exigirem a seleção de determinadas características (elementos) inerentes ao alvo para realizar sua classificação.

A primeira investigação sobre o reconhecimento de padrões envolve o problema da extração de características, isto é, operações sobre padrões que determinam suas características importantes. A segunda envolve o esquema da tomada de decisão, que classifica os padrões com base na comparação de suas características com as de um conjunto de referência de padrões.

O desenvolvimento do método de reconhecimento de padrões de imagens orbitais, através do sistema IMAGE-100, tem como objetivo principal a elaboração de programas adequados à classificação, a partir dos dados orbitais de padrões contidos nos registros das fitas CCT, para classificar as águas fluviais, lagunares e costeiras.

9.4.1 - FASE 1 - PROCEDIMENTO PRELIMINAR

- a) Os dados digitalizados, gravados em fita magnética (CCT), são transferidos para o sistema IMAGE-100, obtendo-se visualmente um primeiro controle de qualidade da imagem numa área de vídeo de 512 linhas x 512 pontos, do televisor a cores incorporado ao analisador (Figura IX.5).

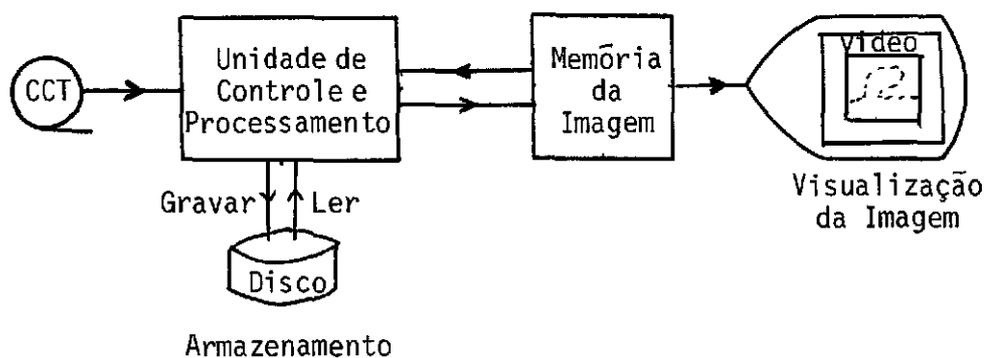


Fig. IX.5 - Representação esquemática do IMAGE-100.

- b) Na projeção da imagem de vídeo, posiciona-se um cursor sobre a área de interesse na cena e identificam-se as coordenadas dos pontos das extremidades do quadro abrangido pela imagem, tomando-se como referência o número de linhas e de pontos. Este passo permite que o analista amplie o espaço selecionado e circunscrito pelo cursor alcançando maior detalhamento das feições através da variação da escala.

- c) Algumas imagens apresentam "stripping" ou fatiado devido à varredura simultânea do satélite por 6 detetores ou a eventuais ruídos associados ao sinal gravado nas estações terrestres de rastreamento. A sua correção pode ser feita através de programas de correção radiométrica. Resumindo, este programa trabalha da seguinte maneira: primeiro, adquire histogramas de nível de cinza da imagem em cada canal do MSS; para cada uma delas, faz-se a equalização dos histogramas dos sensores, de forma não linear, gerando uma tabela de correção que se aplicará a toda imagem.
- d) Com base no princípio de que as superfícies d'água absorvem quase que totalmente os comprimentos de onda de energia eletromagnética no canal 7 do MSS (correspondente ao infravermelho próximo), explica-se que, na imagem, as áreas dos corpos d'água aparecem com altas densidades, devido ao baixo nível de sinal registrado pelo sensor. Os alvos terrestres que possuem características espectrais com alta reflexão nessa faixa, sensibilizam os elementos sensores desse canal no satélite, com sinal bastante intenso, distinguindo os contornos entre os dois meios por contrastes muito diferenciados e grande discriminação. Aplica-se o programa "SINGLE CELL" (célula única) para definir os limites entre a terra e a água.
- e) Geralmente, a assinatura definida pela célula única não é suficiente para definir o limite terra/água, devido a classes como sombras e áreas úmidas possuem assinaturas espectrais semelhantes às da água. Para isso deverá ser utilizada uma interpretação visual como auxiliar no vídeo do I-100, eliminando-se estas áreas, através de cursor, como operação de subtração do sintetizador de temas "theme synthesizer function".
- f) Aplicação do programa LIMPAR para eliminar os pontos da imagem que não pertencem à área de estudo, ou seja, à área terrestre.
- g) A operação final dessa sequência de processamento preliminar comprime o sinal da fita CCT, originariamente com intervalo di

nâmico da escala de 255 níveis de cinza, para 64 níveis. Essa operação é necessária devido ao fato de o *sistema de dois canais* admitir que a imagem possui apenas 64 níveis para cada canal.

sistema de dois canais é um sistema de classificação que utiliza uma matriz de 64 x 64 elementos; estes elementos representam o espaço de atributos (representação da célula de resolução), onde estão distribuídas as classes do MSS-4 e MSS-5.

A Figura IX.6 mostra o fluxograma do procedimento preliminar do CCT no I-100 contido nas cenas do MSS nos quatro canais para o estudo da qualidade da água, descrito nos itens anteriores.

9.4.2 - FASE 2 - SELEÇÃO DAS ÁREAS DE TREINAMENTO

Os algoritmos de reconhecimento de padrões requerem que os exemplos de dados típicos de cada classe de interesse sejam fornecidos aos programas de computador. Estes dados, denominados amostras de treinamento ou áreas de treinamentos, são usados como parâmetros de certos conjuntos para os algoritmos de reconhecimento de padrões; consequentemente, "treinam" o computador para reconhecer as classes. A Figura IX.7 mostra o fluxograma para seleção das áreas de treinamento para o MAXVER, através de "clustering" ou grupamento.

- a) Nesta fase, aplica-se o programa IMAHST, do sistema de dois canais, que fornece um histograma bidimensional de toda área de estudo. Em seguida, ele gera um arquivo (COUNT-HST), que contém as frequências de ocorrência de cada célula no espaço de atributos de 64 x 64 níveis. Para obter uma saída desta fase, utiliza-se o programa (HSTOPR)-"print-out", onde as frequências serão representadas por caracteres alfa-numéricos.
- b) Analisando-se o "print-out", tem-se a distribuição das células no espaço de atributos. Através do programa "cluster-synthesis" os pixels correspondentes a cada cela poderão ser evidenciados no vídeo. A área de treinamento será escolhida nas regiões em que haja uma concentração dos pixels correspondentes às celas de resolução, onde esta concentração corresponde a uma somatória das celas de resolução.

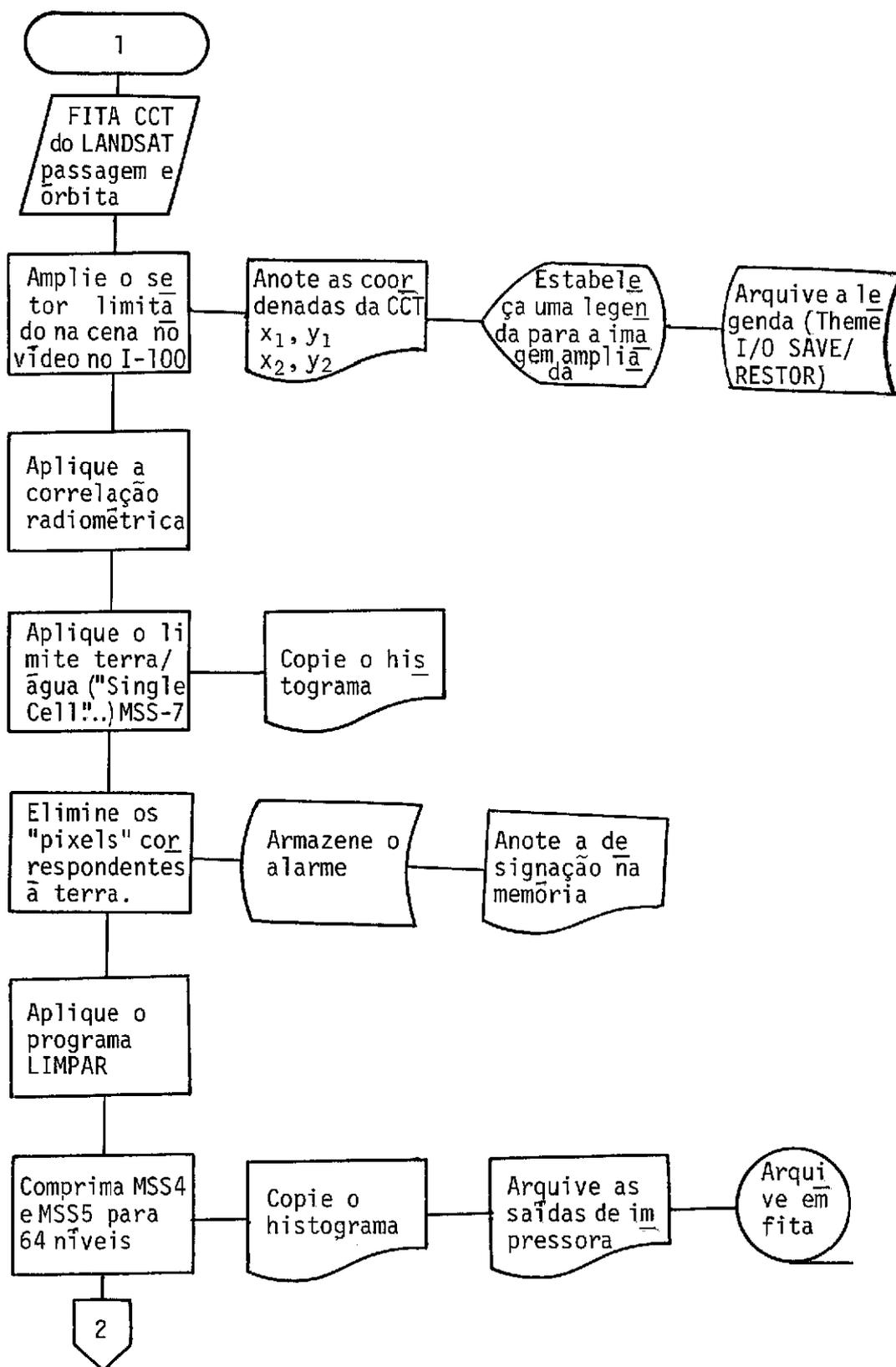


Fig. IX. 6 - Fluxograma do processamento preliminar do CCT no I-100 con-
tido nas cenas do MSS nos quatro canais para o estudo da
qualidade da água.

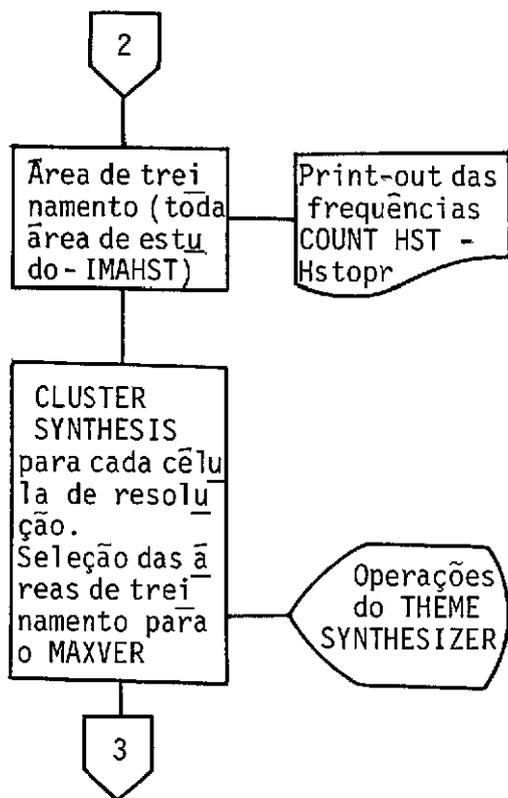


Fig. IX.7 - Fluxograma para seleção das áreas de treinamento para o MAXVER, através de "clustering" ou grupamento.

