



PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS

AUTORES / AUTHORS: CARTOGRAFIA DIGITAL, IMAGEM DE SATÉLITE, CARTA TEMÁTICA, PROCESSAMENTO DIGITAL, SISTEMA GRÁFICO

AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY: Marco Antônio Raupp, Diretor Geral

AUTOR RESPONSÁVEL / RESPONSIBLE AUTHOR: Carlos Alberto G. Araújo

DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION: INTERNA / INTERNAL, EXTERNA / EXTERNAL, RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY: Nelson D.A. Mascarenhas

CDU/UDC: 528.711.7:621.376.5

DATA / DATE: Dezembro, 1987

PUBLICAÇÃO Nº / PUBLICATION NO: INPE-4460-TDL/317

TÍTULO/TITLE: UMA APLICAÇÃO DA CARTOGRAFIA DIGITAL NA ATUALIZAÇÃO TEMÁTICA DE CARTAS DE MÉDIA E PEQUENA ESCALA UTILIZANDO DADOS ORBITAIS

AUTORES/AUTHORSHIP: Carlos Alberto Gonçalves de Araújo

ORIGEM / ORIGIN: PG/DPA

PROJETO / PROJECT: FRH/SER

Nº DE PAG. / NO OF PAGES: 151

ÚLTIMA PAG. / LAST PAGE: H.2

VERSÃO / VERSION:

Nº DE MAPAS / NO OF MAPS:

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Este trabalho propõe-se a gerar dados temáticos a partir de imagens de satélites de recursos naturais, utilizando métodos da cartografia digital e do processamento digital em imagens de sensoriamento remoto. Os polígonos do documento delimitam as diversas classes de imagem, informação que pode ser utilizada em trabalhos de atualização de cartas temáticas. Com a imagem, está armazenada numa estrutura de dados tipo "raster", fez-se necessária a sua transformação para um sistema vetorial, a fim de possibilitar a utilização de uma mesa traçadora vetorial. O método proposto gera um arquivo que serve para a atualização de qualquer tipo de carta de média e pequena escala, a partir de imagens Landsat, tendo em vista os padrões de precisão cartográfica.

OBSERVAÇÕES/REMARKS: Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em Março de 1987.

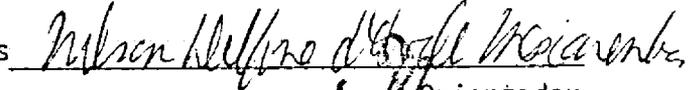
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção de Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Roberto Pereira da Cunha



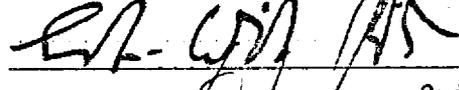
Presidente

Dr. Nelson Delfino d'Ávila Mascarenhas



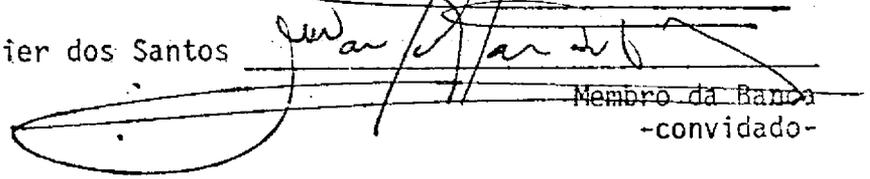
Orientador

Dr. Ing. Ernst Ulrich Fisher



Orientador

Dr. Márcio Lourival Xavier dos Santos



Membro da Banca
-convidado-

Candidato: Carlos Alberto Gonçalves de Araújo

São José dos Campos, 16 de março de 1987

Dedico à minha mãe
Therezinha Gonçalves de Araujo e às
filhas
Carla Araujo e Luana Araujo.

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta dissertação, gostaria de externar os meus agradecimentos às pessoas e organizações, que, pela orientação e ajuda espontânea no decorrer das várias fases deste trabalho, prestaram uma valorosa contribuição para a sua conclusão.

Ao Dr. Nelson Delfino D'Ávila Mascarenhas, orientador desta dissertação, pelo incentivo, sugestões e esclarecimentos, que foram de grande utilidade a conclusão deste trabalho.

Ao Dr. Ing. Ernest Ulrich Fischer, co-orientador e autor intelectual do tema desta dissertação, pela atenção com que se dedicou às discussões dos problemas defrontados no transcorrer deste trabalho.

Ao pesquisador Guaraci José Erthal, responsável pelo esclarecimento de grande parte das dúvidas surgidas no curso deste trabalho.

À equipe de suporte do sistema I-100 do L.T.I.D., do INPE, em especial ao Analista de Sistemas José Carlos Moreira, à programadora estagiária Tânia Mara de Aquino e ao operador Egídio Arai, pela prestimosa contribuição nas fases de desenvolvimento, teste e utilização dos programas desenvolvidos.

Aos Técnicos em Cartografia do ICA, Octávio Ribeiro Barreiros, Paulo Roberto Torres Braga e Fernando José Sampaio Guimarães, pela valorosa colaboração nas fases de desenho, gravação e prova à cores do produto final.

Ao Instituto de Cartografia Aeronáutica - ICA pela confiança na minha indicação para realizar o referido curso e pelo apoio prestado no transcorrer do mesmo.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, pelos conhecimentos fornecidos e todo apoio prestado, fundamentais para a conclusão do trabalho.

Ao IBGE e DSG, pela utilização de seus Laboratórios para a execução da prova à cores.

E a todos os colegas que, direta ou indiretamente, mesmo no anonimato, tiveram uma parcela importante para que o objetivo final fosse alcançado.

A todos o meu muito obrigado.

ABSTRACT

The research includes a methodology for generation of polygonal maps from Landsat data using computer graphics techniques. The polygonal maps are to represent different classes which can be used to update thematic maps. For this purpose digital data processing procedures are applied with remote sensing data (images). Also considered is the transformation of digital data format from raster to vector approach. This permits the utilization of vectorial working displays and plotters. The proposed methodology provides a data file which can be used for actualization of any type of thematic maps, middle and small scale, with Landsat data as source. This methodology considers the basic cartographic precision rules.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xvii
<u>CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS</u>	1
1.1 - Introdução	1
1.2 - Objetivo da Pesquisa	3
1.3 - Processamento de Dados Digitais para Aplicações Carto_ gráficas	3
1.4 - Importância da Pesquisa	5
1.4.1 - Importância para fins Cartográficos	5
<u>CAPÍTULO 2 - A ÁREA DE TRABALHO</u>	7
2.1 - Localização da Área de Pesquisa	7
2.2 - Justificativa sobre a Escolha da Área	8
<u>CAPÍTULO 3 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS</u>	9
3.1 - Caracterização de uma Imagem Digital	9
3.1.1 - Representação Vetorial	9
3.1.2 - Representação "Raster"	10
3.2 - Processamento Digital de Imagens	10
3.2.1 - Segmentação	11
3.2.2 - Geometria de uma Imagem Binária	12
3.2.2.1 - Operações com Imagens	13
3.2.2.2 - Vizinhança	13
3.2.2.3 - Rotulação	15
3.2.2.4 - Tamanho e Distância	16
3.2.3 - Correção Geométrica	17
3.2.3.1 - Pontos de Controle	18
3.2.3.2 - Métodos de Correção Geométrica	18
3.2.4 - Classificação de Imagens	19
3.2.4.1 - Classificação Supervisionada	20
3.2.4.2 - Classificação Não-supervisionada	23
3.2.4.3 - Seleção de Atributos	24

	<u>Pág.</u>
3.2.5 - Detecção de Bordas	26
3.3 - Estruturas Topológicas	27
3.4 - Compressão de Dados	31
3.5 - Redução de Pontos	31
<u>CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS</u>	33
4.1 - Materiais Utilizados	33
4.1.1 - Carta Aeronáutica de Pilotagem	33
4.1.1.1 - Importância da Atualização Temática na CAP	35
4.1.2 - Imagens LANDSAT oriundas do Sensor TM	37
4.1.3 - Produto Temático Alfanumérico	37
4.1.4 - Sistemas Computacionais	40
4.1.4.1 - Sistema de Tratamento de Imagens	40
4.1.4.2 - Mesa de Digitalização	42
4.1.4.3 - Sistema Gráfico Calcomp 1051 do INPE	42
4.2 - Metodologia Empregada	43
4.2.1 - Diagrama de Fluxo Geral do Sistema	43
4.2.2 - Registro da Imagem TM com a CAP	45
4.2.3 - Classificação de Imagem utilizando Processo Super- visionado	54
4.2.4 - Homogeneização da Imagem	70
4.2.5 - Extração de Áreas	72
4.2.6 - Extração de Bordas	72
4.2.7 - Transformação de Dados "Raster" em Estrutura Veto- rial	77
4.2.7.1 - Técnica de "Chain code"	77
4.2.7.2 - Estrutura para Armazenamento de Pontos	78
4.2.7.3 - Estrutura de Arquivo para o Armazenamento das Li- nhas	79
4.2.7.4 - Descrição do Algoritmo "Raster-to-vector".....	80
4.2.8 - Recuperação dos Dados em um Sistema de Computação Gráfica	83
4.2.9 - Confecção do Mapa Poligonal	89
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	91
5.1 - Conclusões	91

	<u>Pág.</u>
5.1.1 - Pré-processamento	91
5.1.2 - Geração dos Dados	96
5.1.3 - Recuperação dos Dados	96
5.2 - Recomendações finais	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
APÊNDICE A - ALGORITMO DE EXTRAÇÃO DE BORDAS 1	
APÊNDICE B - ALGORITMO DE EXTRAÇÃO DE BORDAS 2	
APÊNDICE C - ALGORITMO DE TRANSFORMAÇÃO "RASTER-TO-VECTOR"	
APÊNDICE D - DADOS DO SENSOR TM	
APÊNDICE E - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CALCOMP 1051	
APÊNDICE F - CARACTERÍSTICAS DAS FITAS CCT	
APÊNDICE G - IMPRESSORA GRÁFICA GRAFIX	
APÊNDICE H - CONFECÇÃO DO ORIGINAL CARTOGRÁFICO	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Composição Colorida da Área de Estudo	7
3.1 - Representação Vetorial	10
3.2 - Representação "Raster"	10
3.3 - Representação do Tipo Árvore de uma Estrutura Topológica ...	30
4.1 - Carta Aeronáutica de Pilotagem (Área de Estudo)	36
4.2 - Imagem Classificada (Impressora Gráfica)	39
4.3 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Imagens	42
4.4 - Diagrama de Fluxo Geral do Sistema	44
4.5 - Imagem LANDSAT TM - Banda 5	49
4.6 - Imagem TM corrigida - Banda 5 Polinômio de Grau 1	49
4.7 - Imagem TM corrigida - Banda 5 Polinômio de Grau 2	50
4.8 - Imagem TM corrigida - Banda 5 Polinômio de Grau 3	50
4.9 - Imagem TM corrigida - Banda 5 Polinômio de Grau 4	51
4.10 - Imagem TM corrigida - Banda 5 Polinômio de Grau 5	51
4.11 - Distribuição dos GCP's após a Aplicação da Transformação de Similaridade	52
4.12 - Distribuição dos GCP's após a Aplicação do Polinômio de Grau 1	53
4.13 - Banda 3 do Sensor TM	60
4.14 - Banda 4 do Sensor TM	60
4.15 - Banda 5 do Sensor TM	61
4.16 - Banda 7 do Sensor TM	61
4.17 - Média 3x3 da Banda 3 do TM	62
4.18 - Média 3x3 da Banda 4 do TM	62
4.19 - Média 3x3 da Banda 5 do TM	63
4.20 - Média 3x3 da Banda 7 do TM	63

	<u>Pág.</u>
4.21 - Variação Suavizada da Banda 3 do TM	64
4.22 - Variação Suavizada da Banda 4 do TM	64
4.23 - Variação Suavizada da Banda 5 do TM	65
4.24 - Variação Suavizada da Banda 7 do TM	65
4.25 - Gráfico contendo nível de cinza médio das Classificações utilizadas	66
4.26 - Resultado da Classificação Espectral	69
4.27 - Resultado da Classificação Espacial	69
4.28 - Classificação Espectral com Homogeneização	71
4.29 - Classificação Espacial com Homogeneização	71
4.30 - Imagem de Bordas - Processo 1	75
4.31 - Imagem de Bordas - Processo 2	75
4.32 - Imagem Classificada com limite das Classes Processo 2	76
4.33 - Representação do Armazenamento dos Pontos	79
4.34 - Imagem de Bordas (Interpretação Visual)	85
4.35 - Imagem de Bordas - Representação "Raster" Impressora Gráfica	86
4.36 - Imagem de Bordas - Representação Vetorial	87
4.37 - Imagem de Bordas - Representação Vetorial com Redução de Pontos	88
4.38 - Mapa Poligonal	90

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Janela 3x3 com Vizinhança 4	14
4.1 - Tabela com Análise da Qualidade Geométrica utilizando um <u>Ma</u> peamento Polinomial	48
4.2 - Temas utilizados na Classificação	55
4.3 - Filtro 3x3 médio (passa-baixa)	56
4.4 - Filtro 5x5 médio (passa-baixa)	57
4.5 - Bandas utilizadas na Seleção de Atributos para Classificação Espacial	59
4.6 - Estatísticas das Classificações	68
4.7 - Janela 2x2 utilizada no Processo de Extração de Bordas	73
4.8 - Janela 3x3 utilizada no Processo de "Chain code"	78

LISTA DE SÍMBOLOS

TM	- Thematic Mapper.
INPE	- Instituto de Pesquisas Espaciais.
DEPV	- Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo.
CAP	- Carta Aeronáutica de Pilotagem.
PIXEL	- Elemento da Imagem.
UTM	- Projeção Universal Transversa de Mercator.
SOM	- Projeção Espacial Oblíqua de Mercator.
GCP	- Pontos de Controle do Terreno.
SAD-69	- Datum da América do Sul - 1969.
CCT	- Fita compatível com o computador.
CCD	- Dispositivo de cargas acopladas.
CPU	- Unidade Central de Processamento.
IFOV	- Campo Visual Instantâneo.
BIL	- Bandas intervaladas.
BSQ	- Bandas sequenciais.
$p(x/w_i)$	- Função densidade condicional do vetor aleatório X.
MSS	- Imageador Multiespectral.
LAT	- Latitude.
LONG	- Longitude.
S	- Sul.
W	- Oeste.
μ	- Micrometro.
Chain Code	- Código de Cadeia.
L.T.I.D.	- Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais.
SGI	- Sistema Geográfico de Informações.
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
RMS	- Erro médio quadrático.
I-100	- Analisador de Imagens Multiespectral Imagem - 100.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, existe um crescimento muito grande no aproveitamento de dados obtidos de imagens geradas por sistemas de satélites de observação da Terra, como, por exemplo, os da série Landsat. Estas imagens são coletadas e processadas com a finalidade de dar apoio a atividades, tais como: mapas de cobertura da terra, previsão de safras, mapeamento geológico, monitoramento de crescimento urbano, enfim, às diversas aplicações direcionais às áreas de recursos naturais.

Como estes dados são obtidos através de sensores que utilizam "scanners" multiespectrais do tipo varredura mecânica, como é o caso do Landsat, ou mais modernamente os que utilizam "arrays" de detectores e fazem varreduras eletrônica para obterem as informações, e chamados de CCD (CHARGE COUPLED DEVICE), como é o caso do Spot, estes são armazenados em um formato "raster".

Este formato é bastante propício para manipulação em sistemas computacionais de tratamento de imagens, onde processos como o de classificação de uma imagem digital, por exemplo, resultam numa imagem com áreas homogêneas que definem uma determinada classe ou zona em unidades (pixel) bem definidas e com valores próximos. Estes processos só podem ser aplicados se esta imagem estiver armazenada em uma estrutura "raster", onde uma determinada posição (x,y) representa a posição do pixel dentro da imagem.

Porém, mapas poligonais são obtidos através de periféricos que normalmente processam apenas dados armazenados na forma vetorial. Neste tipo de representação, as classes são representadas pelas suas fronteiras, isto é, através de uma lista de pontos (pares x,y) que delimitam o contorno da classe. Neste contexto, surge a necessidade de

converterem-se os dados da forma "raster" para a vetorial, para que se possa obter um produto gráfico através de uma mesa traçadora, embora existam equipamentos gráficos operando com dados na forma "raster" (stip masque).

Dentre as desvantagens existentes no tratamento de dados de sensoriamento remoto, obtidos no formato "raster", temos principalmente a incompatibilidade com a maioria dos sistemas geográficos de informações (SGI), pois, no seu surgimento, houve uma tendência quanto à utilização de uma representação vetorial, assim como na geração de mapas poligonais, utilizados para atualização cartográfica, todos normalmente baseados em uma representação vetorial. Com o advento dos satélites de sensoriamento remoto e de periféricos "raster" esta situação está se modificando.

A conversão de dados na forma vetorial para uma representação "raster" (Peuquet, 1981) é conhecida desde os primórdios da "computer graphics". Porém, a conversão da forma "raster" (pixel) para uma representação vetorial (linhas poligonais) não é muito comum, sendo ativada exatamente com o advento da aplicação de dados geográficos obtidos, principalmente, de sistemas orbitais da série Landsat e da digitalização automática.