9.4.3 - FASE 3 - APLICAÇÃO DO SISTEMA MAXVER

Sistema MAXVER é um critério de classificação paramétrica, supervisionada, que classifica os elementos de resolução de imagem por máxima similaridade; os detalhes dos algoritmos utilizados estão no Manual de MAXVER (Velasco et al., 1979). A Figura IX.8 mostra o fluxograma das classes na imagem, aplicando-se o sistema MAXVER.

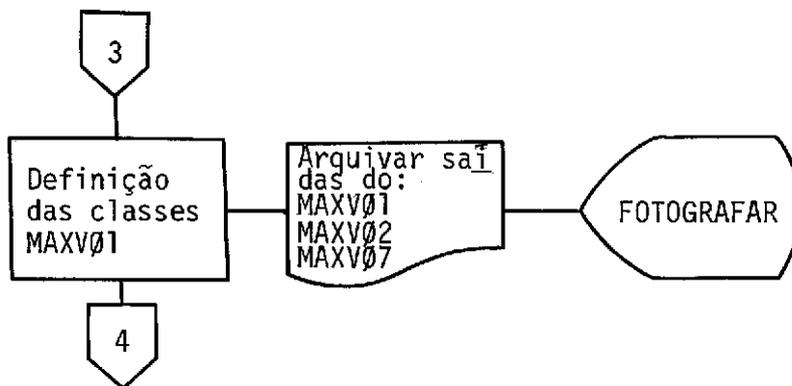


Fig. IX.8 - Fluxograma para definição das classes na imagem, aplicando-se o sistema MAXVER.

Após a definição da área de treinamento o passo seguinte é:

1) Saída: MAXVØ1

Determinar os parâmetros das classes, como: número de pontos considerados em cada classe e em cada canal, média e a matriz de covariância.

O sistema MAXVER fornece ainda uma lista de informações de finidas pelo usuário, como por exemplo:

canais utilizados: 2 (MSS 4 e MSS 5)

número de dimensões: 2

número de classes: 8 (número máximo de classe que o sistema admite por vez)

número de amostras: 10 (o número de amostras é indefinido ficando a critério do usuário)

2) Saída MAXVØ2

São fornecidos ao usuário meios de saber se as classes estão ou não separadas. Um deles é uma "matriz de classificação", que dá uma previsão dos resultados da classificação; nesta matriz, cada linha

corresponde a uma classe. A primeira coluna dá a porcentagem dos pontos da classe que não serão classificados. As outras colunas correspondem às porcentagens (estimadas) dos pontos da classe que serão classificados. A matriz permite, também, distinguir as classes que estão superpostas e as que estão separadas. No caso de classes cujas distribuições se sobrepõem, isto pode ser devido à imprecisão na aquisição das amostras ou ao fato de as classes serem muito semelhantes. No primeiro caso, pode-se tentar aumentar a separação entre as classes, mudando as amostras que as constituem.

3) MAXVØ7

As áreas de treinamento são arquivadas em disco ou fita, para usos posteriores.

Uma vez estabelecido o padrão espectral de cada área de treinamento, o restante da imagem é percorrido automaticamente pelo mecanismo de varredura do sistema IMAGE-100, célula por célula, comparando seus valores digitalizados com o correspondente no espaço espectral selecionado previamente. Todos os elementos de resolução ("pixels"), que se identificarem com os níveis de cinza de uma célula do agrupamento que define uma classe, serão incorporados a esta classe, que é assinalada no vídeo por uma cor correspondente à do tema incluso na escala da cor adotada.

4) Fotografia:

O sistema IMAGE-100 conta com uma aparelhagem de geração de fotografias, através de um tubo de raios catódicos coloridos, que reproduz a imagem guardada na memória (sistema DICOMED). Por este sistema são geradas as imagens coloridas já classificadas.

9.5 - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS EM OCEANOGRAFIA COM SATÉLITES OPERANDO NO INFRAVERMELHO (IV) TERMAL

A disponibilidade dos satélites ambientais operacionais tem facilitado aos cientistas investigar a atmosfera e examinar cuidadosamente a superfície do oceano, sobre uma escala global. Os satélites de órbita polar obtêm dados que cobrem a terra de pólo a pólo, duas vezes por dia; satélites geo-estacionários são mantidos em uma posição fixa, acima do equador, e monitoram continuamente o ambiente de uma porção do globo, dia e noite.

9.5.1 - ESPECIFICAÇÕES DOS PRINCIPAIS SENSORES DOS SATÉLITES NOAA, TIROS-N E SMS-2

9.5.1.1 - SATÉLITE NOAA-5

O satélite NOAA-5, o quinto da série NOAA, foi um satélite meteorológico que circundava a terra num plano quase perpendicular ao equador, portanto, em órbita quase polar, síncrona com o sol, à distância de aproximadamente 1450 km da superfície da terra. Por ser síncrona com o sol, detectava informações sempre na mesma hora local, através de uma passagem diurna e outra noturna, espaçadas de 12 horas. A órbita do satélite cruzava o equador de norte para o sul, (modo descendente) às 06:00 horas e, às 18:00 horas, de sul para o norte (modo ascendente) (Figura IX.9 a).

Os principais sensores a bordo do satélite incluíam (Figura IX.9 b) (NOAA, 1977 e Oliveira, 1977):

- SR - "Scanning Radiometer" (Radiômetro de Varredura) sensor de dois canais (0,5 a 1,0 μm , sensível à radiação visível, e 10,5 a 12,5 μm , sensível à radiação IV). A resolução dos dados do canal visível foi de 4 km e do infravermelho termal, 8 km.

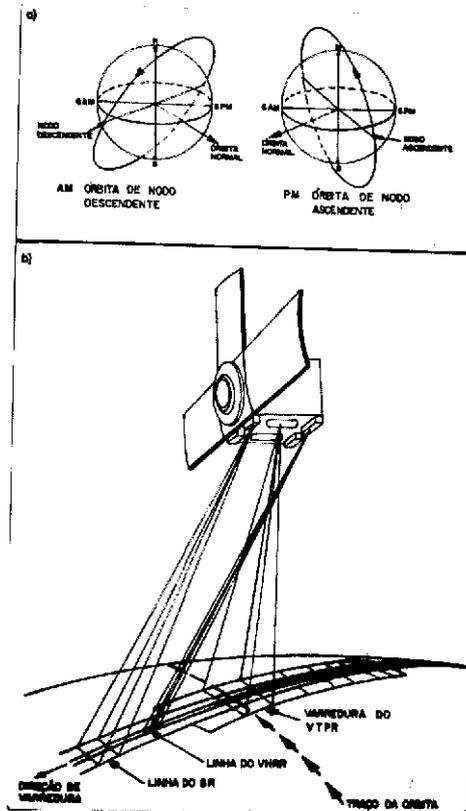


Fig. IX.9 a - Órbita esquemática do satélite

b - Esquema dos principais sensores do satélite NOAA-5

Fonte: NOAA, 1977 e OLIVEIRA, 1977.

O satélite e seu sistema de energia elétrica foram projetados para operar em órbita circular, quase polar, síncrona com o sol, a uma altitude de 833 km. Esta órbita pode ter uma passagem em torno das 7:30 h, podendo variar ± 2 h local, para o modo descendente, por volta das 15:30 h, podendo variar ± 2 h local, para o modo ascendente. Haverá permanentemente dois satélites em órbita, que fornecerão duas passagens em cada intervalo de seis horas. Atualmente, já se encontram operacionais o protótipo TIROS-N, que passa em torno das 15 h local, em órbita ascendente (S \rightarrow N), e o NOAA-6, que passa por volta das 07:30 h local, em órbita descendente.

- VHRR - "Very High Resolution Radiometer" (Radiômetro de Resolução Muito Alta) - Sensor que detectava energia no espectro visível (0,6 a 0,7 μm) e na região do infravermelho termal (10,5 a 12,5 μm). Ambos os canais possuíam um campo de visada (IFOV) de 0,6 miliradianos, que correspondem, no solo, a uma resolução de 0,9 km.
- VTPR - "Vertical Temperature Profile Radiometer" (Radiômetro de Perfil Vertical de Temperatura) - Possuía 8 canais espectrais, sendo 6 na banda de absorção do CO_2 , em 15 μm ; um na janela, em 11,8 μm ; e outro na região de vapor d'água, em 18,7 μm .
- SPM - "Solar Proton Monitor" (Monitor de Prótons Solares) - Mede o fluxo de partículas energéticas (prótons, elétrons e partículas alfa).

A Figura IX.9 b ilustra esquematicamente o princípio de funcionamento utilizado pelo radiômetro, mostrando o campo de visada dos sensores, para realizar, por varredura, o imageamento da terra.

A resolução geométrica no solo, conforme a figura citada, decresce à proporção que aumenta a distância ao ponto subsatélite. Cada imagem fica então comprimida nas áreas próximas dos horizontes de varredura.

Apesar do satélite estar desativado, os dados arquivados podem ser utilizados no Departamento de Meteorologia do CNPq/INPE.

9.5.1.2 - SATÉLITE TIROS-N

O satélite TIROS-N é protótipo de 3ª geração desta série de satélites de plataformas espaciais civis dos E.U.A. inauguradas pelo TIROS VIII em 1963, e é usado para monitoramento do meio ambiente.

Os principais instrumentos e sistemas a bordo são:

- Radiômetro Avançado de Resolução Muito Alta (AVHRR) - Mapeamento noturno e diurno de nuvens, de temperatura da superfície do mar e outras aplicações.
- Sondador Vertical Operacional - TIROS (TOVS) - Dados para o cálculo de perfis de temperatura, conteúdo de vapor d'água da atmosfera, e o conteúdo total de ozônio.
- Monitor de Ambiente Espacial (SEM) - Mede raios-X solar e partículas energéticas.
- Sistema ARGOS de coleta de Dados (DCS) - Localização das plataformas em bóias flutuantes livres e em balões, e aquisição de dados de plataformas em qualquer parte do mundo.

9.5.1.3 - SATÉLITE NOAA-6

O NOAA-A, que é o segundo satélite da série TIROS, foi lançado com sucesso às 15:27 HMG, no dia 27 de junho de 1979. Após o lançamento, o satélite denominou-se NOAA-6. Foi colocado em órbita quase circular aproximadamente a 818 km da superfície da Terra. Tem movimento ascendente de sul para o norte, no período noturno da órbita, cruzando o equador por volta das 19:30 h local, com uma taxa de atraso anual de 6 minutos.

9.5.1.4 - AVHRR - (RADIÔMETRO AVANÇADO DE MUITA ALTA RESOLUÇÃO)

O AVHRR do TIROS-N e o NOAA-6 dos dois satélites a serem lançados são sensíveis a quatro canais de regiões espectrais. Uma mudança futura no projeto adicionará mais um canal, o canal 5 na região de 12 μm .

A Tabela IX.2, mostra os dados dos canais do instrumento AVHRR (TIROS-N e NOAA-6).

TABELA IX.2

INSTRUMENTO AVHRR (TIROS-N E NOAA-6)

	CANAL 1 VISÍVEL	CANAL 2 INF. PRÓXIMO	CANAL 3 IV. TERMAL	CANAL 4 IV. TERMAL	CANAL 5 IV. TERMAL
LARGURA ESPECTRAL (μm)	NOAA-6 0,58-0,68 TIROS-N 0,55-0,90	0,725-1,0	3,55-3,93	10,5-11,5	11,5-12,5
TIPO DE DETETOR	SILÍCIO*	SILÍCIO	In.Sb**	Hg.Cd.Te***	Hg.Cd.Te
RESOLUÇÃO	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km	1,3 mn 1,1 km
VELOCIDADE DE VARREDU RA	360 LINHAS POR MINUTO				

* - Silício

** - Antimoneto de Índio

*** - Telureto de Cádmiio e Mercúrio

Fonte: (CARVALHO et al., 1979)

Os canais 1 e 2 são usados para discernir nuvens, separação terra/água, extensão das coberturas de neve e gelo através da comparação dos dados de dois canais, indicação do começo da fusão do gelo e da neve e sedimentos em suspensão. Os dados do canal 4 são usados para medir a distribuição de nuvens diurnas e noturnas e para determinar a temperatura da superfície irradiadora. Os canais 3 e 4 são usados para determinar a temperatura da superfície do mar, tornando possível remover a ambiguidade introduzida por nuvens que, eventualmente, ocupem uma porção do campo da visada. O canal 5, a ser acrescentado ao AVHRR/2, melhorará ainda mais as medidas de temperatura da superfície do mar em áreas tropicais.

Atualmente, o CNPq/INPE recebe diariamente dados do canal 1 e 4. Eventualmente poderão ser recebidos dados de outros canais, dependendo da necessidade do usuário.

9.5.1.5 - SATÉLITE SMS-2

O satélite SMS-2 é geo-estacionário, ou seja, é síncrono com a terra e adquire, simultaneamente, dados no canal visível e no infravermelho termal (VISSR - Spin-Scan Radiometer). A imagem no canal visível (0,55 a 0,75 μm) tem uma resolução no nadir de 0,9 km e no infravermelho termal (10,5 a 12,6 μm) pode ser obtida durante dia e noite, numa resolução de 8,9 km. Uma imagem completa cobre quase a terça parte da superfície da terra.

Os satélites geo-estacionários apresentam a grande vantagem de poderem repetir imagens hemisféricas a cada 30 minutos. No entanto, são necessários vários satélites para cobrir o globo de forma mais ou menos satisfatória. Atualmente, existe uma rede mundial de satélites, sendo 3 deles americanos, 1 japonês (GMS) e 1 francês (METEOSAT).

9.6 - PRINCIPAIS CORRENTES, FRENTES E RESSURGÊNCIAS DOS OCEANOS DO MUNDO

Antes do uso dos sensores no infravermelho termal a bordo de satélites, informações sobre as características termais das grandes áreas oceânicas eram obtidas de registros e informações ao longo da rota de navios de cargas, ligados aos centros populacionais. A mais notável foi o mapeamento da corrente do Golfo no Atlântico Norte (Gulf Stream), em 1777, por Benjamin Franklin. Mais tarde, por volta de 1800, realizaram-se poucas viagens científicas, tais como "Challenger", "Tuscurora" e "Blake", que exploraram as águas mais longínquas. Infelizmente, viagens científicas para estudar os oceanos são longas e dispendiosas, e os dados coletados não podem ser facilmente aplicados para obter condições sinóticas sobre grandes áreas.

As posições geográficas da maioria das principais correntes oceânicas não são bem conhecidas. Associadas com essas principais correntes, existem regiões de fortes gradientes de temperaturas superficiais do mar que se identificam como "frentes oceânicas". As posições médias das correntes oceânicas e os principais sistemas frontais são apresentados na Figura IX.10 a. Como se pode ver, as frentes oceânicas mais fortes são encontradas na costa leste dos Estados Unidos e Japão.

Além das circulações horizontais nos oceanos, existem também as circulações verticais; um exemplo particular desta modalidade de circulação é a ressurgência, que é a ascensão de águas subsuperficiais para a superfície, produzindo grandes áreas de águas frias na superfície do mar. Essas áreas de águas ressurgidas exercem uma forte influência sobre a distribuição da vida no mar, através das interações ar/mar, e sobre o estado atmosférico costeiro. A Figura IX.10 b mostra as áreas onde ocorrem as ressurgências em escala mundial.

9.6.1 - ESTUDO OCEANOGRÁFICO DO SISTEMA DA CORRENTE DO BRASIL (SCB) COM APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO

9.6.1.1 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nos últimos anos, o CNPq/INPE tem realizado trabalhos de talhados sobre o sistema da corrente do Brasil (SCB).

A corrente do Brasil é um ramal sul da corrente equatorial do Atlântico Sul, (Figura IX.10 a), a qual se locomove até o oeste, entre as latitudes 0° e 20°S , no cabo de São Roque, e é desviada principalmente para o sul; esta corrente flui do longo da costa da América do Sul, (Figura IX.10 a), levando água de alta temperatura e alta salinidade. Perto da costa da Argentina, a corrente das Malvinas (Falkland) (Figura IX.10 a), de baixa temperatura e baixa salinidade, estende-se até 30°S aproximadamente, onde se encontra a corrente do Brasil. Pode-se distinguir o encontro entre estas correntes frias e quentes pelas diferentes características físicas das águas e pelas imagens sem cobertura de nuvens, de satélites, na faixa do infravermelho termal.

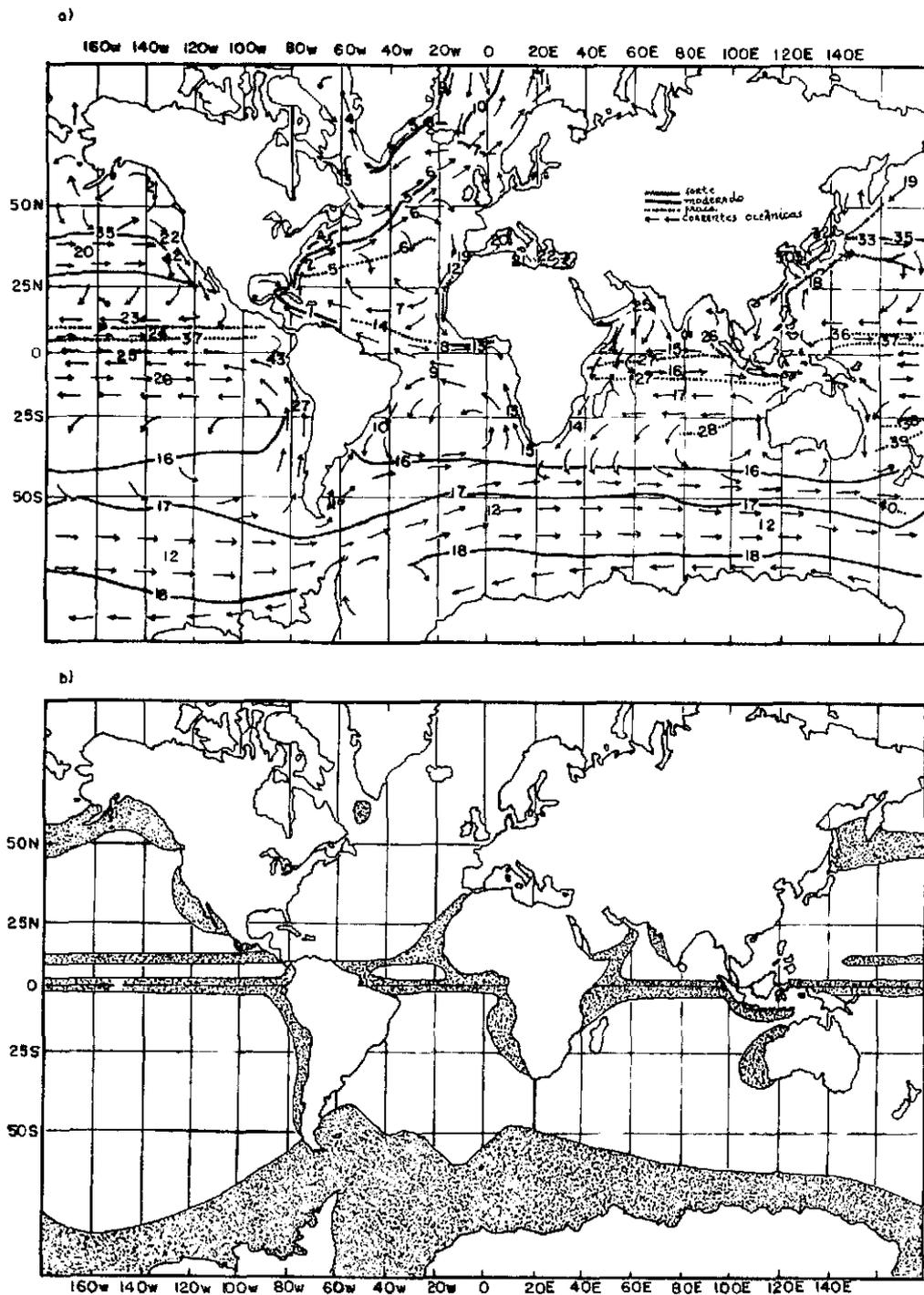


Fig. IX.10 a - Posição média das maiores correntes e frentes oceânicas.
 b - Áreas gerais de ressurgência.
 Fonte: (CHENEY and WINFREY, 1976 apud NOAA, 1979)

Posição Média das Maiores Correntes
Oceânicas Superficiais

1. Corrente da Flórida
2. Golfo "Stream"
3. Corrente do "Labrador"
4. Corrente do Oeste da Groelândia
5. Corrente Leste da Groelândia
6. Corrente do Atlântico Norte
7. Corrente Norte Equatorial
8. Contra-Corrente Equatorial
9. Corrente Sul Equatorial
10. Corrente do Brasil
11. Corrente das Malvinas
12. Corrente Circumpolar Antártica
13. Corrente da Benguela
14. Corrente das Agulhas
15. Corrente Norte Equatorial
16. Contra Corrente Equatorial
17. Corrente Sul Equatorial
18. Corrente "Kuroshio"
19. Corrente "Oyashio"
20. Corrente Pacífico Norte
21. Corrente da Alaska
22. Corrente da Califórnia
23. Corrente Norte Equatorial
24. Contra Corrente Norte Equatorial
25. Corrente Sul Equatorial
26. Contra Corrente Sul Equatorial
27. Corrente de Humbolt

Posição Média das Maiores Frentes
Oceânicas

Frentes do Oceano Atlântico

1. Corrente "Loop"(Golfo do México)
2. Golfo "Stream"
3. Corrente do Atlântico Norte
(Frente Polar Norte)
4. Frente de Declive
5. Frente do Mar Sargasso
6. Convergência Subtropical
7. Frente das Ilhas "Iceland-
-Faeroe"
8. Frente do Estreito "Denmark"
9. Frente Polar leste da
Groelândia
10. Frente do mar da Groelândia-
-Noruega
11. Frente da Ilha "Beat"
12. Ressurgência do Noroeste
Africano
13. Frente do Golfo da Guiné
14. Corrente da Guiana

15. Ressurgência de Benguela
16. Convergência sub-tropical
17. Convergência Antártica (Frente
Polar Sul)
18. Divergência Antártica

Frentes do Mar Mediterrâneo

19. Frente "Huelva"
20. Frente do Mar "alboran"
21. Frente "Maltese"
22. Frente do Mar "Ionian"
23. Frente da Bacia "Levantine"

Frentes do Mar da Índia

24. Ressurgência "Somali"
25. Ressurgência Arábica
26. Frente de Salinidade do Mar da
Índia
27. Frente da Contra-Corrente Equatorial
28. Frente do oeste Australiano

Frentes do Oceano Pacífico

29. Frente do "Kuroshio"
30. Corrente quente do mar amarelo
31. Frente da costa Coreana
32. Corrente Tisushima
33. Frente "Oyashio"
34. Frente "Kuril"
35. Frente Subártica
36. Frente de Salinidade "Doldrun"
do Norte
37. Frente de Salinidade "Doldrun"
do Sul
38. Convergência Tropical
39. Convergência do meio "Tasman"
40. Frente Subártica Australiana
41. Frente Subtropical
42. Frente da Califórnia
43. Frente Equatorial do Pacífico
Leste

9.6.1.2 - O SISTEMA DA CORRENTE DO BRASIL (SCB) COM SENSORES REMOTOS

Basicamente o SCB é o estudo da oceanografia entre a corrente do Brasil e a das Malvinas, visando a determinação da frente oceanográfica entre estas duas correntes. Esta frente se localiza na região do extremo oeste da Convergência Subtropical do Oceano Atlântico Sul. O objetivo mais importante do curso é apresentar uma discussão das características desta frente.

O SCB tem sido descrito na literatura oceanográfica internacional recente utilizando imagens obtidas pelo Radiômetro de Resolução Muito Alta (VHRR) dos satélites NOAA-5, da série NOAA (Legeckis, 1978).

Até a presente data, a maior parte dos trabalhos do SCB foram realizados com sensoriamento remoto não foram publicados. Porém a descrição das utilizações dos dados de satélites para o estudo do SCB foi iniciada por Tseng (1974) e apresentado no seminário de Michigan em 1977 (Tseng et al., 1977).