Quando se trabalha com processamento digital de imagens, uma das maiores preocupações é quanto à forma de armazenamento da informação, que é de suma importância devido ao grande volume de dados que constituem as imagens. O processamento tem de estar sempre direcionado para a maneira mais otimizada possível, para poder manipular-se, rapidamente, a informação e ser reduzido ao máximo o espaço de memória necessário para o armazenamento dos dados. Desta forma, faz-se necessária a escolha de uma estrutura versátil de arquivos que possibilite um acesso rápido à informação e, também, que possa ser esta informação comprimida ao máximo, desde que seja mantida a sua autenticidade.

1.2 - OBJETIVO DA PESQUISA

Esta dissertação propõe-se a desenvolver metodologia de geração de um documento ("overlay"), a partir de imagens de satélites e com precisão cartográfica, através de um dispositivo de saída gráfica, que possibilite uma atualização da cobertura da Terra ou mapeamento temático para cartas em escalas médias ou pequenas (menores que 1:100.000).

A origem deste sistema é uma imagem de satélite no formato "raster", na qual, após a aplicação de técnicas de processamento digital de imagens, este documento seria binarizado, isto é, com apenas informação de bordas e interior.

Na fase seguinte, seria aplicado um algoritmo que transforma a imagem binária numa estrutura vetorial, para que haja uma compatibilidade com a mesa traçadora ("plotter"), responsável pela geração do documento contendo os limites das classes de interesse para a atualização.

1.3 - PROCESSAMENTO DE DADOS DIGITAIS PARA APLICAÇÕES CARTOGRÁFICAS

Nos últimos 15 anos, no campo da cartografia, tem havido um rápido crescimento no uso de sistemas computacionais, com a finalidade de dar suporte aos trabalhos de mapeamento cartográfico, outrora executado e totalmente dependente da habilidade do elemento humano.

Dentre os propósitos do processamento de imagens digitais obtidas por sensoriamento remoto, deve-se ressaltar o de distinguir áreas ou regiões e gerar informações de bordas ou de interior de cada região, podendo inclusive torná-la uma imagem binária, onde as bordas de cada região assumiriam o valor de nível 0 (preto) e o interior o nível 255 (branco), por hipótese.

Os mapas poligonais e os diversos tipos de imagens em geral podem ser registrados digitalmente para manipulação cartográfica,

visando facilitar sua reprodução em diferentes escalas e projeções e permitir a compilação de mapas com outras bases de dados geográficos. Normalmente, as linhas são aproximadas por segmento de reta, e o ponto final, que, em geral, corresponde a um nó, é registrado por um par de coordenadas, geralmente cartesianas. As conversões de dados gráficos para computadores digitais são normalmente executadas através de mesas digitalizadoras e, mais recentemente, através de "scanners". Note-se que um digitalizador vetorial converte a localização dos pontos em coordenadas x e y, armazenadas digitalmente em memória secundária. Os "scanners" (digitalizadores matriciais), que também transformam uma função analógica numa equivalente discretizada para fins de tratamento computacional, utilizam uma forma "raster" para o armazenamento de informação.

No Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), está sendo desenvolvido um Sistema Geográfico de Informações (Erthal et alii, 1985), que permite a integração de imagens de satélites, mapas temáticos e topográficos e dados tabulares. Suas aplicações incluem a análise de problemas geo-ambientais complexos. Este sistema utiliza uma organização por varredura para a manipulação dos dados, pela compatibilidade na utilização direta dos dados de sensoriamento remoto, como as imagens de satélites, e pela facilidade no desenvolvimento dos algoritmos de manipulação. A incorporação de mapas topográficos, portanto, tem que ser executada através de operações de digitalização, onde se torna necessária uma transformação dos dados de organização vetorial para "raster". Porém, para a recuperação destes dados, através de uma traçadora vetorial, o problema torna-se inverso, isto é, transformação de varredura para vetorial. Desta forma, este sistema utiliza os 2 (dois) processos de transformação, sendo que para a entrada de determinadas fontes de informação faz-se necessária a transformação vetorial para varredura e, para determinadas saídas gráficas, a transformação inversa.

A digitalização vetorial é uma tarefa extremamente demorada, dependendo essencialmente da qualidade e experiência do operador que subjetivamente seleciona pontos os quais aproximam melhor a linha do grau desejado. Esta atividade, porém, é imprescindível para traba

lhos como: delimitação de municípios, demarcação de áreas, atualização de classes, enfim para diversos trabalhos direcionados a problemas de uso da terra. Desta forma, propomos a execução de uma digitalização automática, pois os dados seriam gerados por sistemas computacionais gráficos, e, assim, possíveis erros inerentes à participação do elemento humano seriam amenizados.

1.4 - IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

1.4.1 - IMPORTÂNCIA PARA FINS CARTOGRÁFICOS

A utilização de dados de sensoriamento remoto para aplicação em cartografia torna-se deficitária à medida que raciocinamos que os resultados dos programas de tratamento automático pela maioria dos sistemas interativos de análise de imagens multiespectrais são apresentados no vídeo de um monitor, e podem ser registrados, normalmente, por:

- a) fotografias em máquinas fotográficas comuns;
- b) gravador de imagens, que fornecem fotografias polaróides ou filmes negativos ou diapositivos;
- c) impressão de um documento alfanumérico preliminar pela impressora de linhas; e
- d) mais modernamente, os "raster plotters", porém são de difícil obtenção, devido seu elevado custo.

Pelo visto, torna-se necessário um produto em que haja fidelidade geométrica a nível cartográfico, e que seja acessível aos usuários. Em consequência, a recuperação destes dados através de um dispositivo de saída gráfica do tipo plotter, gerando um original cartográfico, seria uma solução muito boa, pois possibilitaria uma atualização temática que serviria para diversos documentos cartográficos.

Este processo torna-se importante, porque substituiria os trabalhos de digitalização de áreas, que, certamente, além de ser mais cansativo, depende unicamente da experiência do foto-intérprete.

CAPÍTULO 2

A ÁREA DE TRABALHO

2.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

A área de trabalho encontra-se no estado de Goiás, mais precisamente próximo à localidade de Formosa, sendo enquadrada pelas coordenadas geográficas abaixo especificadas:

LAT = 15 25° / 15 41' 30" S

LONG = 47 27° / 47 10' 30" W

A mesma pode ser observada na figura abaixo, representada por uma composição colorida obtida no vídeo do Image-100.

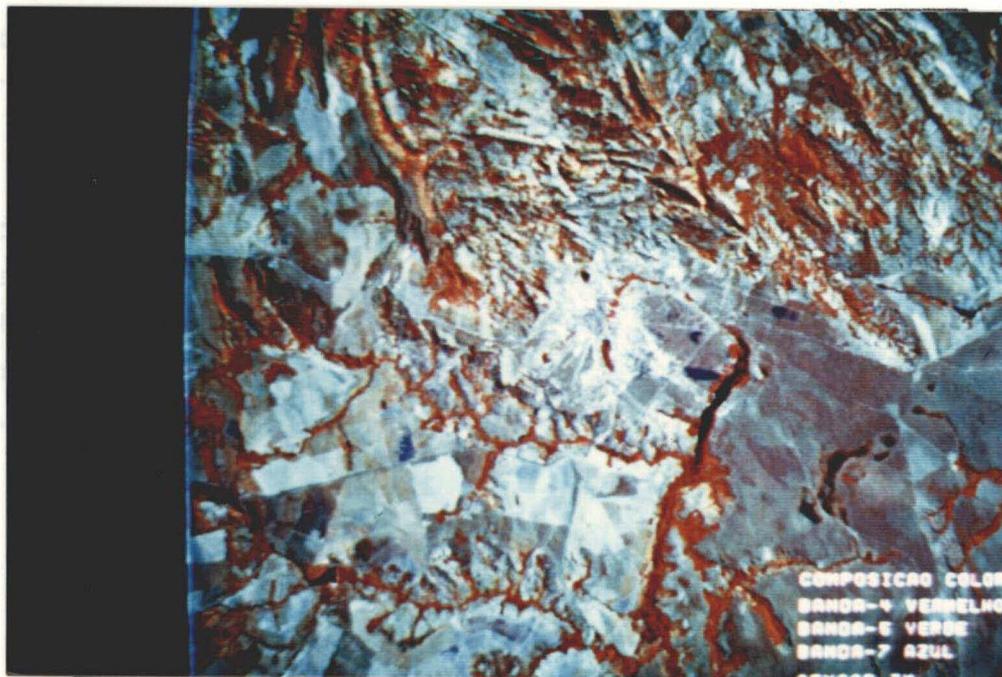


Fig. 2.1 - Área da pesquisa (Região de Formosa)

2.2 - JUSTIFICATIVA SOBRE A ESCOLHA DA ÁREA

A escolha da área em estudo deveu-se principalmente ao conjunto de 3 (três) fatores que se destacam, dentre outros motivos. São eles:

- a) apresentação de várias classes distintas, principalmente hidrografia, área urbana e vegetação, que são classes de extrema importância no contexto de uma CAP;
- b) existência de Carta Aeronáutica de Pilotagem da região;
- c) e, principalmente, a existência de trabalho de extração de bordas para atualização cartográfica (Andrade, 1985), através de interpretação visual da área em estudo.

Para o trabalho em apreço, o local exato da área de pesquisa não seria fator primordial desde que satisfizesse às condições citadas.

Todos os itens estão relacionados aos testes de eficácia do sistema proposto, sendo que a subimagem em estudo apresenta diversos tipos de classe, como zona urbana, vegetação, terreno acidentado, plantações, além de possibilitar um futuro estudo comparativo com a carta da região e com o trabalho executado através de interpretação visual.

CAPÍTULO 3

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DE UMA IMAGEM DIGITAL

Uma imagem digital pode ser definida como sendo uma função bidimensional de intensidade luminosa e representada por uma matriz $f(x,y)$ onde x e y são as coordenadas espaciais da função e o valor de f em qualquer ponto (x,y) , é proporcional ao brilho ou nível de cinza da imagem naquele ponto, sendo que estas grandezas só assumem valores inteiros. Os elementos desta matriz são chamados de elementos da imagem ou "pixel".

Embora o tamanho desta matriz possa variar segundo a sua aplicação, geralmente ela possui 512 linhas por 512 colunas, podendo cada elemento assumir até 526 níveis de cinza. Sendo assim, uma imagem digital I consiste de k bandas espectrais, podendo, então, ser representada como k tabelas de $M \times N$ elementos. Como cada elemento necessita de 1 byte, então MNK bytes seria o total de memória necessária para o armazenamento de uma imagem digital.

3.1.1 - REPRESENTAÇÃO VETORIAL

Numa representação vetorial, as posições dos pontos são representados por 1 par de vetores $X(I)$, $Y(I)$, tendo como referência um sistema de coordenadas retangulares onde X representa a posição referente ao eixo das abcissas, Y referente ao eixo das ordenadas e I o número de elementos dos "arrays". Por exemplo, a linha 1-2, abaixo, pode ser representada pelos vetores $X(I)$, $Y(I)$. A maioria dos dispositivos de saída gráfica, assim como os digitalizadores vetoriais, utilizam este tipo de representação.

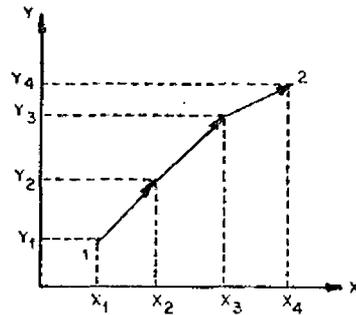
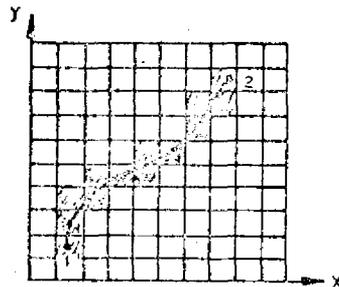


Fig. 3.1 - Representação Vetorial

3.1.2 - REPRESENTAÇÃO "RASTER"

Na representação "raster", a posição dos pontos é representada por 1 conjunto de elementos (x,y,z) , ou seja, é dado um tratamento matricial. Esta representação é utilizada pelos sistemas que tratam com imagens de sensoriamento remoto. A linha topológica 1-2 (uma estrada, por exemplo) abaixo, pode ser representada por uma matriz tridimensional (x,y,z) , onde:



x = posição do pixel;

y = linha na qual o pixel se encontra; e

z = informação espectral

Fig. 3.2 - Representação "Raster"

3.2 - PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Um dos objetivos do processamento de imagens de sensoriamento remoto por computadores digitais é o de amenizar certas aberrações geradas durante o processo de aquisição da informação. A energia radiante emitida pela fonte, após atravessar a atmosfera, irradia a superfície, sendo refletida pela mesma. Parte desta energia atravessa novamente a atmosfera e é coletada pelo sistema sensor, onde é detectada

e registrada. Tendo em vista esta grande distância existente entre a fonte de energia (Sol) e o sistema sensor que registra a informação, é inserida uma série de distorções nos dados, causadas principalmente por:

- . sistema ótico do sensor;
- . sistema eletrônico do sensor;
- . modelamento muito complexo da atmosfera;
- . plataforma orbital;
- . movimento da Terra;
- . movimento do espelho; e
- . órbita do satélite, entre outras anomalias.

O campo de processamento digital de imagens tem sido objeto de muita pesquisa, nos últimos anos. Este fato está diretamente relacionado ao constante aperfeiçoamento dos computadores digitais. Isto tem tornado possível a realização de diversos tipos de operações sobre os dados da imagem.

Pela importância e diversidade de aplicações, pode-se avaliar o impulso dado pelo desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto à área de processamento digital de imagens. De fato, devido à grande quantidade de dados obtidos através desses sensores, tornou-se necessária uma utilização de meios automáticos para processar e analisar esta informação.

3.2.1 - SEGMENTAÇÃO

Entende-se por segmentação de uma imagem a extração ou identificação dos objetos contidos nesta imagem.

Uma imagem resultante de processos de segmentação caracteriza-se pela existência de grandes regiões ligadas com o mesmo valor para os pontos.

A classificação da imagem, ou seja, a atribuição de uma classe a cada ponto da imagem pode ser vista como um método de segmentação. Em função de propriedades do ponto, escolhe-se uma classe para ele. Entre as propriedades que podem ser usadas, estão o nível de cinza e as medidas de propriedades locais - por exemplo, a textura. Para imagens multiespectrais costuma-se usar os níveis de cinza nas várias bandas.

Uma vez representados os pontos da imagem, há duas maneiras de rotular estes pontos:

- a) usando as medidas de um conjunto de protótipos cujas classes são conhecidas (áreas de treinamento), sendo esta forma chamada de classificação supervisionada; e/ou
- b) agrupando, numa mesma classe, pontos com medidas semelhantes. Neste caso temos a classificação não-supervisionada.

Como resultado da segmentação de uma imagem digital I , tem-se um conjunto de regiões $R_1, R_2, R_3 \dots, R_N$. Uma forma de representação seria uma imagem R_I , onde o valor I de cada ponto indica que o ponto pertence a região R_I . Outra forma de representação seria utilizar N imagens binárias IB_1, IB_2, \dots, IB_N , cada uma representando uma classe, sendo que um ponto de IB_i tem valor 1 se o ponto pertence a R_i e tem valor 0 caso contrário. Neste caso, as imagens são conhecidas como imagens binárias e representam os limites das diversas regiões ou classes.

3.2.2 - GEOMETRIA DE UMA IMAGEM BINÁRIA

Nesta seção, somente serão tratadas de imagens que, após serem submetidas a algum processo de segmentação, possuam somente 2 (dois) tipos de informação, ou seja, bordas e interior. Serão apresentados conceitos básicos (Rosenfeld et alii, 1982) e algumas das propriedades geométricas, que se referem à forma e à posição de uma deter

minada região na imagem.

3.2.2.1 - OPERAÇÕES COM IMAGENS

3.2.2.1.1 - CONCEITOS BÁSICOS

Digamos que estamos trabalhando com uma subimagem S . O complemento de S é chamado de $-S$, isto é, o conjunto de todos os pixels que não pertencem a S . Mais genericamente, para um determinado subconjunto T , a diferença entre T e S , é conhecida por $T-S$, e é o conjunto de pixels que pertencem a T mas não pertencem a S .

Seguindo o mesmo raciocínio, temos para qualquer subimagem T e S , a interseção $S \cap T$ é o conjunto de pixels que pertencem a S e T simultaneamente. Similarmente, a união $S \cup T$ é o conjunto de pixels que estão em qualquer uma das subimagens (S ou T) ou em ambas.

3.2.2.1.2 - DILATAÇÃO E EROÇÃO

As operações de dilatação e erosão são bastante usadas para pós-processar imagens obtidas de processo de segmentação.

Encolher uma imagem S consiste em retirar de S uma borda, e sua dilatação consiste na adição à borda de valores pertencentes a $-S$. A operação de erosão se repetida várias vezes, leva ao desaparecimento de S . Seja $S(-k)$ a região obtida encolhendo S de k vezes e seja $S(k)$ o resultado de k dilatações de S , e $S(0)$ por definição o mesmo que S . Deve-se observar que as operações de dilatação e erosão não são comutativas, ou seja, $S(m)(-n)$ não é necessariamente igual a $S(-n)(m)$, nem tampouco igual a $S(m-n)$.