O trabalho de Tseng et al. (1977) será tomado como base para a apresentação dos resultados mais importantes dos estudos do SCB.

No CNPq/INPE, com a recepção de imagens dos satélites NOAA-5, NOAA-6, TIROS-N, e do satélite geoestacionário SMS-2, foi possível obter grande volume de informação sobre o SCB. No início, fizeram-se interpretações visuais com as imagens para descrever o sistema. Nos últimos anos, com a incorporação do sistema IMAGE-100, foi possível obter descrições muito detalhadas sobre as características mais importantes deste sistema. A análise, mesmo no sistema IMAGE-100, consiste em utilizar um conjunto de programas de computador, que permite obter muitas informações sobre a imagem analisada. Talvez a maior vantagem para a oceanografia seja a obtenção de impressos ("printouts") sobre temas específicos dos canais espectrais utilizados.

9.6.1.3 - O SISTEMA DA CORRENTE DO BRASIL (SCB) SEGUNDO A OCEANOGRAFIA CONVENCIONAL

Um estudo mais detalhado do SCB, segundo a Oceanografia Convencional, foi feito no Atlas de Estruturas Oceanográficas do Rio Grande do Sul (Atlas Oceanográfico) (Inostroza e Tseng, 1980) onde se apresentam as características sazonais do SCB, baseadas em cartas de distribuição de temperatura, salinidade, conteúdo de oxigênio e nutrientes. No MN. DHN (1974), apresenta-se a ordem de grandeza da intensidade e direção das correntes, na região do SCB.

Os atlas oceanográficos são muito importantes, pois, na interpretação de imagens, as cartas neles contidas são utilizadas como referência ou verdade do mar. Além dessas utilizações, elas foram confeccionadas com objetivos específicos, tais como:

- obter cartas cartográficas detalhadas das estruturas das águas, para serem utilizadas na interpretação de dados oceanográficos orbitais coletados por sensores remotos;
- obter cartas oceanográficas básicas para a confecção de cartas de pesca;
- fornecer informações oceanográficas na forma cartográfica, para uso oceanográfico geral.

Além disso, será apresentada também uma discussão bibliográfica com trabalhos recentes de algumas medições do SCB (Miranda et al., 1969; Signorini, 1978 e Steffen e Meirelles, no prelo).

9.6.1.4 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO

Apresenta-se, a seguir, um breve resumo da metodologia do trabalho de Tseng (1974):

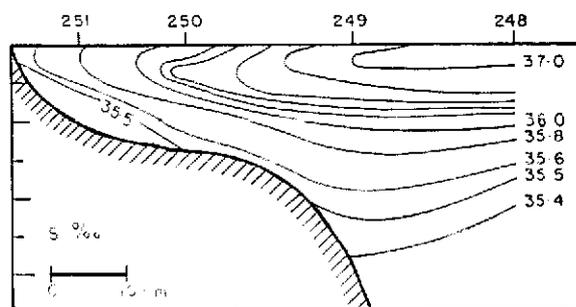
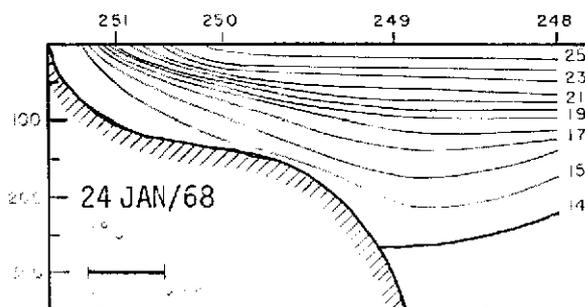
- a primeira etapa consiste na obtenção das imagens através de transparência branco e preto, ou através de fitas magnéticas digitais compatíveis com o computador, pelo sistema I-100;
- a segunda etapa consiste na análise destas imagens para obter detalhes importantes das estruturas superficiais das águas;
- a terceira etapa consiste na comparação entre as estruturas das imagens e as cartas oceanográficas ou dados de comissões oceanográficas;
- finalmente, a última etapa consiste na interpretação final das imagens.

9.6.2 - RESSURGÊNCIA EM CABO FRIO

Ressurgência é um processo de movimento vertical das águas no mar, através do qual a água de algumas centenas de metros de profundidade é trazida à superfície ou logo abaixo da superfície. Esta água é mais fria do que a água superficial original e, consequentemente, produz uma região característica de água fria na área. Geralmente em Cabo Frio, costa sudeste do Brasil, a ressurgência é induzida quando sopram ventos fortes do primeiro quadrante, impulsionando as águas superficiais divergentes da costa, as quais causam ascensão das águas subsuperficiais.

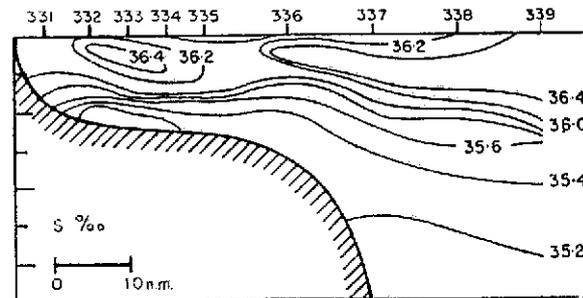
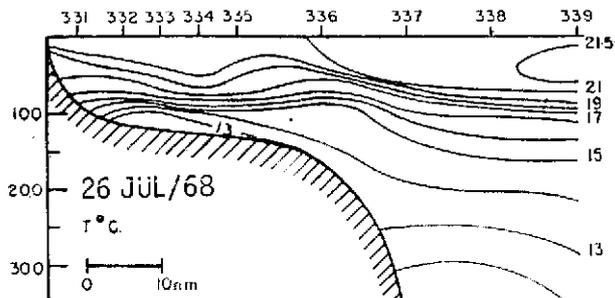
Silva (1971) e Mascarenhas et al. (1971) mencionam e descrevem a existência do fenômeno da ressurgência nesta parte da costa do Brasil, por métodos convencionais. A Figura IX.11 apresenta uma seção vertical do oeste de Cabo Frio, mostrando as condições e ausência de ressurgência.

Estações



a) Ressurgência

Estações



b) Ausência de ressurgência

Fig. IX.11 - Perfil de temperatura e salinidade mostrando as condições e ausência de ressurgência.

Fonte: (MASCARENHAS et al, 1971).

Como se observou na Figura IX.10 b, aparecem várias áreas de ocorrência da ressurgência em escala mundial; entretanto, a costa su deste do Brasil, na região de Cabo Frio, não é demonstrada como local de ocorrência da ressurgência. Contudo, várias comissões oceanográficas foram realizadas nesta área comprovando a existência deste fenômeno, como por exemplo: a SEREMAR II (Almeida et al., 1971), SEREMAR III (Tseng, 1972), SEREMAR IV (Inostroza et al., 1976). Essas comissões tiveram por objetivo:

- a) através de sensoriamento remoto, identificar e localizar contrastes térmicos da superfície do mar, na região do infravermelho termal, utilizando-se a aeronave "Bandeirante";
- b) localizar e definir uma possível ressurgência e tentar correlacionar a característica do contraste térmico com modelos matemáticos (Tanaka, 1977);
- c) desenvolver métodos de correção para dados radiométricos coletados pelo termômetro de radiação de precisão (PRT-5), a baixas altitudes, e obter valores de temperaturas da superfície do mar, tão próximos da situação real quanto possível.

9.6.2.1 - METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO

A metodologia utilizada para interpretação do fenômeno da ressurgência em imagens termais, recebidas pelos satélites, é semelhante à utilizada na interpretação do SCB. Como o fenômeno da ressurgência não é um sistema permanente, mas sim, uma função dos ventos predominantes, é importante relacionar, além dos dados oceanográficos convencionais, os dados meteorológicos, para fazer o acompanhamento da evolução da água ressurgida, delimitar a área alcançada e a direção que estas águas tomam, através de imagens orbitais.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, E.G.; MASCARENHAS JR., A.S.; IKEDA, Y. *Preliminary results and analysis of mission SEREMAR II*, São José dos Campos, INPE, 1971. (Report 14/ONU/INPE).
- BENTANCURT, J.J.V. *Processamento de dados multiespectrais obtidos por plataformas orbitais da série LANDSAT para estudos de qualidade da água na Baía de Guanabara*. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos. No prelo.
- BETZ, H.T. *The remote measurement of rhodamine B concentration when used as fluorescent traces in hydrologic studies*. Washington, D.C., NASA, 1968. (Interagency Report NASA 101).
- BRASIL. Ministério da Marinha. Diretoria de Hidrologia e Navegação (MM. DHN). *Atlas de carta piloto; Oceano Atlântico de Trinidad ao Rio do Prata*. Rio de Janeiro, 1974.
- CARVALHO, P.R.A.; RODRIGUES, V.; NOGUEIRA, J.L.M.; VIOLA, F.E.C.; GARRIDO, J.C.P.; OLIVEIRA, J.R.; ASSAD, P.C.X. *Curso intensivo de satélites meteorológicos técnicas associadas utilizadas na produção, processamento e interpretação das imagens*. São José dos Campos, INPE, Nov. 1979. (INPE - 1614-MD/002)
- CLARKE, G.L.; JAMES, H.R. Laboratory analysis of the selective absorption of light by sea water. *Optical Society of America Journal*, 29 (2): 43-53, feb. 1939.
- COELHO, V.M.B.; FONSECA, M.R.M.B. Modelos bidimensionais de qualidade de água e econômico para a Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Apresentado no *Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária*, 15., Buenos Aires, 20-25 jun., 1976.

- HULBURT, E.O. Optics of distilled and natural water. *Optical Society of America Journal*, 35 (11): 698-705, nov., 1945.
- INOSTROZA VILAGRA, H.M.; ALMEIDA, E.G. de. O extremo oeste da convergência sub-tropical do Oceano Atlântico Sul segundo os satélites Nimbus V e NOAA 5 e dados oceanográficos nos anos 1973 e 1978. Apresentado no *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1., São José dos Campos, 27-29 Nov. 1978.
- INOSTROZA VILAGRA, H.M.; TSENG, Y.C. *Atlas de estruturas Oceanográficas do Rio Grande do Sul*. São José dos Campos, INPE. No prelo.
- INOSTROZA VILAGRA, H.V.; ALMEIDA, E.G.; MASCARENHAS JR., A.S.; *Expedição oceanográfica SEREMAR IV*, São José dos Campos, INPE, fev. 1976. (INPE - 825-NTE/049).
- JERLOV, N.C. *Optical oceanography*. Amsterdam, Elsevier, 1968.
- JOHNSON, F.S. The solar constant. *Journal of Meteorology*, 11: 431, 1954.
- JURICA, G.M. *Atmospheric effects on radiation measurements*. West Lafayette, Purdue University, The Laboratory for Application of Remote sensing, 1973. (LARS Information Note 011573).
- KRIEGLER, F.J.; MALILA, W.A.; NALEPKA, R.F.; RICHARDSON, W. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 6., Ann Arbor, Mi, 1969. Proceedings. V.1, p.97 - 131.
- LEGECKIS, R. A survey of world wide sea surface temperature fronts detected by environmental satellites. *Journal of Geophysical Research*, C83 (9): 4501-4522, Sept. 1978

- MASCARENHAS JR., A.S.; MIRANDA, L.B.; ROCK, N.J. A study of the oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. In COSTLOW JR., J.D. *Fertility of the sea*. New York, Gordon and Breach Science, c1971. V.1, p. 285-308.
- MEIRELLES, D.S.; STEFFEN, C.A. *Aspectos da circulação oceânica no quadro Marsden 376*. São José dos Campos, INPE. (Em preparação).
- NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). "*National environmental satellite service catalog of products*". Washington, D.C., 1977.
- . *Oceanic an related atmospheric phenomena as viewed from environmental satellites*. Washington, D.C., 1978.
- NASA. Remote measurements of pollution. Washington, D.C., 1975 (NASA-SP-285).
- OLIVEIRA, J.R.; ELIAS, M. *Estação receptora de satélites meteorológicos com radiância de muita alta resolução*. Relatório Final. São José dos Campos, INPE, jun. 1977. (INPE - 1040-RAE/027).
- REEVES, R.G. *Manual of remote sensing*. Falls Church, Va, American Society of Photogrametry, 1975.
- SIGNORINI, S.R. On the circulation and the volume transported of the Brazil Current between the cape of São Tomé and Guanabara Bay. *Deep Sea Research*, 25 (5): 481-490, May, 1978.
- SILVA, P.C.M. Upwelling and its biological effects in southen Brazil. In: COSTLOW JR., J.D. *Fertility of the sea*. New York, Gordon and Breach Science, c1971. V.2, p. 469-474.
- STEVENSON, M.R. *Use of the ERTS (MSS) and NOAA VHRR data in marine resource assesment*. Final report. La Jolla, Ca., International Tropical Tuna Comission, 1975.

- TANAKA, K. Simulação da ressurgência comparada com dados oceanográficos e de sensores remotos em Cabo Frio. *Anais Hidrográficos*, 34: 168-346, 1977.
- TSENG, Y.C. *Preliminary results and analysis of the mission SEREMAR III*. São José dos Campos, INPE, 1972.
- TSENG, Y.C. Study of the surface boundary of Brazil and Falkland currents. In: COSPAR. *Seminar on Space Applications of Direct Interest to Developing Countries*, São José dos Campos, INPE, 1974. V.2, p. 160-173.
- TSENG, Y.C.; INOSTROZA VILAGRA, H.M.; KUMAR, R. Study of the Brazil and Falkland currents using THIR images of Nimbus V and oceanogeophic data in 1972 to 1973. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 11., Ann Arbor, MI, 1977. Proceedings. V.2, p. 859-871.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER; manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul., 1980. (INPE - 1315-NTI/110).
- WEZERNAK, C.T.; TURNER, R.E.; LIZENGA, D.R. *Spectral reflectance and radiance characteristics of water pollutants*. Washington, D.C., NASA, 1976b. (NASA CR - 2665).

CAPÍTULO X

UTILIZAÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT NA CARTOGRAFIA

10.1 - INTRODUÇÃO

Mapear o Território Nacional é algo que requer um grande investimento do governo, principalmente nas regiões como a Amazônia, onde as condições ambientais dificultam a penetração e o desenvolvimento normal dos trabalhos de campo e sobrevôo fotográfico, fazendo com que cronogramas sofram atrasos, elevando ainda mais os custos inicialmente programados, sem contar com os prejuízos indiretos que ocorrem em outras áreas a espera deste material.

O objetivo deste trabalho é apresentar não uma solução para o mapeamento topográfico sistemático regular, mas sim uma proposta para solucionar os problemas cartográficos nas áreas que ainda carecem de mapas, ou que, se existem, já não mereçam crédito face à desatualização com o passar do tempo.

O trabalho foi desenvolvido utilizando imagens MSS do LANDSAT para execução de cartas na escala 1:250.000. Essas cartas servirão de base para trabalhos mais urgentes, até que o mapeamento topográfico sistemático seja regularizado nessas regiões remotas.

10.2 - LEVANTAMENTO DO APOIO BÁSICO

Os levantamentos geodésicos obtidos através de processos convencionais, ou por satélites, constituem a infra-estrutura para o mapeamento. No caso da região amazônica, este apoio básico é ainda carente. As dificuldades de penetração favorecem o uso de equipamentos de geodésia por satélite, na determinação dos pontos de apoio básico, embora o apoio suplementar careça ainda mais de densificação.

10.3 - MAPEAMENTO TOPOGRÁFICO SISTEMÁTICO

É definido como todo mapeamento baseado em recobrimento aerofotogramétrico e apoiado em controle terrestre, através de coordenadas plano-altimétricas. As escalas destes documentos compreendem 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000.

Estas cartas possuem as seguintes características (Ta**bla** X.1).

TABELA X.1

CARACTERÍSTICAS DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS

ESCALA	FORMATO	EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS	ÁREA ABRANGIDA	PROJEÇÃO
1:50.000	15' x 15'	20 m	750 km ²	UTM
1:100.000	30' x 30'	40 m	3.000 km ²	UTM
1:250.000	1° x 1°30'	120 m	18.000 km ²	UTM

Estas cartas são caracterizadas, também, pela correta determinação plano-altimétrica de todos os acidentes representados em função da escala da carta. A projeção UTM adota fusos de 6° de amplitude, havendo coincidência com os fusos da Carta do Brasil ao Milionê simo, publicada pelo IBGE.

10.4 - OUTROS ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS

Estes elementos são documentos cartográficos não regulares, isto é, documentos que não estão ligados ao mapeamento sistemãtico e regular de uma região. São mapas, cartas, mosaicos, etc., elaborados para atender certos objetivos e servir de levantamento preliminar, em regiões onde o mapeamento topográfico sistemático não foi ainda integralizado.

10.5 - UTILIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT NA CARTOGRAFIA

Inicialmente, faz-se uma rápida análise das características mais importantes das imagens MSS para fins cartográficos (Tabela X.2). Convém lembrar que este estudo é dirigido para documentos na escala de 1:250.000, ou menores.

TABELA X.2

CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS LANDSAT

CARACTERÍSTICAS	MSS	RBV
Abrangência da cena	185 x 185 km	98 x 98 Km
Elemento de resolução	70 m	30 m
Escala de imageamento	1:3.700.000	1:1.960.000
Escala de trabalho	1:1.000.000	1:500.000
Formato da imagem	185 x 185 mm	196 x 196 mm
Relação B/Z	< 0,25	< 0,25
Superposição longitudinal	10%	10%
Superposição lateral (*)	14%	14%
Altitude do satélite	920 km	920 km
Projeção		
Número imagens/ano	20	20
Número imagens na carta 1:1.000.000	10 - 14	40 - 56

(*) para ϕ (Latitude) = 0°

As características apresentadas na Tabela X.2 são os principais parâmetros observados para o uso cartográfico das imagens LANDSAT.

10.5.1 - GEOMETRIA DAS IMAGENS LANDSAT

As imagens MSS do LANDSAT são obtidas por varreduras transversais ao sentido de deslocamento do satélite. A imagem é uma projeção ortogonal, ao longo da órbita, e central no sentido da varredura do espelho.

A largura ℓ da imagem, na superfície, é dada por:

$$\ell = 2 H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$$

onde:

H = altitude do satélite

β = ângulo de abertura do imageador = $11,5^\circ$

a) Dimensão do elemento de resolução

A Figura X.1 mostra uma linha de varredura do sensor MSS, onde " α " é constante ao longo de toda a varredura. Desta forma, os segmentos \overline{AB} e \overline{CD} tornam-se curvos ao longo da linha de varredura, assumindo valor máximo de afastamento nas bordas laterais da imagem, e valor mínimo no ponto central da varredura, provocando uma variação na dimensão do elemento de resolução.

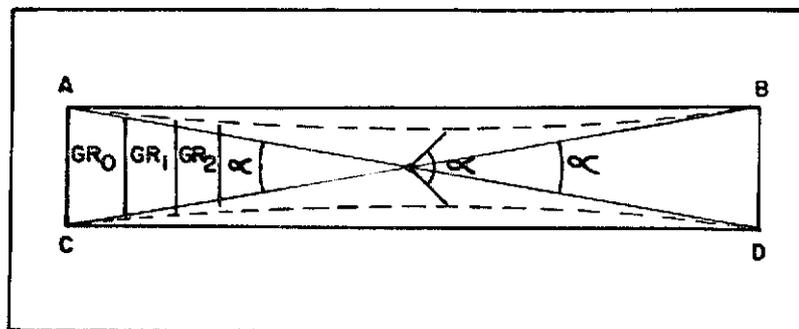


Fig. X.1 - Linha de varredura.

A Figura X.2 mostra a seção longitudinal do elemento de resolução.

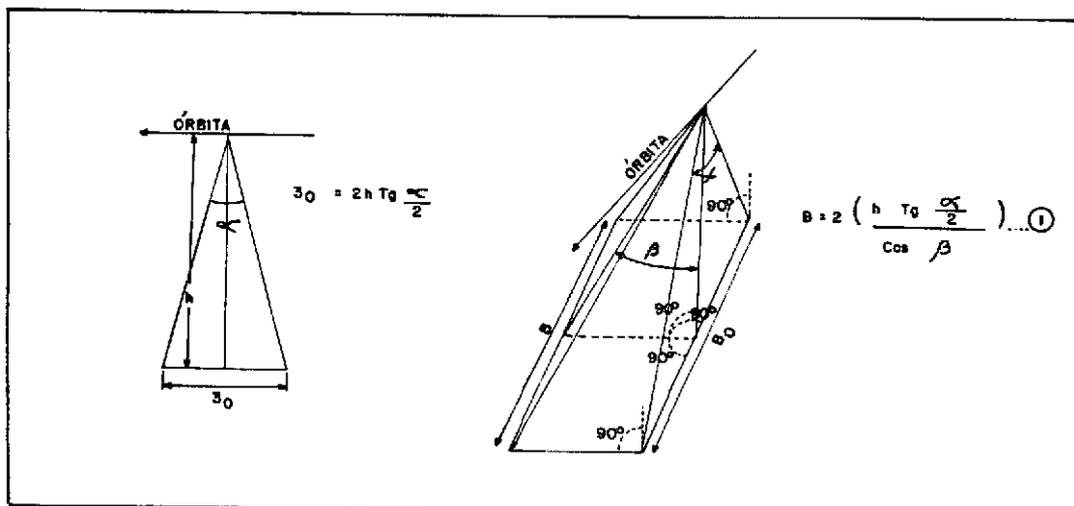


Fig. X.2 - Seção longitudinal do elemento de resolução.

A Figura X.3 mostra a seção transversal do elemento de resolução.

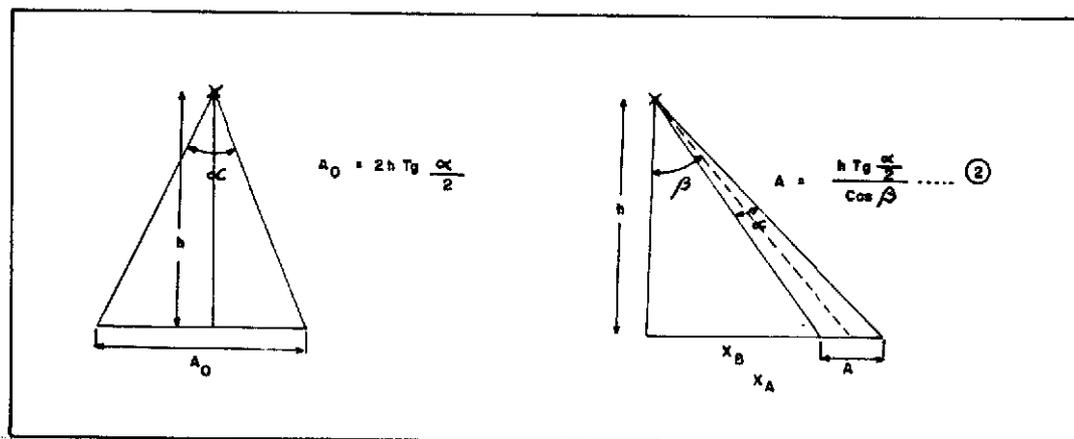


Fig. X.3 - Seção transversal do elemento de resolução.

Denominando-se α de ω , o qual é definido como ângulo de visada instantâneo e bem pequeno, pode-se ter para (1) e (2) a seguinte formulação:

$$B = \frac{H \cdot \omega}{\cos \beta} \qquad A = \frac{H \cdot \omega}{\cos^2 \beta}$$

A área do elemento de resolução (S) será dada por:

$$S = \frac{H^2 \cdot \omega^2}{\cos^3 \beta}$$

e variará somente em função de β , que é o ângulo total de varredura.

10.5.2 - DEFORMAÇÃO DAS IMAGENS

As deformações das imagens MSS, devido às variações de atitude do satélite, não se comportam da mesma forma como nas imagens obtidas por câmeras métricas, embora as variações sofridas sejam as mesmas. Estas deformações são: variação em escala, variação em deriva, variação em arfagem e variação em rolagem.

a) Variação em escala, em função da variação de H (altitude), como pode ser visto na Figura X.4.