3.2.2.2 - VIZINHANÇA

Suponhamos que temos um dado ponto (x,y) na imagem. Então (x,y) tem 4 vizinhos, sendo 2 horizontais e 2 verticais e identifi

cados por:

Tabela 3.1 - Janela 3x3 com vizinhança 4

	$(x-1,y)$	
$(x,y-1)$	(x,y)	$(x,y+1)$
	$(x+1,y)$	

Estes pontos são chamados de 4 vizinhos de (x,y) por serem adjacentes a (x,y) . Da mesma forma, os 4 vizinhos diagonal de (x,y) são identificados por:

$$(x-1, y-1), (x-1, y+1), (x+1, y-1), (x+1, y+1)$$

Os 4 vizinhos diagonais, os 2 horizontais e os 2 verticais compõem a vizinhança 8 do ponto (x,y) .

Durante o processo de extração de bordas em imagens classificadas, o fato de tratarmos com vizinhança 8 ou 4 resultará em produtos diferentes. Por exemplo, a imagem C é definida por:

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

No caso de vizinhança 8 a borda é definida por:

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	X	X	X	X	0	0
0	0	X	X	X	0	0	X	X	0
0	0	X	0	0	0	0	0	X	0
0	0	X	0	0	0	0	0	X	0
0	0	X	0	0	0	0	X	X	0
0	0	X	0	0	X	X	X	0	0
0	0	X	X	X	X	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sendo X = borda

No caso de vizinhança 4 a borda é definida por:

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	X	X	0	0	0
0	0	0	X	X	0	0	X	0	0
0	0	X	0	0	0	0	0	X	0
0	0	X	0	0	0	0	0	X	0
0	0	X	0	0	0	0	X	0	0
0	0	X	0	0	X	X	0	0	0
0	0	0	X	X	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.2.2.3 - ROTULAÇÃO

Geralmente queremos tratar cada componente de uma dada i magem S como um objeto separado. Em outras palavras, para um determinado componente C, queremos todos os pontos de C que tenham o mesmo va lor.

Observando a imagem S até ser encontrado um elemento de valor 1, então substituímos o seu valor, por exemplo, para um rótulo v. Então, repetidamente, rotulamos os pixels de valor 1 com o valor v, se estes pixels forem vizinhos entre si.

Porém, se for encontrado outro pixel de valor 1 que não pertença aos componentes de S, então, neste caso, será gerado novo rótulo e o processo é repetido novamente.

3.2.2.4 - TAMANHO E DISTÂNCIA

3.2.2.4.1 - ÁREA

A área de uma subimagem S é definida pelo número de pixel de S. Se os pixels de S possuírem valores 1, por exemplo, e os pixels de -S possuírem valor 0, então computamos a área de S pela simples observação da imagem e contando os pixels que tiverem o valor 1.

3.2.2.4.2 - PERÍMETRO

O perímetro de uma região é o comprimento total de sua borda. O comprimento da borda, ou, em geral, de uma curva digital é obtido somando 1 a cada movimento horizontal ou vertical e $2^{*}0.5$ aos movimentos na diagonal.

3.2.2.4.3 - EXTENSÃO

A altura de uma região pode ser definida como a distância entre o ponto mais baixo e o mais alto de uma região na imagem. Analogamente, a distância entre o ponto de S mais à esquerda e o ponto mais à direita é a largura de S. Estas definições podem ser generalizadas com a noção de extensão de uma região numa dada direção, que vem a ser a distância entre os pontos extremos de S. A maior extensão de S em qualquer direção, dá-se o nome de diâmetro.

3.2.2.4.4 - DISTÂNCIA

Dizemos que d é uma função distância se, a partir de pares de pontos, sempre assume valores positivos e se, para todos os pontos p, q e r, temos:

$$1 - d(p,q) = 0 \text{ se e somente se } p = q;$$

$$2 - d(q,p) = d(p,q);$$

$$3 - d(p,r) \leq d(p,q) + d(q,r).$$

3.2.2.4.5 - DISTÂNCIA EUCLIDIANA

A distância euclidiana é definida por:

$$d((i,j), (h,k)) = ((i-h)**2 + (j-k)**2)**0.5$$

Para esta função, os pontos que tenham distância t de (i,j) são somente os pontos contidos em um círculo de raio t e centro em (i,j) . A distância entre os cantos opostos de uma imagem $n \times n$ é $n * (2**0.5)$.

Existem outros conceitos de distância menos utilizados, como a distância de "city block", que é definida por:

$$d((i,j), (h,k)) = \text{Abs}(i-h) + \text{Abs}(j,k).$$

E a distância "chessboard", que é definida por:

$$d((i,j), (h,k)) = \max(\text{abs}(i-h), \text{abs}(j-k))$$

3.2.3 - CORREÇÃO GEOMÉTRICA

As imagens originais apresentam distorções geométricas devido a características do sistema sensor e das variações da plataforma, o que diminui a qualidade da informação. Uma série de aplicações, como na cartografia, confecção de mosaicos, detecção de mudanças de alvos, necessitam de dados com boa precisão, o que leva a uma necessidade de correção geométrica.

3.2.3.1 - PONTOS DE CONTROLE

A principal ferramenta utilizada na correção geométrica são os pontos de controle (GCP's). Define-se ponto de controle como a localização geodésica precisamente conhecida e preferivelmente invariável com o tempo. Normalmente, podem ser locais, tais como aeroportos, cruzamento de estradas, pontes, enfim, locais bem identificáveis no terreno.

3.2.3.2 - MÉTODOS DE CORREÇÃO GEOMÉTRICA

a) Modelo polinomial

A presença de distorções nas imagens de satélites exige a aplicação de uma transformação geométrica apropriada. Um método basante utilizado é através de um mapeamento polinomial. Os coeficientes da transformação podem ser determinados, por exemplo, pelo critério dos mínimos quadrados. Para isto, são identificados em ambas as imagens um conjunto de GCP's bem distribuídos e localizados, a fim de poder construir o modelo polinomial.

O grau da transformação polinomial a ser utilizado depende substancialmente do nível das distorções existentes entre as imagens.

b) Correções Independentes

Neste método, cada fonte de distorção geométrica é analisada separadamente. Utiliza tanto os pontos de controle na imagem como os dados de telemetria obtidos do satélite (dados de imageamento, principalmente do equacionamento do perfil do espelho).

Após as correções independentes referentes a distorções internas e externas, são adquiridos pontos de controle na imagem para minimizar os resíduos resultantes do equacionamento inicial. Para isto, basta um polinômio de grau 2, reduzindo os pontos de controle para um

mínimo de 6 (seis). Dentre as distorções internas, destacam-se a não linearidade do movimento do espelho, variação do tempo útil de varredura, enquanto que as distorções externas podem ocorrer principalmente devido a variações da velocidade, altitude e atitude do satélite, rotação e esfericidade da Terra.

Embora necessite de poucos pontos de controle, este modelo, baseado em equações de colinearidade, tem mostrado grande eficiência e utilidade para regiões onde é grande a dificuldade de se obter pontos de controle.

Este modelo tem apresentado melhores resultados, pois elimina praticamente todas as distorções geométricas da imagem, sejam internas ou externas, baixa ou alta frequência, além de estar inerente ao modelo a interdependência nas diversas distorções.

No Brasil, através da utilização deste modelo fotogramétrico para correção geométrica de imagens LANDSAT-TM, já foi atingida uma precisão de 1.5 pixel (Silva, 1986).

3.2.4 - CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

As técnicas de sensoriamento remoto permitem a avaliação de várias características de objetos físicos, pela análise de medidas tomadas a distância destes objetos. Uma das informações seria, no caso, a sua associação a uma determinada classe. Para tanto, utiliza-se um conjunto de métodos denominado classificação de padrões.

A fonte de energia emite radiação em toda faixa do espectro eletromagnético. Parte desta energia é refletida na superfície terrestre e captada pelo receptor em pequenas faixas do espectro da frequência. Esta informação espectral é digitalizada e armazenada em um computador digital para tratamento da mesma.

As imagens de satélites de recursos naturais também são obtidas através deste mesmo processo, ou seja, em várias bandas do espectro eletromagnético, fornecendo assim um atributo natural para a classificação de um ponto na superfície terrestre através de um vetor de medidas nessas bandas. Outras possíveis medidas consistiriam em medidas de textura e forma de objetos nessas imagens. Os dados são representados por meio de um vetor de medidas num espaço com uma determinada dimensão. Normalmente, é necessário efetuar uma redução de dimensionalidade (seleção de atributos), antes da fase de classificação, com a finalidade de reduzir o esforço computacional.

Esta técnica de extração temática pode ser realizada de duas maneiras:

- a) supervisionada; e
- b) não-supervisionada.

3.2.4.1 - CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Na classificação supervisionada, o método utilizado necessita de uma fase anterior à sua execução, denominada fase de treinamento, na qual o sistema determina, a partir de padrões pré-selecionados (protótipos ou pontos selecionados na imagem), as características das classes a serem usadas como termo de comparação.

Neste método são utilizados algoritmos de classificação do tipo:

a.1 - Determinísticos

Onde se pressupõe que os níveis de cinza de uma imagem possam ser descritos por funções que assumem valores bem definidos, de acordo com a classe, sendo os principais critérios os descritos abaixo:

a.1.1 - "Single-cell"

Neste método, determina-se um intervalo de valores de nível de cinza de uma área de treinamento para cada banda a ser analisada. Este intervalo, definido pelos valores máximos e mínimo dos níveis de cinza, define um certo espaço de atributos e corresponde a um paralelepípedo no caso de um sistema de 3 (três) eixos ortogonais, onde cada eixo pode representar uma banda do sistema LANDSAT. Cada paralelepípedo representa uma determinada classe, onde qualquer ponto que pertencer a esse paralelepípedo é considerado como pertencente a essa classe. Este método de classificação é de execução rápida e implementação simples em termos computacionais, porém apresenta uma série de desvantagens:

- 1 - aproximação grosseira da assinatura espectral;
- 2 - pode haver superposição de classes, dificultando a separação das mesmas;
- 3 - na realidade, as classes não são perfeitamente retangulares, o que leva a erros por excesso.

a.1.2 - "Multi-cell"

Neste método, divide-se o paralelepípedo gerado pelo "single-cell" em celas unitárias. Contam-se o número de vezes que as celas unitárias aparecem dentro do paralelepípedo. A nova classe será aceita se o valor obtido for maior que um limiar pré-estabelecido.

a.2 - Estatísticos

As técnicas estatísticas de reconhecimento de padrões sempre fazem uso das funções densidade de probabilidade associadas às classes. Entretanto, essas funções são usualmente desconhecidas e devem ser estimadas a partir de um conjunto de áreas de treinamento das classes.

Sejam as classes caracterizadas pelas funções densidade de probabilidade condicionais:

$$p(x/w_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

A função $p(x/w_i)$ dá a densidade de probabilidade de ocorrência do padrão x , dado que x é, de fato, da classe w_i . Uma hipótese importante feita nos algoritmos desenvolvidos é a de que $p(x/w_i)$ é uma densidade gaussiana.

Considerando-se essa hipótese, a matriz de covariância e o vetor média são suficientes para caracterizar a distribuição de probabilidade de qualquer classe.

a.2.1 - Critério da máxima verossimilhança

Este algoritmo também assume que todos os "pixels" da amostra a ser classificada pertencem a uma mesma classe.

Para cada classe conhecida, o algoritmo calcula a matriz de covariância e o vetor média, mas para a amostra não é preciso calcular a matriz de covariância nem a média. As hipóteses básicas são:

- 1 - todos os "pixels" da amostra pertencem a uma mesma classe;
- 2 - a probabilidade "a priori" de todas as classes são iguais; e
- 3 - os "pixels" são vetores aleatórios independentes entre si.

Efetivamente, o algoritmo calcula a probabilidade da amostra pertencer a cada uma das classes. Essa amostra é, então, classificada como pertencendo à classe cuja probabilidade "a posteriori" for máxima.

3.2.4.2 - CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA

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

b.1 - Algoritmo K-média

Início k-médias

Escolhe um número k de classes ("clusters")

Escolher um particionamento inicial

Calcular as médias das k classes

- (1) Calcular, para cada ponto z, as distâncias a todas as k médias

Associar z ao cluster de média mais próxima

Se nenhum z tenha mudado de cluster
ou número de interações = máximo

Então

Vá para fim-k-médias

Senão

Calcular novas médias

Vá para (1)

Fim-se

Fim-k-média

Diversas técnicas e métodos de classificação de padrões têm sido desenvolvidos e divulgados (Sabins, 1978; Hall, 1979; Hsu, 1979) sendo que torna-se praticamente necessária a sua execução para qualquer trabalho de mapeamento temático em imagens multiespectrais, pois o tratamento automático dessas imagens certamente é uma ferramenta que não deve ser desprezada, pois o computador tem uma capacidade bem maior de distinguir e separar as várias características e atributos de uma imagem do que o interpretador visual.

3.2.4.3 - SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

Conforme os objetos que se quer classificar, o conjunto de medidas espectrais adquiridas (canais originais) pode não ser o mais conveniente para distinguir as classes de interesse. Uma das formas de extração de atributos espaciais é a da utilização de filtros espaciais, já que o conteúdo de frequência de uma imagem é uma forma de expressão do relacionamento espacial entre "pixel", e os filtros podem ressaltar um ou outro aspecto desse relacionamento, gerando desta maneira outros atributos (canais).

Normalmente, o uso de um grande número de medidas características aumentará a complexidade e o tempo computacional do classificador. Técnicas de seleção de atributos permitem selecionar um número menor de atributos, aumentando, assim, a eficiência das tarefas computacionais, sem prejudicar demasiadamente a precisão. O problema básico de seleção de atributos em classificação de padrões é:

- Dado um conjunto de N canais, achar o melhor subconjunto de k canais a serem usados para classificação, os quais provem um compromisso ótimo entre precisão na classificação e custo computacional.

O critério natural seria resolver este problema computando a probabilidade do erro de classificação associado a cada subconjunto de k canais e, então, selecionar aquele que produz o menor erro.

Contudo, geralmente, não é fácil realizar as operações exigidas, pois a integração numérica necessária para computar os erros é impraticável. Assim, por exemplo, para selecionar os 4 (quatro) melhores atributos entre os 12 (doze) disponíveis, exigem-se:

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

Integrações no espaço quadridimensional. Acontece que a aplicação direta desse critério envolve custos computacionais elevados.

Optou-se, portanto, pela utilização de uma classe de funções que indicam a "distância normalizada" entre funções densidade de probabilidade de erro envolvida entre as classes.

O ideal seria obter uma medida de distância com a seguinte propriedade:

Se a distância entre duas classes for maior para um conjunto de canais x do que para um conjunto de canais y, então, a probabilidade de erro obtida para o conjunto x seria menor do que para o conjunto y.

Infelizmente, nenhuma das medidas de distância que têm sido propostas possui exatamente esta propriedade. Contudo, diversas distâncias têm características de possuir limiares superior e/ou limiar inferior para a probabilidade de erro associadas a elas. Assim, se a distância entre duas classes for maior para um conjunto x de atributos do que para um conjunto y, então, o limiar inferior e/ou superior para a probabilidade de erro obtida para o conjunto x é menor do que para o conjunto y. Pode-se observar que esta propriedade é subótima, pois não se minimiza a probabilidade de erro associada, e sim os limiares inferior e/ou superior para a probabilidade de erro.

Como exemplo de medidas de distâncias estatísticas que possuem estas características, pode-se citar a Divergência, a Divergência Transformada, a Distância de Bhattacharyya (Distância B) e sua

diretamente relacionada Distância Jeffreys-Matusita (Distância J-M).

Foram realizados diversos experimentos sobre os métodos de medidas de distância estatística, e concluiu-se que o critério da Distância J-M leva algumas vantagens sobre os outros métodos (Swain et alii, 1973).

3.2.5 - DETECÇÃO DE BORDAS

Uma borda é definida em uma imagem quando existe uma mudança abrupta do nível de cinza entre duas regiões relativamente homogêneas.

O objetivo dos algoritmos de detecção de bordas é de reunir uma seqüência contínua de elementos de bordas. Existem dificuldades quanto à utilização destes algoritmos, pois operadores de diferença (gradiente de Roberts, por exemplo) tendem a realçar o ruído da imagem. Assim, surgem elementos de bordas espúrios, bem como desaparecem elementos de borda.

Os métodos de detecção de bordas podem ser classificados de acordo com a quantidade de conhecimento utilizado. Os mais comumente conhecidos são chamados de PERSEGUIÇÃO DE CONTORNOS.

Existem, pelo menos, 2 (duas) maneiras de fazer a perseguição de contorno:

- a - Perseguição segundo a varredura;
- b - Busca em todas as direções.

No primeiro método, é lida uma linha da imagem por vez e várias curvas são perseguidas. O processo tem início com a detecção de um ponto de borda, que é feito considerando valores de borda maiores que um limiar T. Para cada ponto (x,y), são examinados os vizinhos

anteriores e testado se este ponto contém continuação de algum contor no já detetado. No teste da continuação, o valor da borda em (x,y) é comparado com um limiar $D(T)$ e é verificado se a direção desta no ponto (x,y) está alinhada com a da borda num dos seus vizinhos.

Já no segundo método, segue-se um único contorno por vez. Inicialmente, deteta-se um ponto de borda e examinam-se seus vizinhos procurando possíveis continuações. Um vizinho é considerado como borda se sua amplitude for maior que um limiar D e a borda estiver alinhada com a do ponto escolhido. Se houver possíveis continuações, escolhe-se uma e repete-se o processo, sendo que as outras continuações são armazenadas em um "array" para verificação posterior.