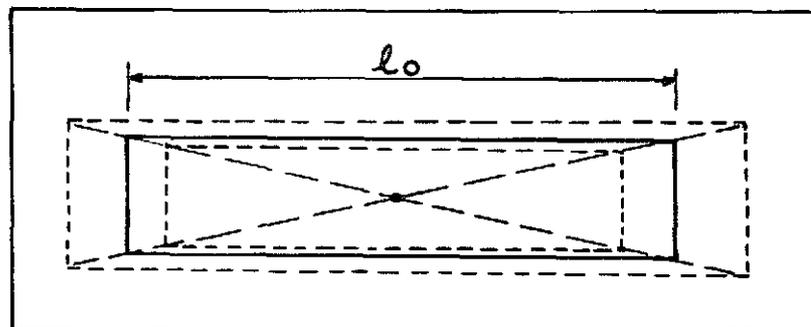


Fig. X.4 - Variação em escala em função da variação da altitude.

Como a imagem MSS (185 x 185 km) é formada de 2340 varreduras que necessitam de um tempo T para serem realizadas, é neste período que o satélite poderá sofrer variações na altitude (H). Pode-se dizer que a cada varredura corresponderá uma escala. Se for denominado ℓ_0 de largura reduzida e ϵ de escala, pode-se escrever:

$$\epsilon = \frac{\ell_0}{2 H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}$$

b) Variação em deriva em função da variação de k ("Yaw"), como pode ser visto na Figura X.5.

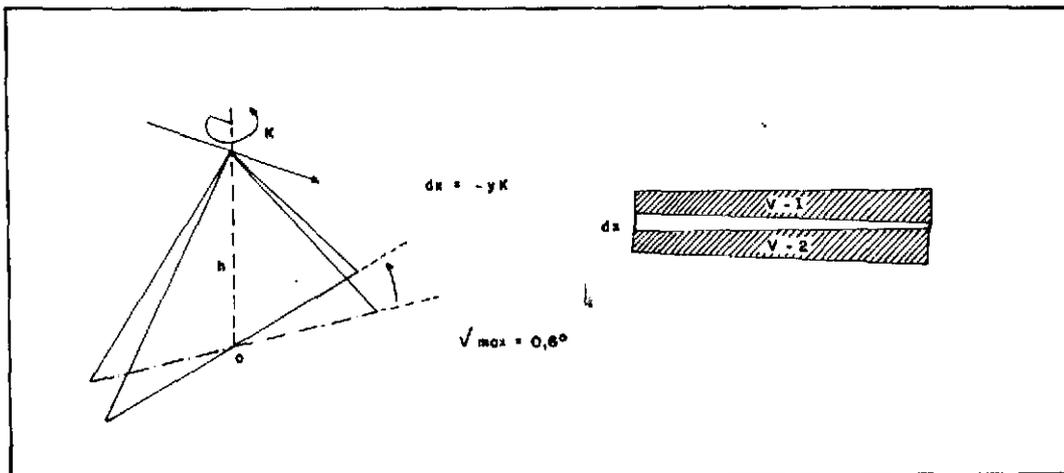


Fig. X.5 - Variação em deriva em função da variação K ("Yaw").

c) Variação em arfagem em função da variação de ϕ ("Pitch"), como pode ser visto na Figura X.6.

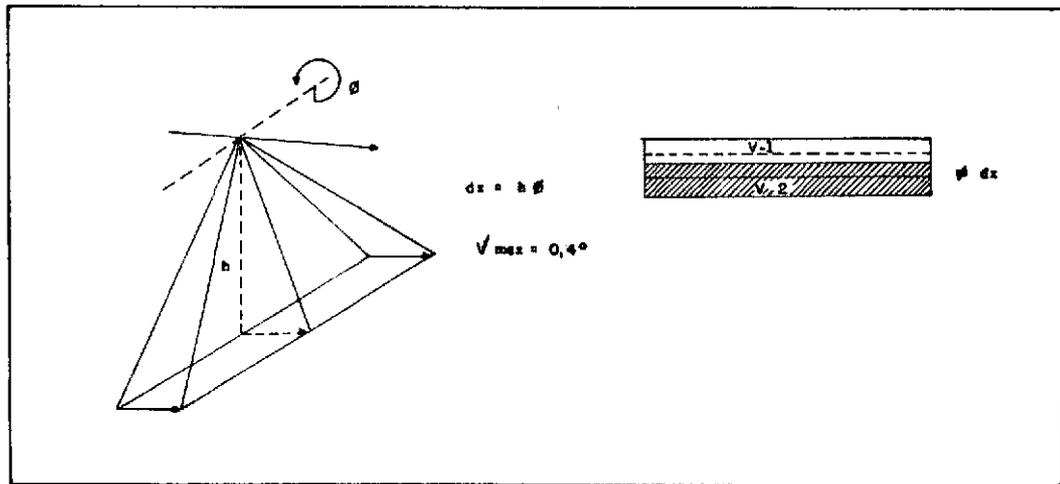


Fig. X.6 - Variação em arfbagem em função da variação de ϕ ("Pitch")

d) Variação em rolagem em função da variação em ω ("Roll"), como pode ser visto na Figura X.7.

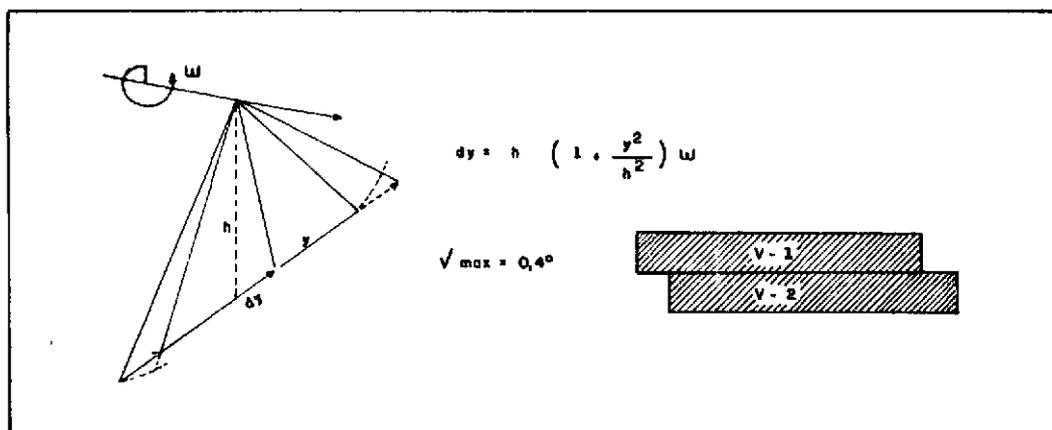
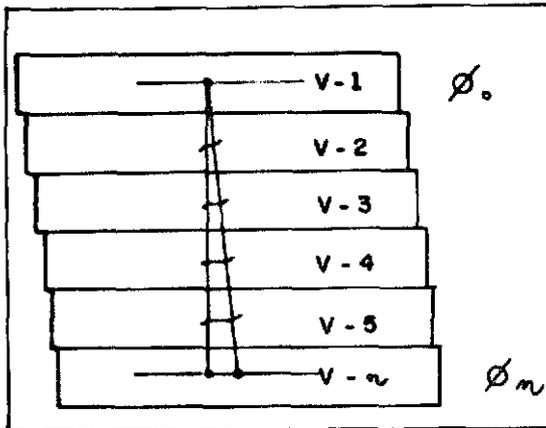


Fig. X.7 - Variação em rolagem em função da variação em ω ("Roll").

Outras deformações não são devido à atitude do satélite, mas sim ao próprio modelo. A Figura X.8 mostra o deslocamento devido à rotação da terra.



$$D = L \frac{\omega_t}{\omega_s} \cos \phi$$

onde:

ω_t = velocidade angular da terra

ω_s = velocidade angular do satélite

ϕ = latitude do lugar

$L = R \cdot \omega_s \cdot t$

R = raio da terra

Fig. X.8 - Deslocamento devido à rotação da terra.

Deve-se contar, ainda, com o efeito de curvatura da terra, a refração atmosférica e os deslocamentos sofridos pelas variações do relevo.

Devido a estas deformações, a imagem MSS apresenta deslocamentos entre pontos, que se distribuem aleatoriamente em direção e afastamento (Figura X.9), porque não é uma imagem instantânea, mas sim formada por varreduras que são executadas dentro de um determinado tempo. Como o satélite se move ao longo desse tempo, sofrendo variações de atitude, os deslocamentos se comportarão de formas diferentes dentro de uma imagem.

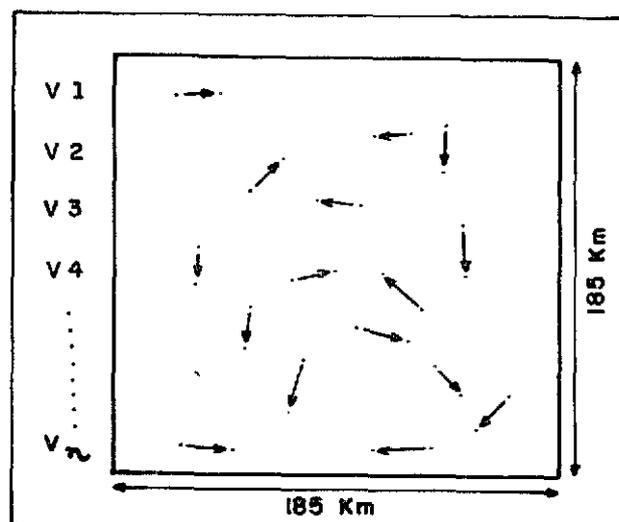


Fig. X.9 - Deslocamento de pontos em relação ao seu homólogo no terreno.

10.5.3 - DEFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

Inicialmente, define-se o que são deformações cartográficas, para que não se faça confusão com deformações das imagens.

Deformações cartográficas são distorções definidas pelo modelo de projeção adotado. A diferença entre uma determinada grandeza, na projeção, e sua homóloga, na superfície da terra, define a deformação. As deformações cartográficas não estão relacionadas com a precisão do trabalho final, e sim com a aplicação do mapa. As deformações cartográficas são as seguintes:

- meridiana
- transversal
- angular
- superficial

A princípio, as imagens LANDSAT são definidas numa projeção "quase UTM", denominada por Colvocoresses (1974) de "Space cylindrical strip perspective", definindo os seguintes parâmetros.

- Fator de escala no nadir - 1,00000
- Fator de escala nas bordas das imagens - 0,99916
- Fator de escala na direção do deslocamento do satélite - 1,00011
- Fusos - 185 Km ou $01^{\circ}40'$
- Elipsóide - Irene Fisher
- Deformação - conforme

A Figura X.10 apresenta uma imagem MSS-LANDSAT sobre o plano de projeção UTM.

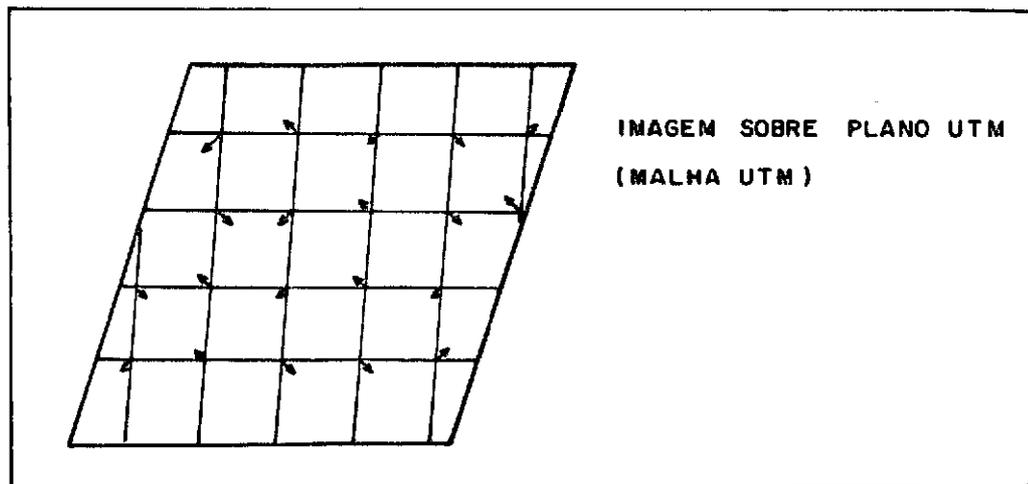


Fig. X.10 - Imagem MSS-LANDSAT sobre o plano UTM (malha UTM)

Os pontos de uma imagem se distribuem bem próximos à malha UTM.