3.3 - ESTRUTURAS TOPOLÓGICAS

Com o começo da utilização de equipamentos automatizados na cartografia moderna, e, conseqüentemente, com a manipulação de uma quantidade muito grande de dados digitais, tornou-se necessária a criação de estruturas de dados versáteis e eficientes para o uso cartográfico, com o objetivo de agilizar o tratamento destas informações. Em vista disto, foram criados os arquivos de estruturas topológicas com especial interesse no campo de cartografia, principalmente porque os dados podem ser tratados de uma forma vetorial, com a finalidade de que as mesmas sejam recuperadas através de um dispositivo de computação gráfica (Muller et alii, 1982).

Numa estrutura de arquivos com dados topológicos, a relação espacial entre os dados pode ser armazenada em um sistema geográfico de informações, e, depois, ser facilmente acessada e manipulada com a finalidade de atender uma determinada aplicação.

Normalmente, as estruturas de arquivos de dados topológicos utilizam apenas 1 (um) nível de informação ou, em termos cartográficos, só 1 (um) mapa, tal como um mapa poligonal representando as diversas classes ou zonas de uma determinada região.

Existem também sistemas mais complexos que manipulam com dados multiespectrais ou dados de multi-elementos, onde cada elemento é representado por um vetor com valores de pixels nessas bandas. Nestes casos, são criados diversos arquivos, sendo que cada um contém os elementos que compõem uma determinada estrutura topológica (Kurt E. Brassel, 1981), separadamente. O conceito básico inclui vários tipos de chaves de acesso, o qual estabelece referências entre os diversos arquivos ou entre os elementos destes arquivos utilizando uma filosofia de um sistema de banco de dados.

Os elementos básicos que compõem uma estrutura topológica (Brassel, 1981) são a partir dos níveis mais elementares, descritos abaixo:

a - Ponto

É a unidade mais elementar de uma estrutura topológica. São localizados através de suas coordenadas retangulares x,y e normalmente pertencem a uma linha definida por um vetor, se estiver tratando de uma estrutura vetorial, e podem ser chamados de "pontos cartográficos".

Ex.: Localização de um ponto de controle.

b - Nó

É uma particularidade de um ponto, pois é definido por uma interseção ou bifurcação entre 3 (três) ou mais linhas, isto é, a sua vizinhança contém pelo menos 3 (três) elementos semelhantes, e, também, é localizado a partir de suas coordenadas x,y, sendo, certamente, pontos iniciais ou finais de uma linha.

Ex.: Interseção de limites entre 3 (três) classes distintas.

c - Linha ou Arco

É a composição de uma seqüência de pixels entre 2 (dois) nós, ou, também, pode ser definida como um conjunto não vazio que contém no seu interior um conjunto de pixels vazio. Uma linha ou arco é um elemento comum a 2 (dois) polígonos.

d - Interior

O interior de um conjunto R é formado por todos os pixels que estão contidos no conjunto R.

Ex.: Em um mapa poligonal, o interior é formado pelo conjunto de pixels que tenham valor diferentes das linhas ou bordas.

e - Ilha

É um segmento de linha fechado onde o primeiro e o último pixel do segmento são idênticos. Normalmente, uma ilha está contida em um polígono maior.

f - Polígono Fechado

É um conjunto de pixels tal que o seu interior possui um conjunto de pixels não vazio e, normalmente, é limitado por 2 (duas) ou mais linhas.

Ex.: Representação de uma cultura de cana-de-açúcar.

g - Área ou Região

Em geral, uma área pode ser um simples polígono fechado ou um conjunto finito de polígonos.

h - Polígono Aberto

Pode ser definido por um segmento de linha aberto, isto é, o seu elemento inicial e final são necessariamente diferentes.

Ex.: Estrada

Para maiores detalhes, têm sido extensivamente difundidos por diversos autores (Chrisman, 1975; Peucker et alii, 1977; Hessdorfer, 1975; Rase, 1975), referências sobre as propriedades e vantagens da utilização das estruturas topológicas para aplicações cartográficas. As figuras a seguir representam respectivamente uma estrutura topológica e a sua representação através de uma estrutura do tipo árvore onde aparecem os diferentes níveis hierárquicos dos nós, linhas, polígonos e áreas.

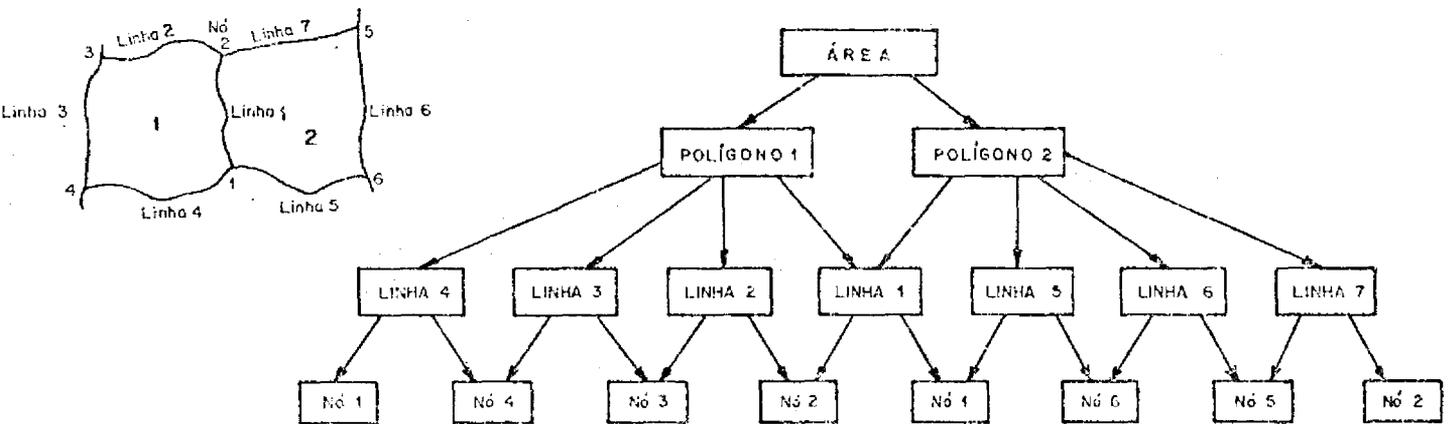


Fig. 3.3 - Representação do tipo árvore de uma estrutura topológica.

3.4 - COMPRESSÃO DE DADOS

Há muitas aplicações em processamento de dados, nas quais surge a necessidade de armazenar ou transmitir grandes volumes de dados. Nestes casos, o custo de armazenamento representa uma parcela considerável do custo total do processamento.

Em um ambiente deste tipo, torna-se necessário o uso de técnicas de compressão de dados, cujo objetivo é redução do espaço físico necessário para a representação dos dados.

A compressão consiste na codificação dos dados antes de serem armazenados ou transmitidos e na posterior decodificação, no momento em que são lidos ou recebidos para manipulação, sendo as operações efetuadas sobre os dados representados em um código padronizado (binário).

Há, evidentemente, um compromisso entre o grau de compressão e o custo do tempo de processamento, já que a compressão irá reduzir o tempo de transferência, tornando mais rápida as operações com arquivos (Furtado et alii, 1982). Assim, devem ser pesados o custo de CPU, custo de armazenamento e a velocidade das operações sobre arquivos.

3.5 - REDUÇÃO DE PONTOS

Em processamento digital de imagens, tais como as de satélites de recursos naturais, manipula-se uma quantidade muito grande de dados, resultando numa utilização de vasto espaço de memória e logicamente de tempo computacional.

Como quase a totalidade dos métodos de digitalização tende a gerar um número de pontos mais do que o necessário para reproduzir uma linha utilizando-se de uma plotadora, sentiu-se a necessidade de formas alternativas, com a finalidade de otimizar ao máximo o ar

mazenamento destes dados, de modo a ocupar o mínimo de memória necessária sem que o seu traçado original sofresse alterações comprometedoras.

A eliminação de dados, como de pontos intermediários de um segmento reto, seria razoável, pois somente a posição inicial e final de uma reta bastaria para a representação deste segmento, e diminuiria consideravelmente o espaço de memória para o armazenamento da informação, aumentando substancialmente a velocidade de plotagem dos pontos, influenciando consideravelmente nos custos operacionais.

Reduções de pontos de uma determinada linha por eliminação de pontos desnecessários (Douglas et alii, 1973), além de otimizar o espaço de memória necessária para o armazenamento das linhas, permite a eliminação do "efeito escada" oriundo de imagens digitais de bordas, tornando o documento com uma aparência mais suave.

CAPÍTULO 4

CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS

4.1 - MATERIAIS UTILIZADOS

4.1.1 - CARTA AERONÁUTICA DE PILOTAGEM NA ESCALA 1:250.000

Este documento é publicado pela Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo (DEPV), do Ministério da Aeronáutica.

As folhas da Carta Aeronáutica de Pilotagem (CAP) são produzidas de modo a satisfazerem os requisitos operacionais da Força Aérea Brasileira e da Aviação Civil.

As Cartas Aeronáuticas de Pilotagem devem ser precisas, conforme prescrito abaixo:

1 - A precisão horizontal desejada é a que se enquadra nos padrões de mapeamento classe A. Isto requer que 90% de todos os dados planimétricos, exceto aqueles inevitavelmente deslocados pelo tamanho exagerado dos símbolos, sejam plotados dentro de 0.5mm (aproximadamente 125m no terreno) de suas posições geográficas referidas à projeção da carta.

2 - A precisão vertical requer que 90% de todas as curvas de nível e pontos cotados interpolados entre as curvas de nível tenham precisão dentro de meio intervalo das curvas, cuja equidistância vertical é de 100m.

A DEPV é responsável pelo processamento final, coordenação e aprovação das revisões das especificações para produção da CAP.

A compilação manuscrita é a base da Carta Aeronáutica de Pilotagem. Uma grande parte da responsabilidade na preparação de uma carta satisfatória cabe certamente, por isso, ao compilador. Ele deve ser extremamente cuidadoso na seleção e desenho de detalhes, de modo que a carta satisfaça adequadamente às suas finalidades.

Tanto as cartas aeronáuticas como as topográficas são representações gráficas, reduzidas planas, de partes da superfície da Terra. A condição ideal na compilação seria alcançada se cada elemento da porção da Terra, sendo fotografada, pudesse ser indicado em sua verdadeira forma, orientação e proporção, mantendo a legibilidade. Obviamente, tal representação é impossível. Isto é evidente quando se considera que em uma carta na escala de 1:250.000 todas as informações úteis, contidas dentro de um quadrado de 1 km de lado da superfície da Terra, deveriam ser condensadas dentro de uma área de um quadrado de 4mm de lado. Uma tentativa para plotar cada elemento em escala verdadeira resultaria num produto absolutamente inútil.

Para serem inteligíveis, tais elementos têm que ser indicados por sinais convencionais. Toda compilação deve ser uma aproximação mais fiel possível dos detalhes do terreno. A localização deverá ser tão precisa quanto permitam as fontes de informação e os instrumentos de trabalho.

A projeção utilizada para a confecção deste documento cartográfico é a Universal Transversa de Mercator (UTM).

Todos os elementos de controle planialtimétrico, dentro da projeção, estarão referidos aos "datums" (data) determinados pelo IBGE:

Datum horizontal: SAD - 69

Datum vertical : Marégrafo Imbituba - SC

A base da compilação, normalmente, conterà os seguintes dados:

- 1 - projeção, rede militar com dados, e coordenadas geográficas;
- 2 - hidrografia;
- 3 - localidades;
- 4 - construções;
- 5 - dados marginais;
- 6 - vegetação; e
- 7 - toponímia.

As informações sobre vegetação são indicadas em folha separada suplementar para interpretação ou representação da informação indicada na compilação básica, como localidades, dados de elevações, etc.

4.1.1.1 - IMPORTÂNCIA DA ATUALIZAÇÃO TEMÁTICA NA CARTA AERONÁUTICA DE PILOTAGEM.

Atualmente, a CAP vem sendo atualizada através de métodos de interpretação visual das imagens LANDSAT. Como todo método visual depende unicamente da habilidade e formação profissional do compilador, este processo torna-se ineficiente. Como este documento cartográfico é utilizado para a navegação aérea visual, é indispensável que ele apresente uma semelhança satisfatória com o terreno. Para tanto, esta dissertação tem a finalidade de gerar um documento cartográfico que irá aumentar o grau de confiabilidade das informações temáticas da CAP, pois atualmente existe somente um bom nível de informações, referentes à altimetria.

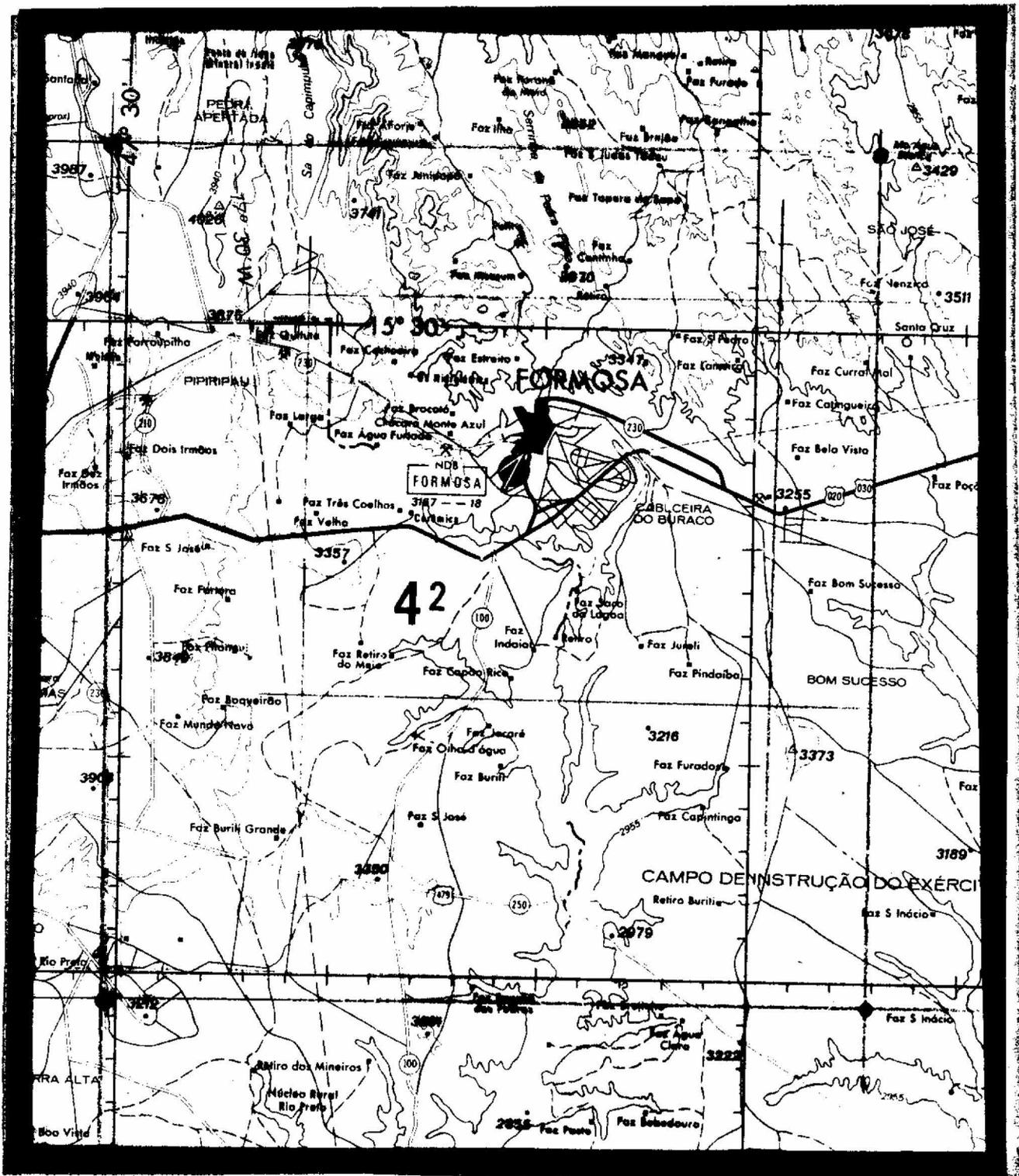


Fig. 4.1 - Carta Aeronáutica de Pilotagem
Área da Pesquisa
Esc. 1:250.000
Ano da compilação: 1982

4.1.2 - IMAGENS LANDSAT ORIUNDAS DO SENSOR TM

As imagens utilizadas para a confecção do mapa poligonal são oriundas do sensor Thematic Mapper (TM), que opera em 7 (sete) bandas espectrais. Estas bandas espectrais destinam-se, primordialmente, para um melhor controle de vegetação, com exceção da banda 7, cujo uso principal é para aplicações geológicas.

Este sensor possui uma resolução de 30 metros (exceto a banda 6 do termal). Como o erro gráfico de um documento cartográfico é de $0.5\text{mm} \times \text{denominador da escala da carta}$, concluímos que na CAP este erro é de 125 metros. Sendo assim, as imagens TM, em análise inicial, atendem perfeitamente às especificações para a atualização deste documento cartográfico. Para o processo de classificação, foram utilizadas três imagens do infravermelho próximo (bandas 4, 5 e 7), mais apropriadas na distinção dos diversos tipos de solo, e uma imagem da banda visível (banda 3), importante para distinguir a vegetação.