Outras projeções podem ser adotadas, desde que se faça a mudança do sistema. Assim sendo, a própria UTM pode ser adotada, através da realização das transformações matemáticas necessárias.

10.5.4 - MUDANÇA DE PROJEÇÃO

Na mudança de projeção deve-se considerar as seguintes alternativas:

- 1 - Conhecer o modelo de formação da projeção das imagens e da nova projeção que se deseja adotar, através dos seguintes requisitos:
 - Imagens retificadas: "I-Precision"
 - Pontos de imagem para controle
 - Definição de um dos pontos de controle para "DATUM"
 - Processo de transformação: analítico
- 2 - Conhecer somente a projeção que se deseja trabalhar, através dos seguintes requisitos:

- Imagens retificadas: "I-Precision"
- Pontos de imagem e terreno para controle
- Processo de transformação: analítico, gráfico

a) Retificação de imagens

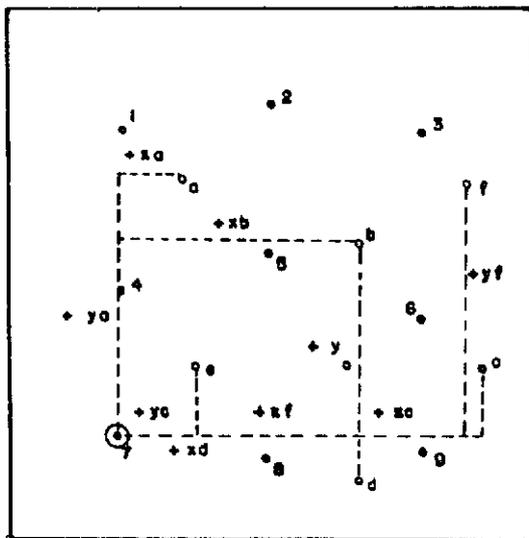
Para executar a retificação das imagens, é necessário um mínimo de 9 pontos de controle distribuídos matricialmente sobre a imagem. O processo de "retificação de imagens" além de assegurar a geometria da imagem, coloca-a no plano UTM. Este processo recebe o nome de "Precision".

b) Pontos de imagens para controle

São pontos com coordenadas geodésicas conhecidas, identificados na imagem.

c) Definição de um dos pontos de controle para "DATUM"

É o ponto que servirá de origem para contagem das coordenadas X e Y dos pontos suplementares (Figura X.11).



1,2,3 ... 9 - pontos de controle

Ponto nº 7 - DATUM

a,b,c ... f - pontos suplementares

OBS: quanto maior o número de pontos de controle, maior será a rigidez na determinação do apoio suplementar

Fig. X.11 - Pontos de controle e ponto DATUM.

As duas alternativas para a mudança de projeção apresentam ótimos resultados. Entretanto, seu uso ficará condicionado às áreas onde já existam pontos de controle que possam ser identificados nas imagens, ou em regiões onde o trabalho será desenvolvido com imagens que serão obtidas, pois desta forma os pontos serão previamente sinalizados e suas coordenadas determinadas.

No caso da região amazônica, o apoio é ainda escasso e a penetração difícil, e o investimento necessário ao processamento de todas as imagens, que recobrem a região, numa das duas alternativas, tornar-se-á muito dispendioso por várias razões:

- a) densificação maciça de pontos sobre o terreno;
- b) condições meteorológicas instáveis;
- c) uso de geodésia por satélite na determinação do apoio; e
- d) médio e longo prazo para a obtenção do mapa.

Neste caso, os procedimentos mais viáveis em custo e prazo serão os expeditos, a serem realizados analítica ou graficamente, utilizando-se bases cartográficas já existentes. Para este caso, as alternativas são:

- 1) conhecer uma base qualquer em qualquer projeção, através de:
 - Imagens "BULK".
 - Pontos comuns na imagem e na base escolhida para apoio.
 - Maior densidade de pontos.
 - Transformação analítica.

No caso da região amazônica, pode-se utilizar as Folhas RADAM na escala 1:250.000, como base para transformação e obtenção do apoio, e as coordenadas dos pontos escolhidos serão valores X e Y lidos, na imagem e na base, por equipamentos do tipo "monocomparador" (Figura X.12).

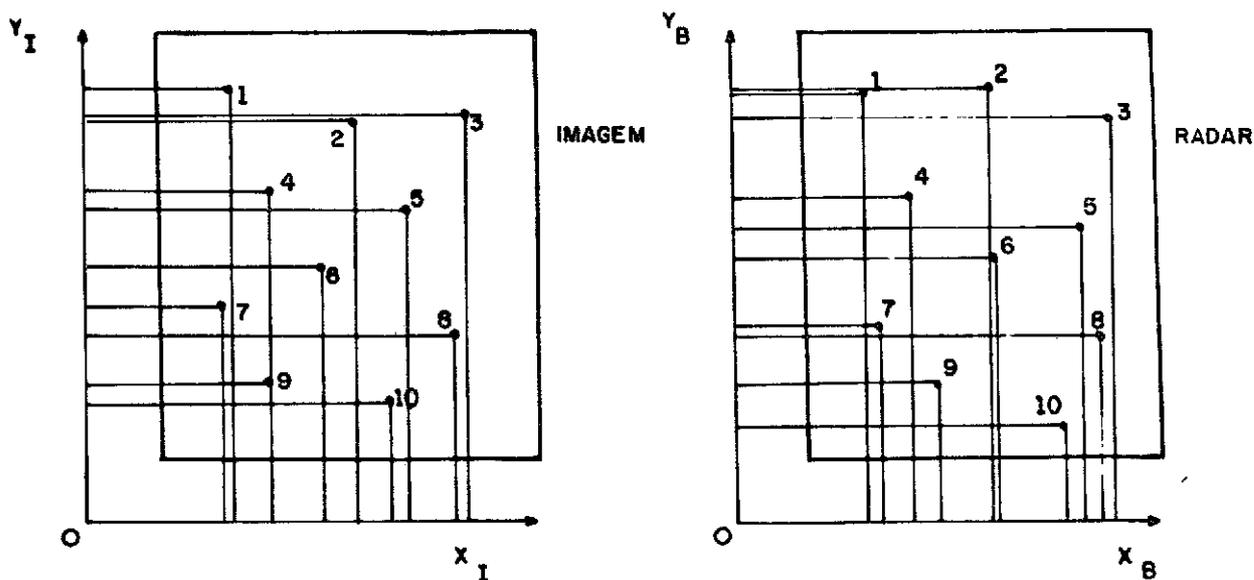


Fig. X.12 - Pontos de controle na imagem MSS e nas Folhas RADAM.

Infelizmente, este método não oferece uma precisão compatível com a escala de 1:250.000; mas, a imagem é colocada no mesmo sistema de projeção que o das folhas do RADAM, chegando-se a obter um RMS de 64 metros.

As dificuldades encontradas neste procedimento decorrem das imperfeições da base adotada. No caso das Folhas RADAM, as imperfeições são resultados da "mosaicagem" e do pequeno apoio que serviu de controle para estas folhas.

2) Possuir um mapa atualizado com informações contidas nas imagens LANDSAT, através de:

- Imagens "BULK".
- Pontos comuns na imagem e no mapa.
- Pontos de controle sō nas áreas de atualização
- Transformação gráfica.

Neste procedimento, a imagem deve ser compartimentada em setores e os pontos para controle identificados em cada setor. As

transformações são realizadas em cada setor isoladamente (Figura X.13), podendo ser usadas para equipamentos aerofotogramétricos convencionais.

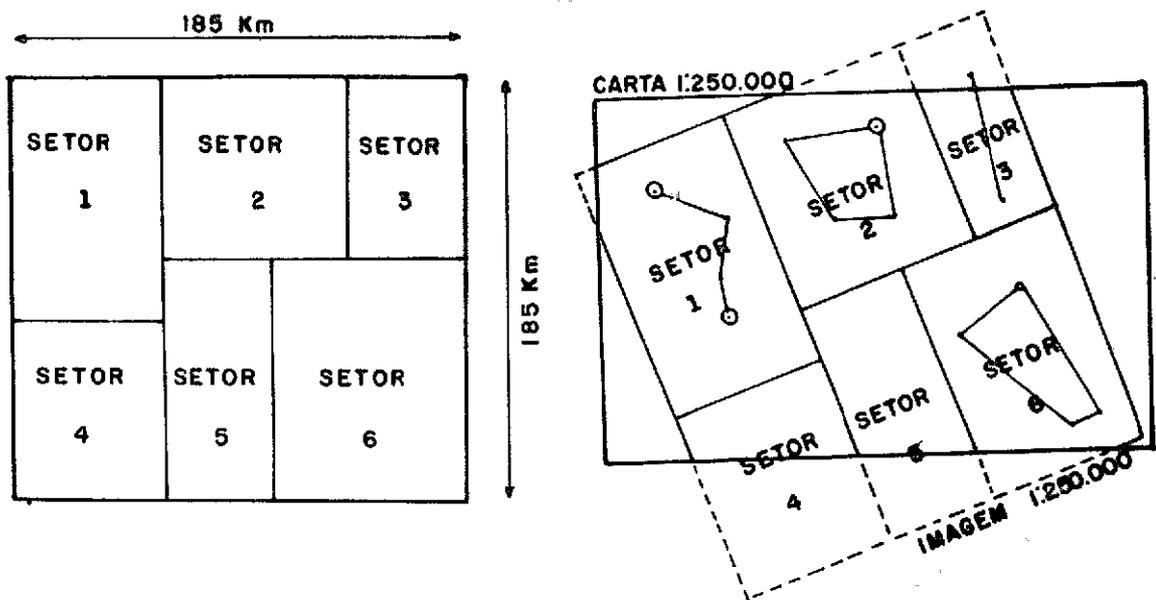


Fig. X.13 - Setorização da imagem.

Este processo sô é vâlido quando se trata de atualizaçãõ de cartas; entretanto, ele atende perfeitamente ao mapeamento temático.

10.5.5 - LIMITAÇÕES PARA USO CARTOGRÁFICO

As imagens MSS-LANDSAT possuem duas limitações cartográficas bem definidas, responsáveis pela sua não utilização no mapeamento topográfico regular, diretamente como elemento Folha. Estas limitações são as seguintes:

- 1) o formato das imagens não é compatível com a articulação das folhas topográficas na escala 1:250.000; e

2) há falta de informação quantitativa sobre o relevo.

Entretanto, em regiões onde o mapeamento topográfico regular não foi iniciado ou concluído, pode-se utilizar as imagens para o mapeamento preliminar.

Ao pensar em "outros produtos cartográficos", as limitações serão definidas pela escala e precisão do sistema, a serem ditadas pelo objetivo final do documento (Tabela X.3).

TABELA X.3

LIMITAÇÕES DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

PRODUTOS CARTOGRÁFICOS	ESCALA	PRECISÃO	RESOLUÇÃO
Mapas planimétricos	$E \leq 1:250.000$	125 m	(70 x 50) m
Mapas Temáticos	-	variável	(70 x 50) m
Aplicação à Engenharia Civil	$E \leq 1:250.000$	anteprojeto	(70 x 50) m

Por exemplo, num projeto de rodovias, o reconhecimento tem por objetivo levantar informações necessárias ao anteprojeto, que determinará a viabilidade de implantação. Algumas das informações que deverão ser obtidas são as seguintes:

- descrição do terreno: hidrografia, orografia, vegetação, etc.;
- riquezas naturais do solo;
- clima e salubridade (sō em macro-regiões);
- uso do solo;
- traçado provável;
- levantamento de propriedades;

que deverão ser analisadas com outros dados, tais como:

- população beneficiada;
- comércio e indústria;
- custos.