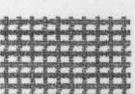
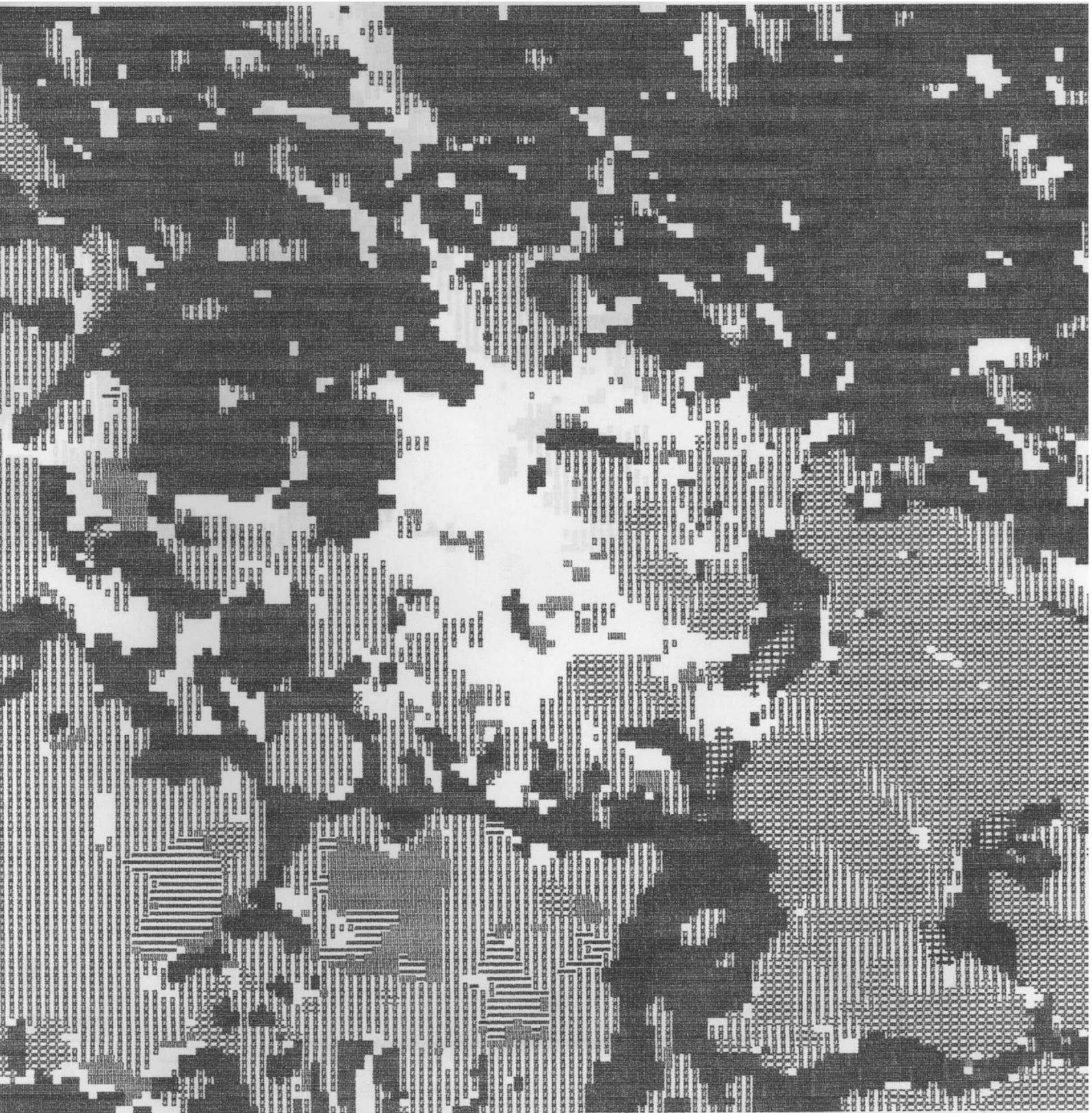
As características das imagens do sensor TM encontram-se em anexo no apêndice.

4.1.3 - PRODUTOS TEMÁTICOS ALFANUMÉRICOS

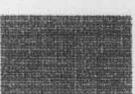
Estes mapas alfanuméricos foram gerados pelas impressoras LPO5 da Digital e Grafix da Scritta Eletrônica Ltda. No primeiro caso, este documento é obtido de uma imagem classificada, na qual estão representadas as 8 classes da imagem, e cada classe é representada por 1 símbolo diferente. Este documento não tem nenhum valor cartográfico, sendo que em um formulário de impressão (largura) é representada apenas a metade do visualizador de imagens do Image-100. Quanto à Grafix, é uma impressora gráfica, isto é, um periférico que tira cópia em papel de desenhos traçados por computador.

A seguir, temos um exemplo de um documento gerado por esta impressora gráfica que representa uma imagem classificada com a

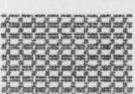
referida convenção dos temas utilizados, a qual fornece uma noção geral sobre a área de estudo, possibilitando uma análise mais apropriada da mesma referente à necessidade da realização de uma filtragem para extração de pequenas áreas (Monteiro et alii, 1985).



AGUA



FLORESTA



CERRADO



SOLO EXPOSTO



CULTURA



REFLORESTAMENTO

4.1.4 - SISTEMAS COMPUTACIONAIS

O presente trabalho, em termos de utilização do computador, poderia ser subdividido em 2 (duas) fases que se completam:

- 1 - Análise, processamento e geração de dados temáticos;
- 2 - Tratamento e recuperação de dados temáticos.

Na primeira fase, é utilizado um sistema interativo para tratamento de imagens (I-100), propício para o processamento de imagens digitais.

Na segunda fase, é utilizado o sistema de plotagem CALCOMP 1051 no ambiente do computador Burroughs B6800 do INPE, responsável pela recuperação dos dados.

4.1.4.1 - SISTEMA DE TRATAMENTO DE IMAGENS

O Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) utiliza um sistema interativo de análise de imagens multiespectrais - IMAGE-100, fabricado pela General Electric Company. Este sistema foi projetado para extrair automaticamente informações de imagens multiespectrais obtidas, principalmente, de sistemas sensores acoplados a plataformas orbitais.

O Image-100 opera baseando-se no princípio de que todos os objetos que possuírem o mesmo comportamento espectral deverão pertencer a uma mesma classe. O sistema utiliza esta qualidade particular dos diferentes objetos, para analisar simultaneamente o comportamento espectral em várias faixas de frequência e identificar áreas com mesma característica, as quais são assinaladas como temas.

O Image-100 utiliza programas sob controle de um mini computador de 16 bits (PDP-11/45), da Digital Equipment Corporation, para

ra implementar algoritmos de extração de características da imagem.

4.1.4.1.1 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Inicialmente, os dados referentes a uma determinada imagem, que podem estar na forma de transparência fotográfica ou em fitas magnéticas (CCT), são transferidos para uma unidade de armazenamento de imagens ou para a unidade de disco magnético. No primeiro caso, o fornecimento dos dados é feito pela unidade digitalizadora, e no segundo caso são utilizadas unidades de fita magnética. Durante a fase interativa de análise ou tratamento de imagem, as informações necessárias à execução do processo são apresentadas ao computador pelo console de análise de imagem 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 para operações e controle do sistema.

O resultado de uma classificação, por exemplo, pode ser armazenado em temas, sendo possível armazenar até 8 temas, cada um cor respondendo a uma determinada cor. Através de uma impressora de linhas, pode-se obter um produto alfanumérico preliminar dos temas, que representam o resultado da classificação.

O gravador de imagens permite que se obtenha uma saída através de filme fotográfico das imagens que estiverem na unidade de armazenamento ou na unidade de disco magnético, sendo que as unidades de fitas magnéticas também podem ser usadas como um componente de saída, onde são armazenadas imagens e resultados de processamento que se encontram na unidade de armazenamento de imagens ou unidade de disco magnético. A seguir, encontramos um diagrama do sistema num contexto geral, isto é, a integração do software e hardware em participação conjunta.

4.1.4.1.2 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA

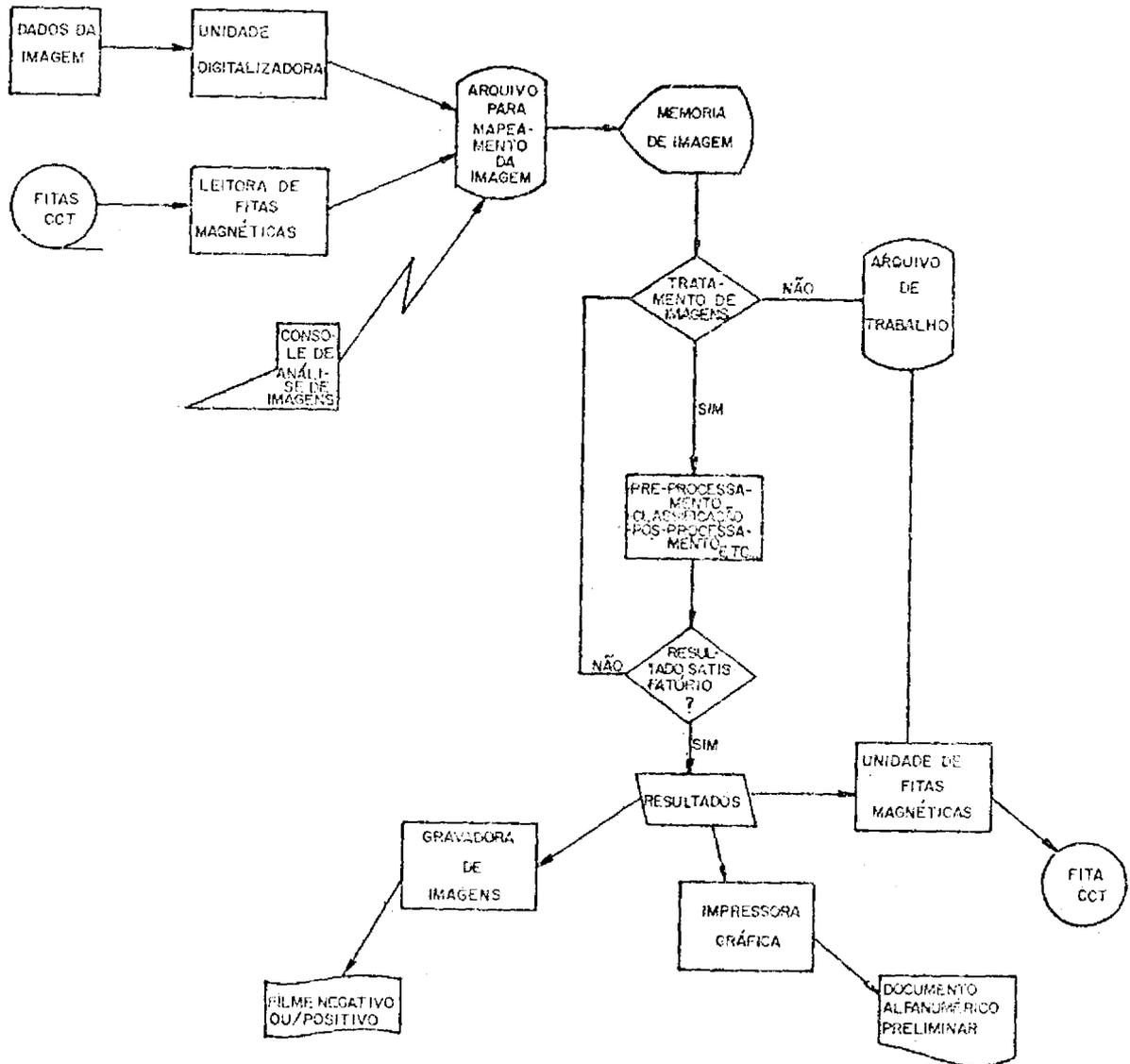


Fig. 4.3 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Imagens.

4.1.4.2 - MESA DE DIGITALIZAÇÃO

O digitalizador Talos é um sistema destinado a converter posições físicas de uma pena sobre uma prancha digitalizadora em dados digitais que possam ser processados num computador. A configuração instalada no L.T.I.D. está ligada ao PDP-11/45 através de uma interface DR11-C (D.E.C.), e consiste em dois módulos principais: uma prancha digitalizadora, com área útil de 22" x 22", na qual se escolhe uma posição com a pena, e uma unidade eletrônica, onde estão as placas do circuito de geração dos dados digitais.

Apesar da resolução original do equipamento ser de 1000 pontos por polegadas, por software (Mendes et alii, 1983), esta resolução foi mudada para 100 pontos por polegadas, devido à própria dimensão física da ponta da pena.

4.1.4.3 - SISTEMA GRÁFICO CALCOMP 1051 DO INPE

4.1.4.3.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

Trata-se de um sistema ON-LINE acoplado ao computador Burroughs B6800. Do ponto de vista do computador B6800, o sistema CALCOMP 1051 é tratado como um terminal ordinário pertencente à rede de "time-sharing" do INPE. No caso, trata-se de um terminal com capacidade local de processamento, isto é, dispõe um microcomputador funcionando como um terminal inteligente.

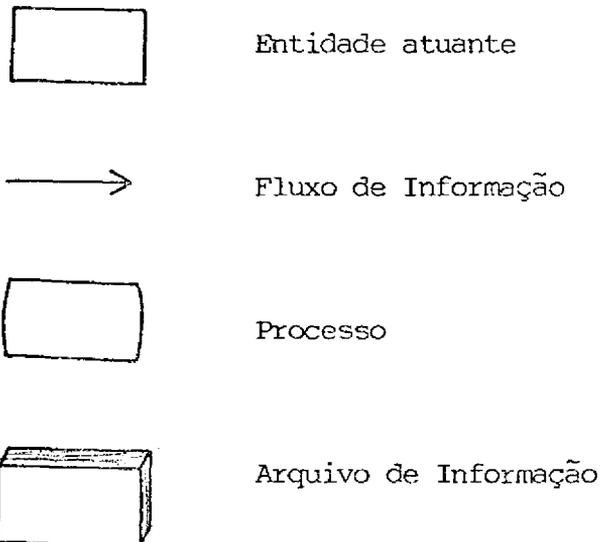
As rotinas para traçado de infraestrutura gráfica, fornecidas pelos fabricantes do equipamento CALCOMP 1051, encontram-se disponíveis aos usuários do sistema B6800 numa de suas bibliotecas de procedimentos matemáticos e gráficos (residentes em disco). Estas rotinas foram codificadas em linguagem FORTRAN e podem ser incorporadas a programas hospedeiros escritos em ALGOL, COBOL ou FORTRAN, para utilização em representação gráfica dos dados.

4.2 - METODOLOGIA EMPREGADA

4.2.1 - DIAGRAMA DE FLUXO GERAL DO SISTEMA

Neste item, é apresentado o fluxo normal de informações, que deve ocorrer em um sistema para geração de um produto temático a partir de imagens multiespectrais da série Landsat.

Neste método de representação, as figuras têm o seguinte significado:



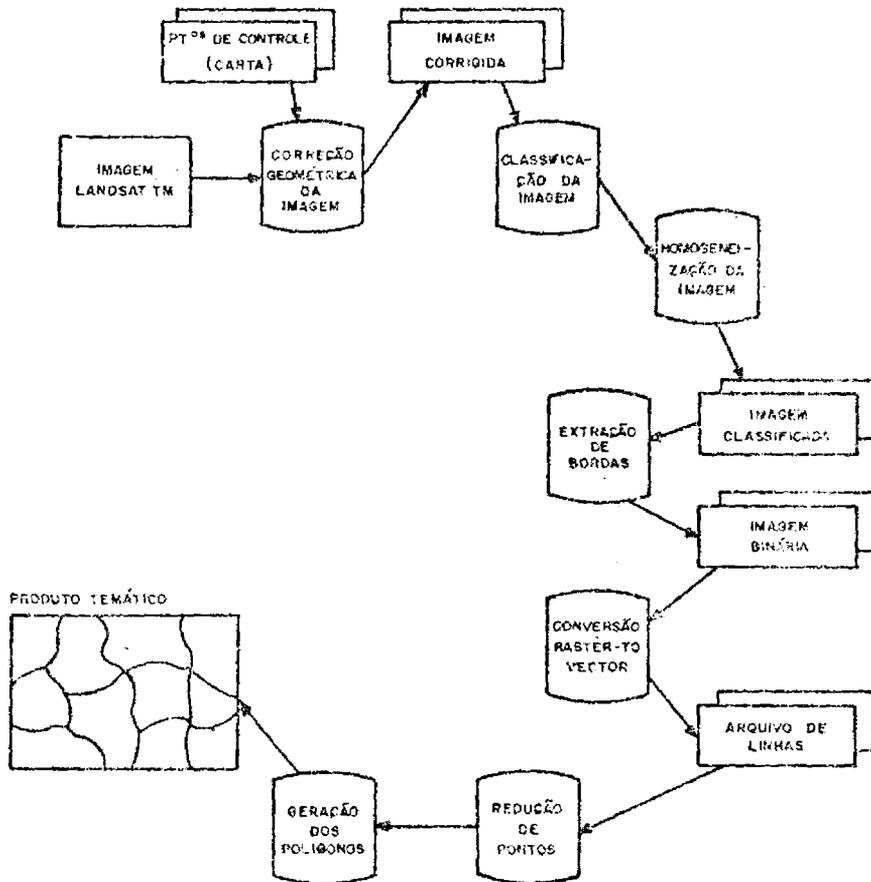


Fig. 4.4 - Diagrama de Fluxo Geral do Sistema.