Observa-se que em certas regiões as informações cartográficas existentes são desatualizadas. Neste caso, o uso de imagens MSS atenderá à atualização do documento existente, ou criará um documento preliminar que atenderá às informações necessárias. A imagem MSS poderá, também, servir para o acompanhamento do cronograma físico das frentes de penetração.

A base planimétrica, obtida com imagens MSS, terá utilização nas seguintes áreas, para atender aos seguintes objetivos:

<u>Áreas de atuação</u>	<u>Objetivo</u>
1 - Mapeamento topográfico regular não existente	- construir cartas preliminares
2 - Mapeamento topográfico regular existente	- atualizar o documento já existente
3 - Levantamento de recursos naturais	- confeccionar cartas ou mapas temáticos
4 - Cartas topográficas até a escala de 1:250.000 não regulares	- executar anteprojeto
5 - Cartas aeronáuticas até a escala de 1:250.000	- atualizar cartas aeronáuticas
6 - Cartas aeronáuticas não existentes	- construir cartas preliminares.

10.6 - METODOLOGIA PARA CONFECÇÃO DE MAPAS, UTILIZANDO IMAGENS MSS DO LANDSAT

A metodologia que se propõe é a da transformação da imagem MSS para a projeção UTM das Folhas RADAM.

10.6.1 - APOIO

As imagens devem possuir pontos distribuídos homogeneamente sobre ela, de forma que eles participem, também, das imagens laterais e longitudinais vizinhas (Figura X.14).

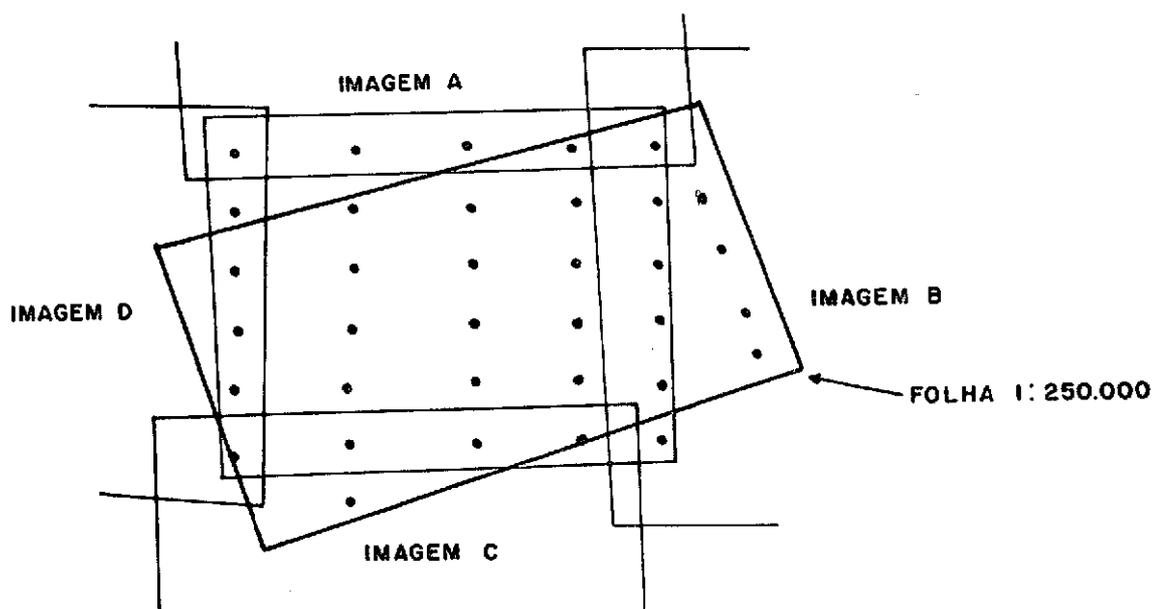


Fig. X.14 - Distribuição do apoio para o processamento da imagem base

As dificuldades encontradas no apoio são as seguintes:

- imagens com cobertura parcial de nuvens;
- cobertura vegetal;
- abundância de pontos;
- época de aquisição das imagens.

10.6.2 - ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

Por exemplo, com o objetivo de manter a cobertura total do Estado do Amazonas na escala 1:250.000, deve-se adotar uma unidade cartográfica, pois o mapeamento nessa escala será exageradamente

grande para existir em uma única folha. Assim sendo, é necessário criar articulações entre essas unidades, de tal forma que uma rápida identificação do documento pretendido possa ser realizada.

Ao adotar a imagem como unidade (folha), pode-se utilizar o número da órbita e do ponto, que identificarão as posições de cada imagem (folha) no conjunto, referidos ao centro da folha e não ao canto superior direito (Figura X.15).

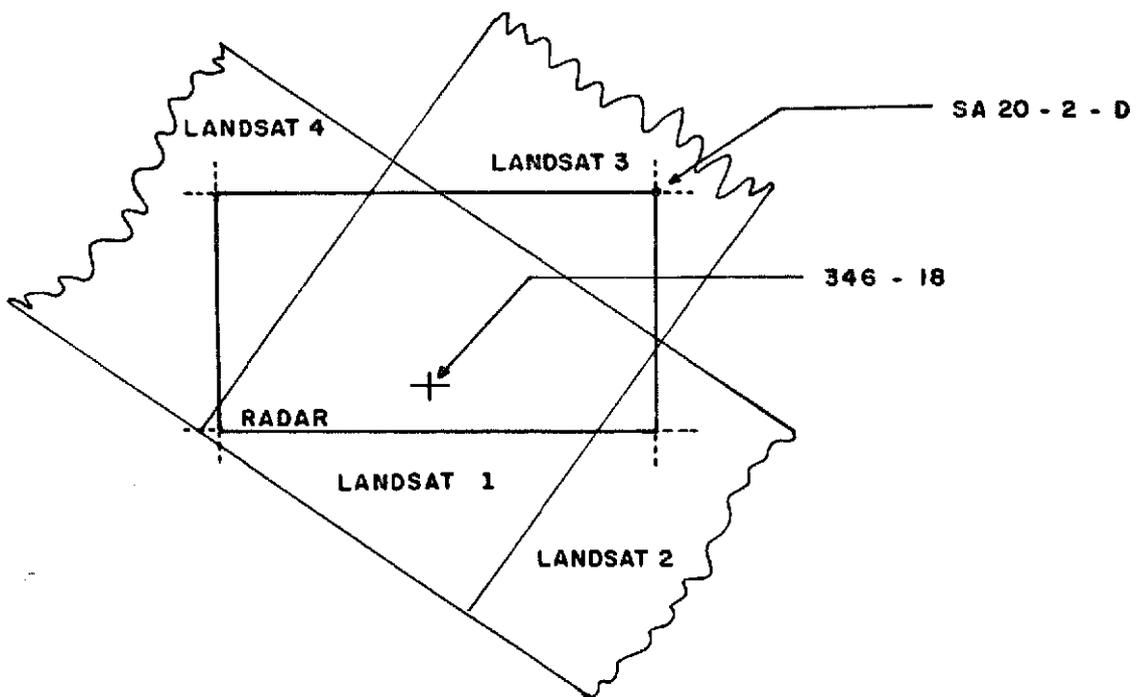


Fig. X.15 - Articulação das folhas.

Ao adotar a mesma articulação que serve de base para as folhas na escala de 1:250.000, será necessária a confecção de mosaicos com as imagens, a fim de assegurar o formato ($1^{\circ} \times 1^{\circ}30'$).

Como foi visto anteriormente, o número de imagens é bem menor que o número de folhas na escala 1:250.000, trazendo considerável

vel economia ao adotar a própria folha como unidade, e a órbita e o número do ponto como índice de articulação.

10.6.3 - SELEÇÃO DOS ACIDENTES

O documento cartográfico na escala 1:250.000, obtido a través das imagens MSS, conterá as mesmas informações que as obtidas nas folhas 1:250.000 do mapeamento topográfico sistemático, com a exclusão da altimetria que não poderá ser determinada. Assim sendo, pode-se adotar as convenções cartográficas previstas no Manual Técnico do Exército, T34-700, 2ª parte (Ministério do Exército, 1976).

10.6.4 - NOME DA FOLHA

As folhas do mapa na escala 1:250.000 deverão receber nomes que corresponderão ao da localidade ou acidente geográfico mais importante, e de preferência localizado na região central da folha (imagem).

10.6.5 - CLASSIFICAÇÃO FINAL DO DOCUMENTO

O documento final será classificado como "carta preliminar", pois suas características técnicas não são compatíveis com as especificações técnicas adotadas para as cartas topográficas regulares. Além disto, abrangerá somente informações planimétricas e poderá ser definido como "Base Planimétrica Preliminar".

10.6.6 - APRESENTAÇÃO

O produto final poderá receber o mesmo tratamento gráfico que é dado às fotocartas. Na imagem sobre a qual se traça a quadriculagem e moldura, e se lança a nomenclatura, serão iluminados os acidentes que necessitem de realce.

10.6.7 - FLUXOGRAMA DAS OPERAÇÕES

A Figura X.16 apresenta o fluxograma das operações.

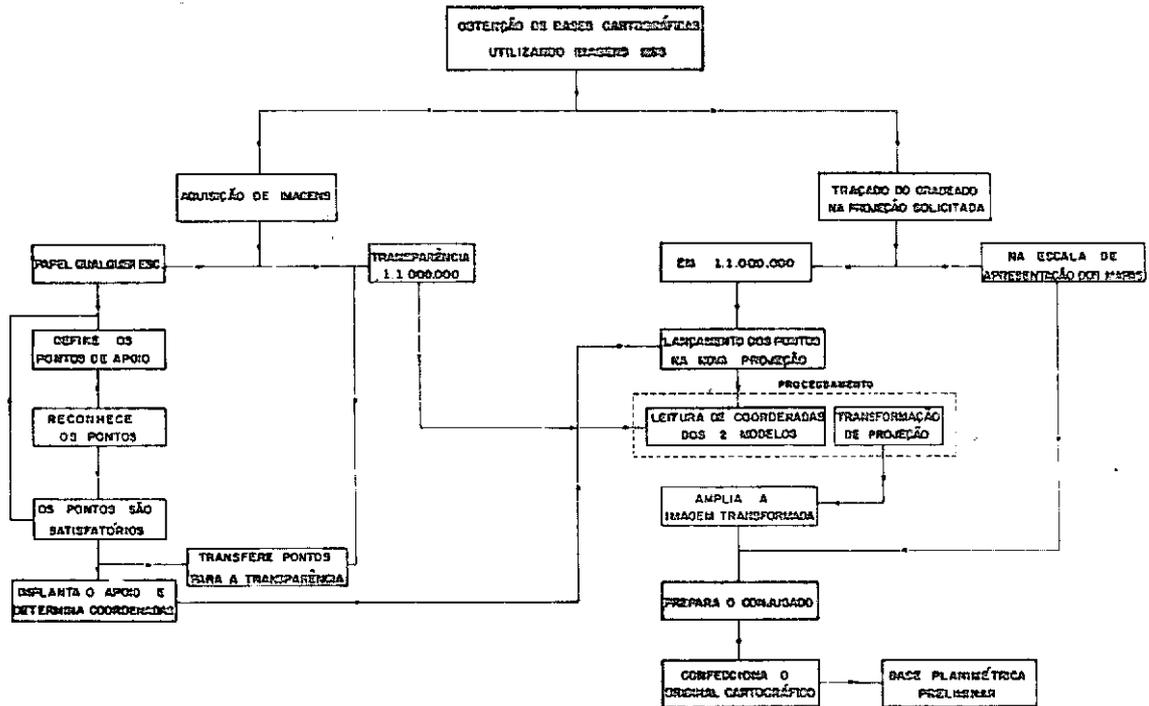


Fig. X.16 - Fluxograma das operações.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. ESTADO MAIOR DO EXÉRCITO. *Convenções cartográficas; catálogo de símbolos*. sl, 1976. Parte 2 (Manual Técnico T34-700)

COLVOCORESSES, A.P. Space oblique mercator. *Fotogrametric Engineering and Remote Sensing* 40(7):921-935, 1974.