4.2.2 - SISTEMA REGISTRO

Na análise de imagens obtidas por sensoriamento remoto, é freqüentemente necessária a comparação dos dados adquiridos em tempos diferentes (dados multi-temporais) ou mesmo a correção destes dados a partir de uma imagem padrão. Para estas comparações, faz-se necessário o registro, isto é, a superposição de uma imagem com outra, a qual requer uma transformação geométrica apropriada entre os dados das duas imagens.

Neste trabalho, foi utilizado o Sistema Registro que está implantado no I-100, para a realização do casamento da imagem Landsat com a Carta Aeronáutica de Pilotagem (CAP).

O Sistema Registro (MITSUO Ii, 1984) está basicamente particionado em subsistemas que atendem às fases abaixo:

- 1 - gerenciamento de GCP's;
- 2 - obtenção dos coeficientes;
- 3 - obtenção da matriz de "breakpoints";
- 4 - registro por matriz de "breakpoints"; e
- 5 - registro ponto a ponto.

4.2.2.1) - IDENTIFICAÇÃO E EXTRAÇÃO DOS GCP's.

Neste subsistema, é feito um estudo preliminar sobre a CAP e a imagem analógica LANDSAT-TM da área em estudo. Os pontos de controles (GCP's), feições bem definidas e identificáveis na carta e na imagem, são então escolhidos. Nesta etapa do trabalho, foi utilizada uma carta na escala de 1:100.000 e uma imagem analógica (banda 5 TM) na mesma escala.

As coordenadas planas (x,y) dos GCP's das cartas topográficas foram obtidas a partir do digitalizador Talos, do Laboratório de Tratamento de Imagens do INPE.

4.2.2.2.) NORMALIZAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE COORDENADAS DA CARTA E DO VISUALIZADOR DE IMAGENS DO I-100.

Foi utilizada uma transformação de similaridade, para relacionar as coordenadas dos GCP's da carta e da imagem digitalizadas no vídeo do I-100. O modelo matemático da transformação é expresso por:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (1)$$

onde (X,Y) e (x,y) são, respectivamente, coordenadas da carta e do vídeo do I-100 dos GCP's, lambda (λ) é um fator de escala e DX e DY são translações. Após esta etapa, as coordenadas iniciais, obtidas na mesa digitalizadora, tornam-se compatíveis com o sistema de coordenadas do vídeo do I-100. Cabe ressaltar que o modelo matemático representado pela equação (1) leva em conta o fato dos sistemas de coordenadas da mesa digitalizadora e do vídeo do I-100 serem, respectivamente, dextrógiro e levógiro.

4.2.2.3.) MAPEAMENTO POLINOMIAL

Na primeira fase do registro, são inseridos os GCP's, para que possam ser determinados os coeficientes do polinômio a partir das matrizes de regressão polinomial. Nesta fase, o usuário define o grau do polinômio a ser usado na regressão. Uma vez determinados os coeficientes do polinômio, pode-se determinar as novas coordenadas de

qualquer ponto da imagem, sendo o nível de cinza aproximado por uma interpolação do tipo "vizinho mais próximo". O modelo polinomial utilizado é dado por:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ y \\ xy \\ x^2 \\ y^2 \end{bmatrix} \dots\dots (2)$$

onde (x,y) são coordenadas normalizadas com o vídeo do I-100 e (x',y') são as coordenadas resultantes do mapeamento polinomial.

4.2.2.4.) ANÁLISE DOS RESULTADOS

A comparação das coordenadas (x',y') resultantes da equação (2) com as coordenadas (x ,y) dadas pelo sistema I-100 permitiu a análise da qualidade geométrica do produto digital LANDSAT-TM corrigido através do mapeamento polinomial.

A tabela abaixo reúne os principais resultados atingidos neste trabalho, mostrando através do erro médio quadrático (RMS) a qualidade geométrica do produto digital LANDSAT-TM processado pelo INPE antes e depois da aplicação do mapeamento polinomial.

Tabela 4.1 - Tabela com análise da qualidade geométrica utilizando um mapeamento polinomial.

Análise da qualidade geométrica	Número de Ptos.	RMS(pixels)
Produto digital TM processado pelo INPE	25	12.309
Imagem ditital corrigida Polinômio de grau 1	25	6.325
Imagem digital corrigida Polinômio de grau 2	25	6.230
Imagem digital corrigida Polinômio de grau 3	25	6.029
Imagem digital corrigida Polinômio de grau 4	25	5.385
Imagem digital corrigida Polinômio de grau 5	25	4.934

Apesar dos polinômios de grau mais elevados apresentam um RMS menor, este erro é tendencioso, pois foi calculado sobre os mesmos GCP's utilizados como coeficientes do mapeamento polinomial, e os polinômios de grau mais elevados apresentam melhores resultados apenas nas vizinhanças dos GCP's (Silva, 1984).

Sendo assim, a função de grau 1 foi escolhida para a correção geométrica. Pode-se observar esta afirmação através das figuras obtidas do vídeo do I-100, que mostram a banda 5 TM após a aplicação dos polinômios. E as correções que utilizaram grau mais elevados apresentaram distorções consideráveis nas regiões desprovidas de GCP's, principalmente nos extremos da imagem.



Fig. 4.5 - Imagem LANDSAT TM - banda 5



Fig. 4.6 - Imagem TM corrigida - banda 5
Polinômio de grau 1.



Fig. 4.7 - Imagem TM corrigida - banda 5
Polinômio de grau 2



Fig. 4.8 - Imagem TM corrigida - banda 5
Polinômio de grau 3



Fig. 4.9 - Imagem TM corrigida - banda 5
Polinômio de grau 4.

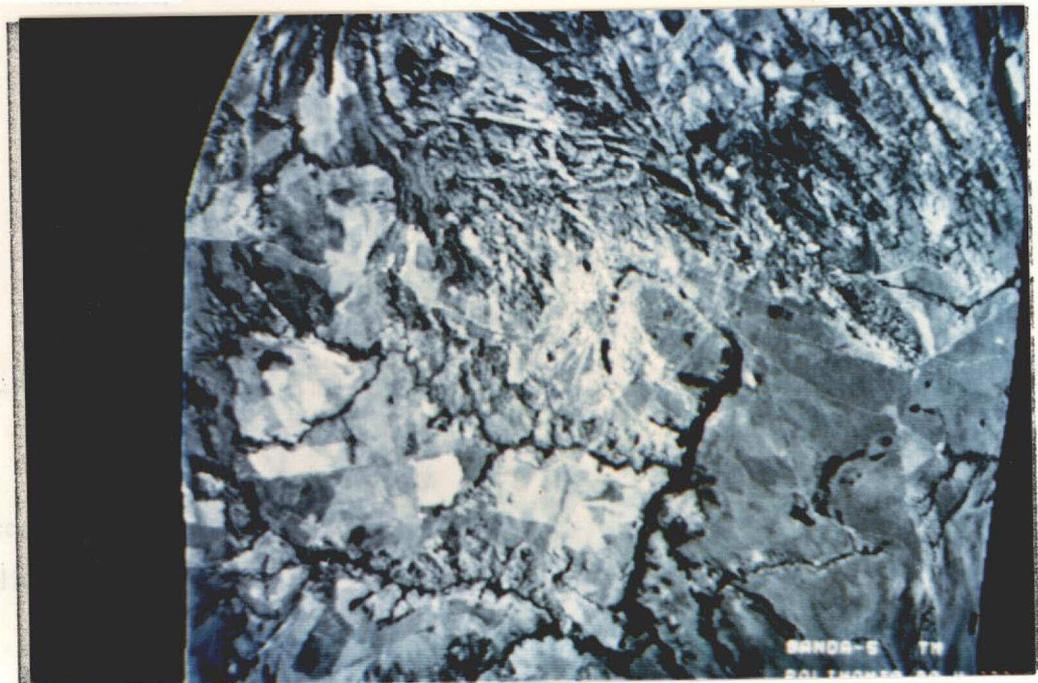
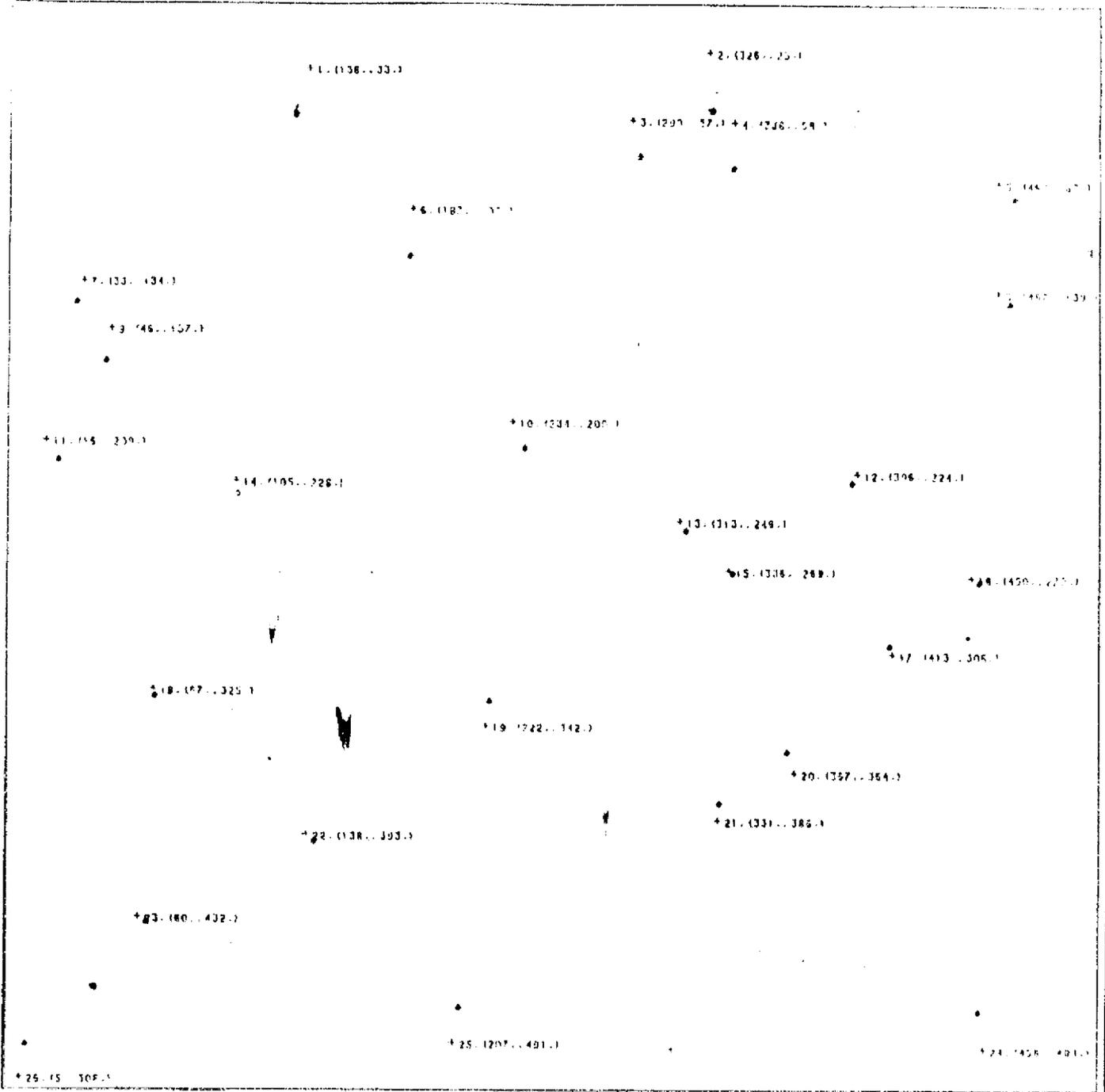


Fig. 4.10 - Imagem TM corrigida - banda 5
Polinômio de grau 5.

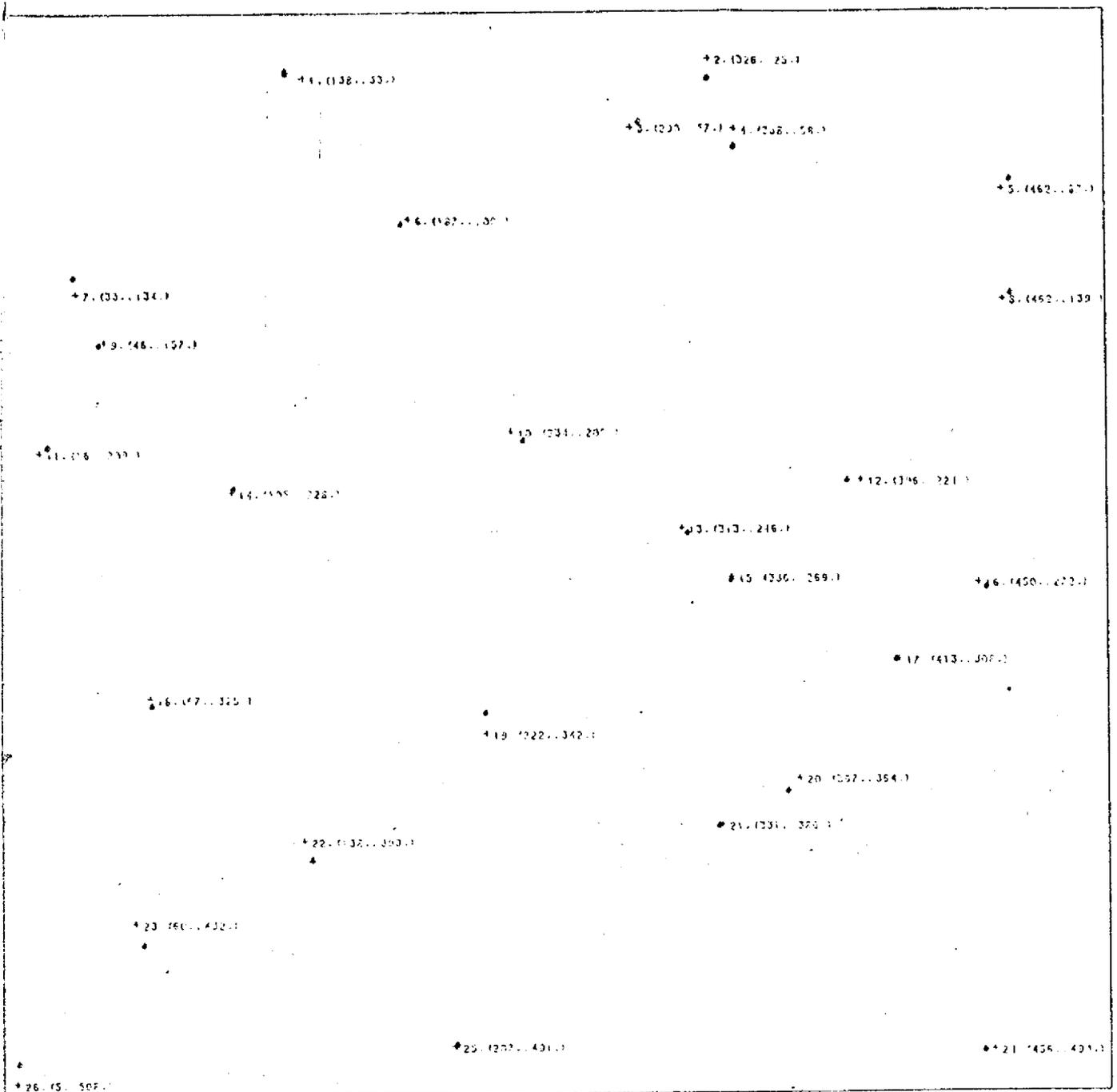


+ PONTO NA CARTA ERRO MEDIO QUADRATICO = 13.669 PIXELS. NUMERO DE PONTOS = 26.

* PONTO NA IMAGEM GRAU DO POLINOMIO = 0. ESCALA APROX. = 1:150000.

CROQUI COM DISTRIBUICAO DOS PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS NO REGISTRO.

Fig. 4.11 - Distribuico dos pontos aps a aplicaco da transformaco de similaridade.



* PONTO NA CARTA ERRO MEDIO QUADRATICO = 0.478 PIXELS. NUMERO DE PONTOS = 26.

* PONTO NA IMAGEM GRAU DO POLINOMIO = 1. ESCALA APROX. = 1:150000.

CROQUI COM DISTRIBUICAO DOS PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS NO REGISTRO.

Fig. 4.12 - Distribuico dos pontos aps a aplicaco do polinmio de grau 1.

4.2.3 - CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM ATRAVÉS DE PROCESSO SUPERVISIONADO

O classificador associa o objeto a uma classe, de acordo com os atributos apresentados. Neste trabalho, foram utilizados 2 (dois) métodos para a fase de classificação. No primeiro método, utilizou-se atributos espectrais, e no segundo método, atributos espaciais. Em ambos, foi executada uma classificação supervisionada, utilizando o critério da máxima verossimilhança (Velasco et alii, 1978).

4.2.3.1 - CLASSIFICAÇÃO UTILIZANDO ATRIBUTOS ESPECTRAIS

Neste método, despreza-se a informação chamada espacial de cada uma das imagens componentes da imagem multiespectral, já que cada "pixel", representado pelo seu vetor, é classificado independentemente dos seus vizinhos.

A classificação faz-se ponto a ponto, ou seja, supõe-se que cada pixel é não correlacionado com o vizinho, porque a classe a ser associada ao "pixel" não depende dos vetores representativos dos "pixels" vizinhos. Apesar do sistema (classificador MAXVER) utilizado ter a capacidade de classificar a imagem em até 32 (trinta e duas) classes diferentes e de adquirir até 160 (cento e sessenta) amostras de treinamento, foram selecionadas apenas 6 (seis) classes, que representam os alvos de maior interesse, e um total de 21 (vinte e um) segmentos de amostras de tamanho variável.

A tabela a seguir representa os temas com as suas respectivas cores.

Tabela 4.2 - Temas utilizados na classificação

TEMAS	CORES CORRESPONDENTES
Água	Cinza
Floresta	Ciano
Cerrado	Azul
Solo Exposto	Amarelo
Reflorestamento	Vermelho
Cultura	Azul Claro

4.2.3.2 - CLASSIFICAÇÃO UTILIZANDO ATRIBUTOS ESPACIAIS

Quando uma imagem é processada espacialmente, o valor a ser atribuído a cada ponto na nova imagem depende de uma vizinhança do ponto correspondente na imagem original.

Se a partir de um ponto na imagem for tomada uma direção e observada a seqüência dos níveis de cinza, é possível notar que aparecem certos padrões numa certa taxa de repetição. Esta taxa de repetição de padrões de intensidade de cinza em todas as direções é definida como o conteúdo de frequência espacial da imagem. Padrões que se alteram muito rapidamente fornecem componentes de alta frequência à imagem e os que se alternam lentamente contribuem com baixas frequências. Operadores chamados filtros passa-alta e passa-baixa são aplicados às imagens, para que as altas ou baixas frequências, respectivamente, sejam reforçadas, causando, nas imagens, efeitos que as tornam mais convenientes para suas interpretações.

4.2.3.2.1 - EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS ESPACIAIS

No caso de extração de atributos espaciais por filtragem linear, a imagem resultante é obtida da convolução da imagem original por um determinado filtro, também chamado de máscara, ou seja:

$$r(i, j) = h(i, j) * f(i, j)$$

onde:

$r(i, j)$ - imagem resultante

$h(i, j)$ - filtro utilizado

$f(i, j)$ - imagem original.

No presente trabalho, foram gerados 8 (oito) atributos a partir dos 4 (quatro) canais originais, sendo que os canais 5,6,7 e 8 foram obtidos da seguinte maneira:

- Filtragem dos canais originais (3,4,5 e 7, respectivamente), cujo algoritmo é apenas o de substituir um pixel de uma janela 3x3 por um "pixel" médio.

Tabela 4.3 - Filtro 3x3 médio (passe-baixa)

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Os canais 9,10,11 e 12 foram obtidos através da utilização do filtro de variação total sobre os canais originais. Considerando-se uma vizinhança 3x3 de um ponto, onde rotulam-se os pontos dessa vizinhança segundo a convenção:

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & x & e \\ f & g & h \end{bmatrix}$$

A função denominada variação (Schachter et alii,1979) é

a soma da variação vertical com a variação horizontal. Assim:

$$VTV = |a-d| + |d-f| + |b-x| + |x-s| + |c-e| + |e-h|$$

$$VTH = |a-b| + |b-c| + |d-x| + |x-e| + |f-s| + |s-h|$$

$$\text{Variação total} = VTV + VTH$$

VTV - soma dos módulos das diferenças dos 2 "pixels" vizinhos no sentido horizontal.

VTH - soma dos módulos das diferenças dos 2 "pixels" vizinhos no sentido horizontal.

Após a aplicação do filtro de variação, as imagens (canais 9,10,11 e 12) apresentaram uma aparência muito realçada nas bordas. Então, foi utilizado um filtro passa-baixa 5x5, com a finalidade de suavizar a imagem e eliminar o ruído apresentado.

Tabela 4.4 - Filtro 5x5 médio (passa-baixa)

$$\frac{1}{25} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

4.2.3.2.2 - RESULTADO DA SELEÇÃO DE ATRIBUTOS

Com a geração de 8 (oito) canais através de atributos espaciais, além dos 4 (quatro) canais originais, faz-se necessária uma seleção de atributos de maneira a selecionar, dentre os 12 canais, apenas os 4 (quatro) canais que apresentaram uma melhor separabilidade entre as classes.

A distância estatística utilizada para separação das classes foi a chamada "Distância de Jeffreys-Matusita" (Distância J=M).

Sendo que quando tem-se mais duas classes, costuma-se aplicar dois critérios para a escolha do melhor subconjunto. São eles:

a) Um conjunto é escolhido para o qual a distância média entre as distâncias J-M para todos os pares de classes é maximizada;

b) No outro critério considera-se o subconjunto que tenha a maior das distâncias J-M mínima entre os pares de classe.

Foram utilizados os 2 (dois) critérios e, em ambos, os canais 5,6,7 e 9 foram os selecionados por apresentarem uma maior separabilidade entre as classes.

As classes e as amostras utilizadas foram as mesmas do primeiro processo.

Tabela 4.5 - Bandas utilizadas na seleção de atributos para classificação espacial.

CANAL	BANDAS
1	3 do sensor TM
2	4 do sensor TM
3	5 do sensor TM
4	7 do sensor TM
5	média 3x3 da banda 3 do TM
6	média 3x3 da banda 4 do TM
7	média 3x3 da banda 5 do TM
8	média 3x3 da banda 7 do TM
9	variação suavizada da banda 3 do TM
10	variação suavizada da banda 4 do TM
11	variação suavizada da banda 5 do TM
12	variação suavizada da banda 7 do TM

Abaixo, encontramos uma seqüência de fotos obtidas do vídeo do I-100 que mostram os doze canais utilizados na classificação utilizando atributos espaciais.

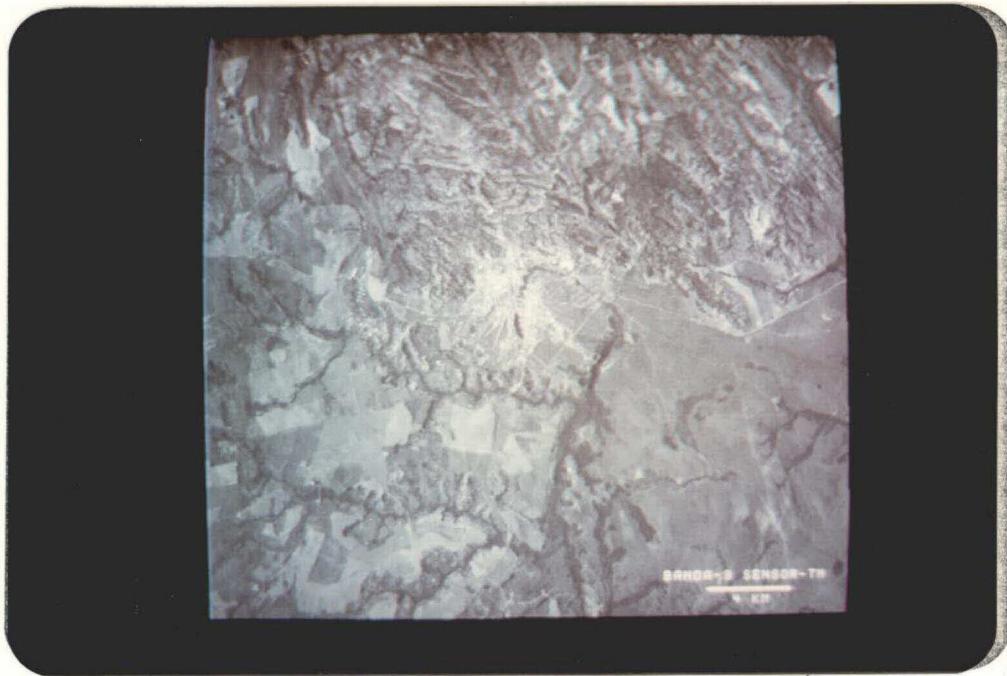


Fig. 4.13 - Banda 3 do sensor TM



Fig. 4.14 - Banda 4 do sensor TM



Fig. 4.17 - Média 3x3 da banda 3 do TM



Fig. 4.18 - Média 3x3 da banda 4 do TM



Fig. 4.17 - Média 3x3 da banda 3 do TM



Fig. 4.18 - Média 3x3 da banda 4 do TM

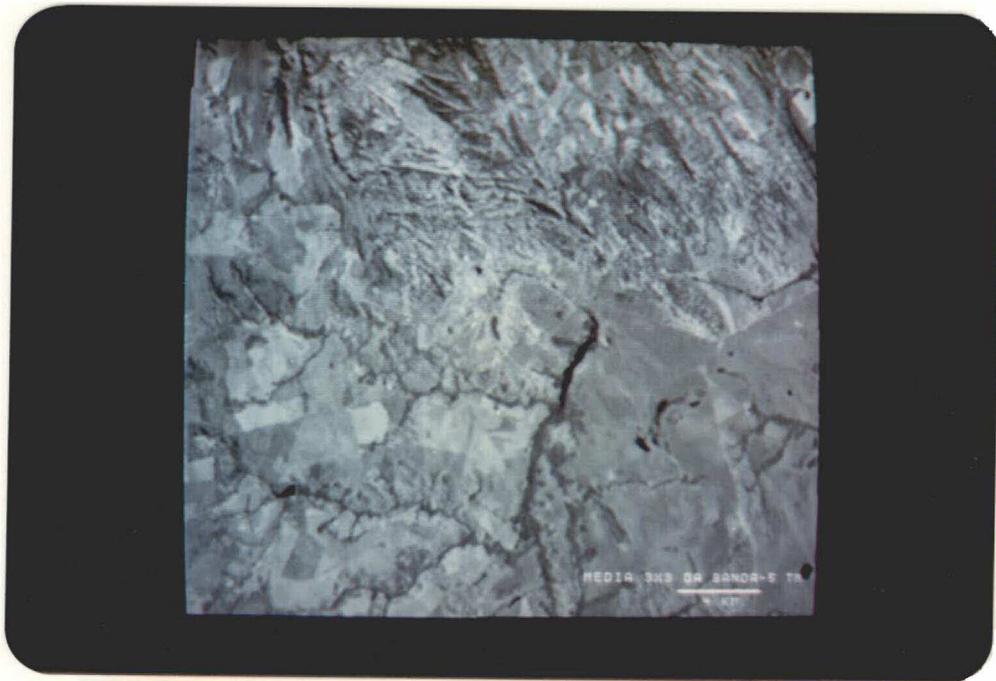


Fig. 4.19 - Média 3x3 da banda 5 do TM



Fig. 4.20 - Média 3x3 da banda 7 do TM

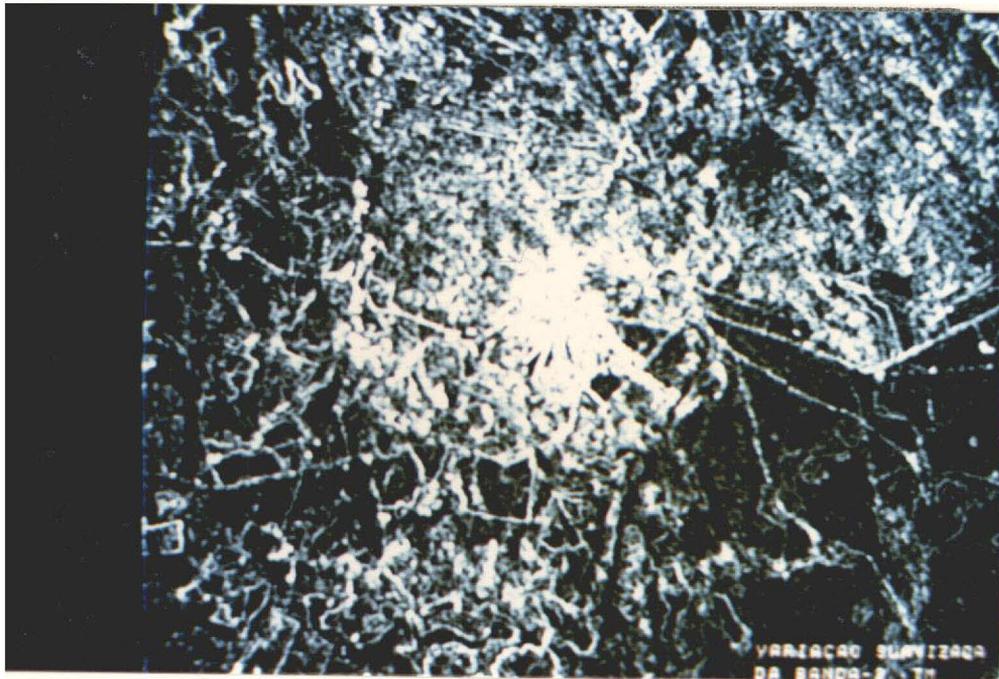


Fig. 4.21 - Variação suavizada da banda 3 do TM

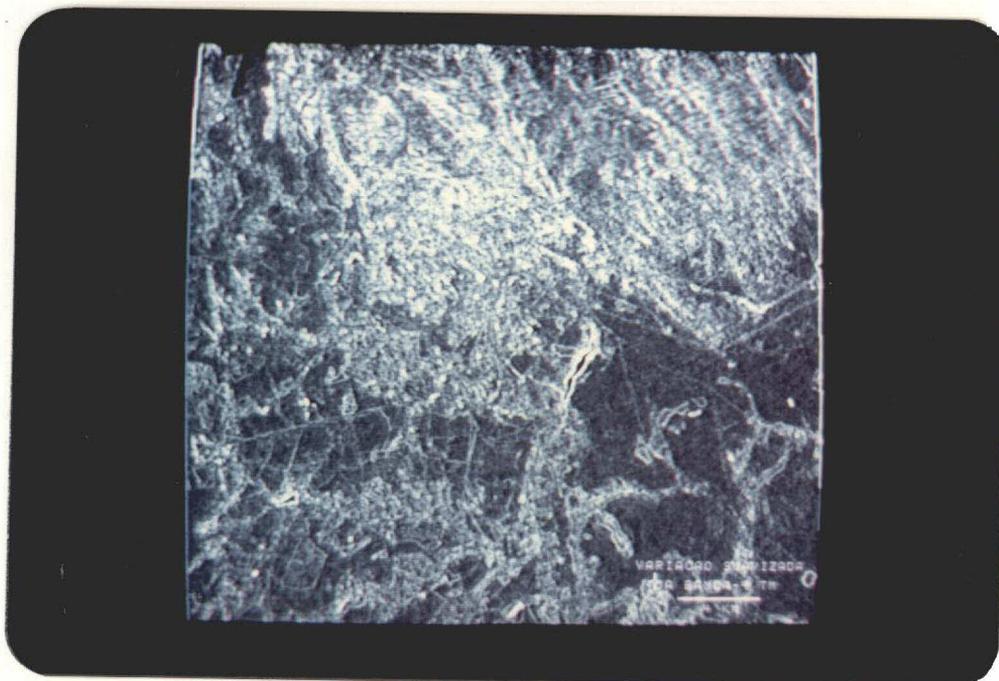


Fig. 4.22 - Variação suavizada da banda 4 do TM



Fig. 4.23 - Variação suavizada da banda 5 do TM

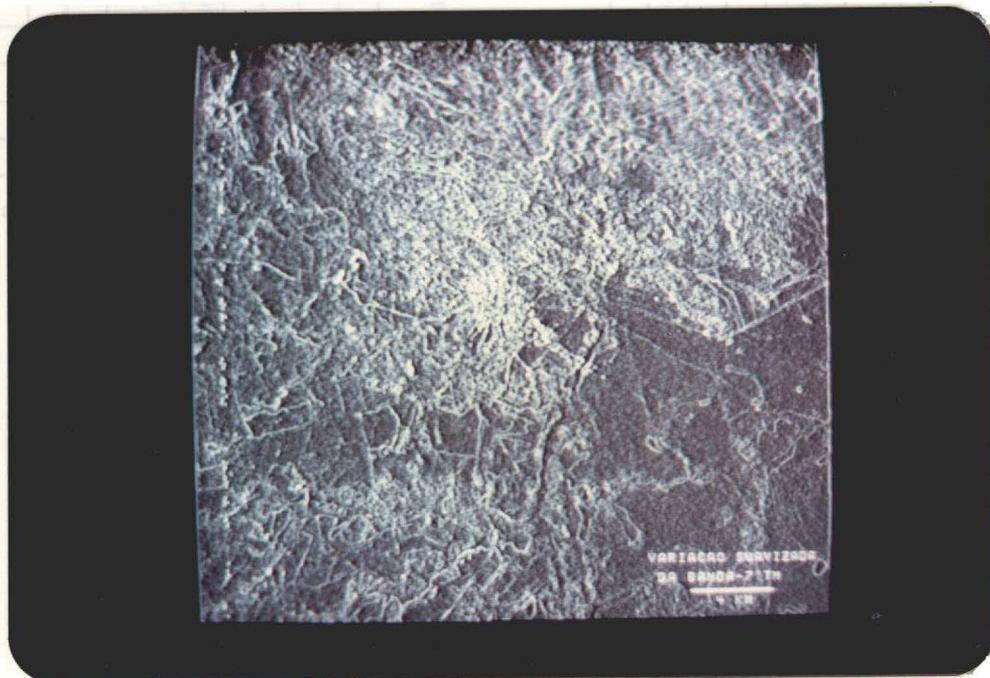


Fig. 4.24 - Variação suavizada da banda 7 do TM

4.2.3.3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO

Analisando a informação espectral (nível de cinza) dos canais utilizados, conforme mostra o gráfico abaixo, observou-se que as bandas 3 e 7 do TM apresentaram uma separação entre as médias das classes em estudo bastante homogênea, portanto, desfavorável para o trabalho de classificação. Porém, deve-se considerar que o mesmo não apresenta informações a respeito da variância das classes.

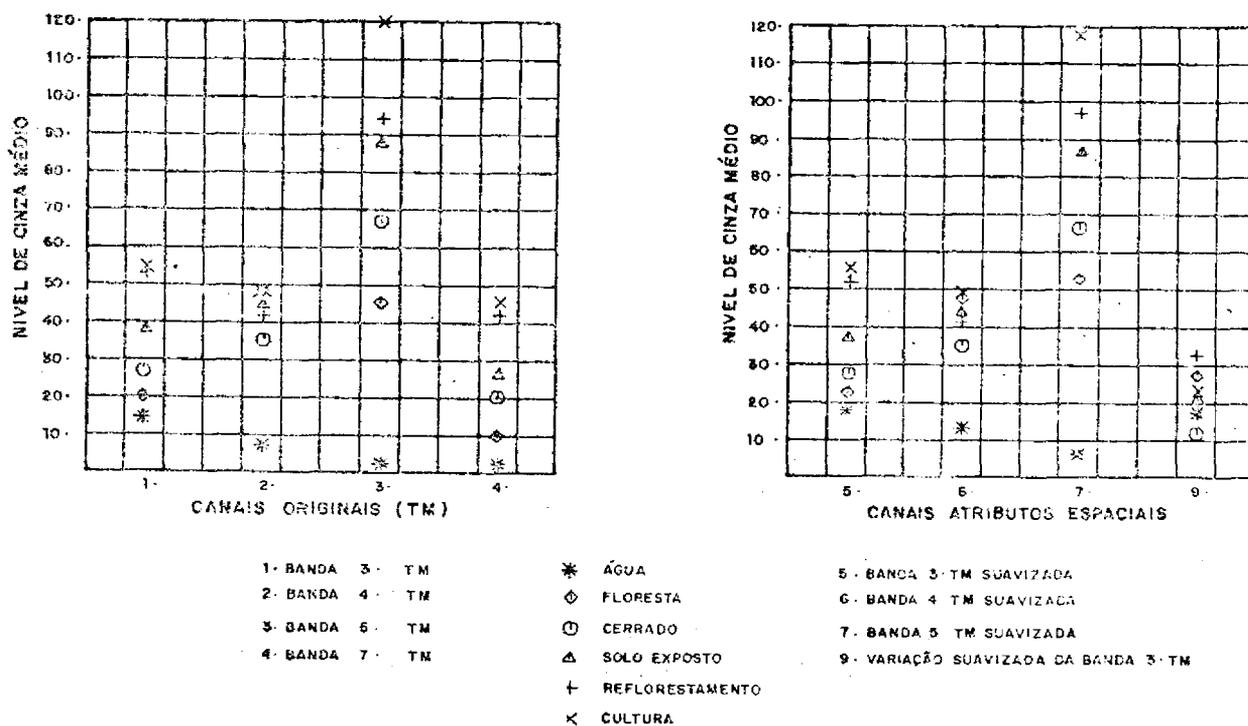


Fig. 4.25 - Gráfico contendo nível de cinza médio das classificações utilizadas.

Os canais 5,6 e 7 obtidos através da seleção de atributos também apresentaram uma separação entre as médias das classes bastante semelhante à separação das médias dos canais originais (3, 4 e 5). Com a aplicação do filtro passa-baixa, a imagem tende a ficar mais suave e, principalmente, os ruídos são extraídos (componentes de alta frequência), que são informações indesejáveis em uma classificação.

O canal 9 (variação suavizada da banda 3 TM) apresentou as médias dos níveis de cinza de cada classe bastante próximas. Porém, cabe ressaltar que a sua participação contribuiu fundamentalmente para uma maior separação das classes na análise multiespectral, isto é, na utilização das 4 (quatro) bandas em conjunto.

Na classificação empregando atributos espaciais (Dutra et alii, 1983), foi utilizado o limiar máximo (6.03), para evitar a rejeição de áreas classificadas. É oportuno ressaltar que o fato de se aumentar o limiar pode provocar um acréscimo na probabilidade de erro na fase de classificação, em função das características espectrais dos alvos em questão.

À medida que é melhorada a resolução geométrica de um sensor, aumenta a frequência espacial da imagem, da mesma forma que cresce a dispersão estatística das classes. Com o aumento da variância de cada classe, aumenta a probabilidade de uma determinada classe confundir-se com outra. Antes de uma classificação, na qual são utilizados dados de sensores de alta resolução, é sugerido o emprego de uma filtragem passa-baixa, para que valores de uma determinada classe fiquem mais concentrados em torno da média, havendo diminuição da probabilidade de erro na classificação (Toll, 1983). Este fato deve ter contribuído para que em uma seleção de atributos envolvendo 12 canais, 3 dos quatro canais selecionados, tenham sido gerados a partir de filtragem passa-baixa.

A classificação utilizando atributos espaciais foi selecionada por apresentar uma aparência mais homogênea e assim evitar

que seja utilizado muitas vezes o programa de homogeneização da imagem. Este processo de homogeneização altera a geometria da imagem, contribuindo negativamente na precisão do documento final. Na tabela a seguir, temos os parâmetros e informações das duas classificações.

Tabela 4.6 - Estatísticas das classificações

	CLASSIFICAÇÃO 1	CLASSIFICAÇÃO 2
Limiar	5	6.03
Desempenho médio	97.9 %	99.1 %
Abstenção média	0.4 %	0.2 %
Confusão média	1.6 %	0.7 %

Na figura 4.30, é mostrado graficamente o comportamento espectral das 6 classes identificadas na área de estudo, levando-se em consideração os 4 canais originais e aqueles 4 canais resultantes de filtragem espacial, e selecionados pelo critério da distância JM. Nestes gráficos, pode-se constatar que o nível médio de cinza de cada classe não apresentou uma diferença espectral significativa nas bandas 3,4 e 5 do TM e os respectivos canais com atributos espaciais.

Pode-se constatar, ainda, que a banda 5 do TM (canal 3) apresenta uma melhor separabilidade espectral média entre as 6 classes

Em função das classes a serem discriminadas, a escolha pode recair em outra banda. Exemplo disso é o caso das classes "solo exposto" e "reflorestamento", cuja separabilidade é mais evidenciada na banda 7 TM, 3 TM ou no canal 5 dos atributos espaciais (que é resultado da banda 3 TM suavizada). Assim, caso fosse necessário, para a través de análise visual, discriminar as duas classes acima citadas, o usuário deveria adquirir somente a banda 3 TM. É oportuno ressaltar que o emprego de 4 canais na fase automática independe se originais ou atributos espaciais, obteve um desempenho médio na separabilidade das 6 classes superior a 95%.

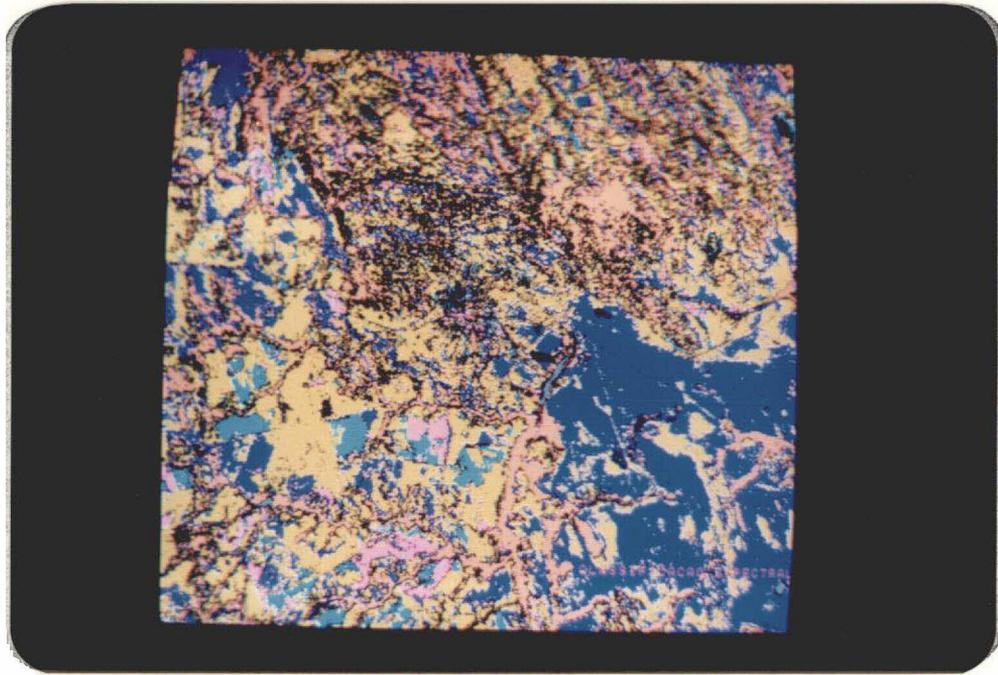


Fig. 4.26 - Resultado da classificação espectral

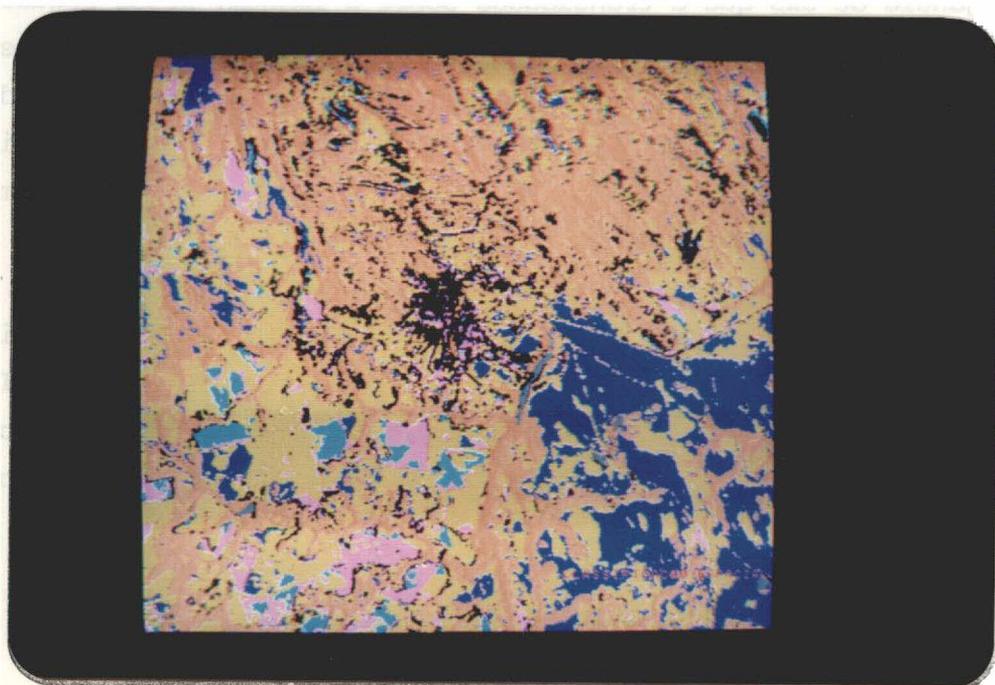


Fig. 4.27 - Resultado da classificação espacial

4.2.4 - HOMOGENEIZAÇÃO DA IMAGEM

Os mapas resultantes de processos de classificação apresentam uma aparência não homogênea, devido ao ruído introduzido pelo processo de quantização, pelo sistema sensor e aos próprios erros de classificação, etc. Ou seja, ao se observar os resultados, existirão, muitos pixels isolados ou pequenos grupos de pixels com classificação divergente de seus vizinhos.

Desta maneira, faz-se necessária uma fase de homogeneização da imagem, onde operações são realizadas sobre o mapa classificado, de maneira a reduzir a aparência ruidosa da imagem.

O algoritmo utilizado neste trabalho é uma variante da proposta feita por Goldberg et alii (1975). O programa utiliza um filtro de máxima vizinhança (Dutra et alii, 1985) e, basicamente, focaliza uma janela de 3x3 que é transladada sobre a imagem. Nessa região de 3x3, conta-se o número de vezes que aparece cada classe, sendo que a classe do pixel central é contada P vezes, onde P é o peso fornecido pelo analista. O ponto central é reclassificado para a classe de maior frequência, desde que essa frequência seja maior que um certo limiar (L) estabelecido pelo usuário.

Para o processo de detecção de bordas de uma região classificada, primeiro usa-se o filtro de máxima vizinhança (UNITOT) uma ou mais vezes, para eliminar pontos e buracos isolados ou mesmo pequenos grupos de pontos ou buracos dentro do tema de interesse, com o objetivo de deixar a imagem mais homogênea.

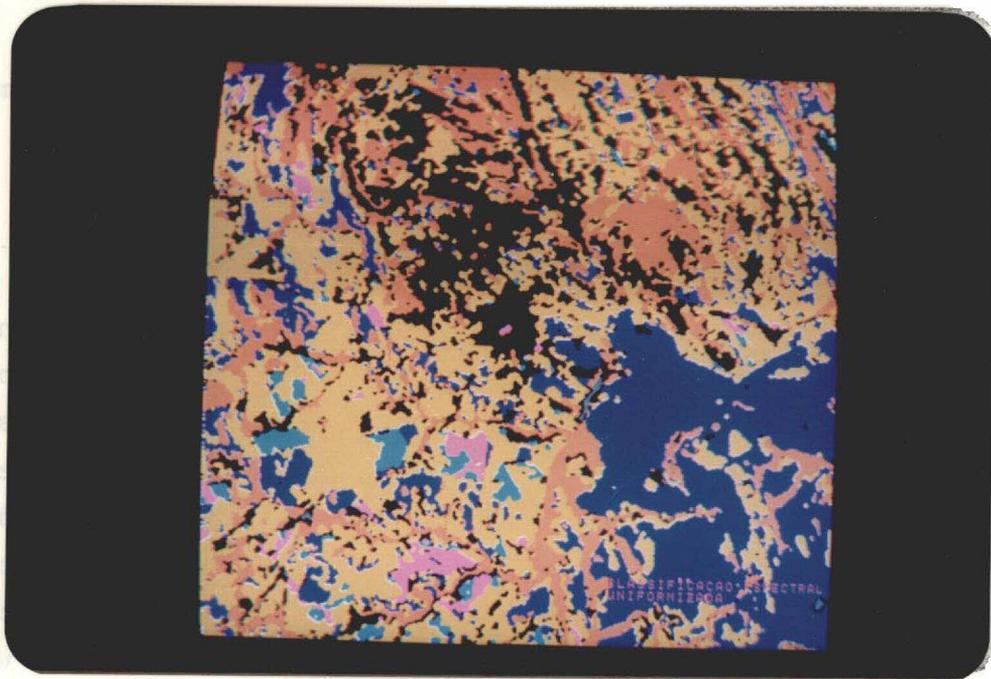


Fig. 4.28 - Classificação espectral
utilização do filtro de máxima vizinhança
10 vezes; peso = 2; limiar = 2.

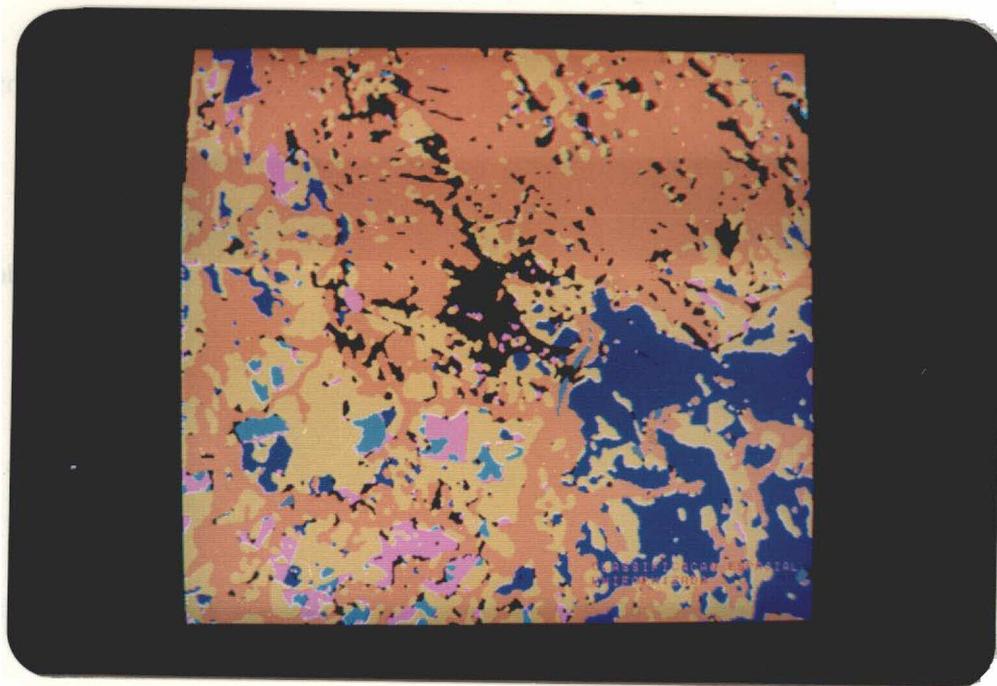


Fig. 4.29 - Classificação espacial
utilização do filtro de máxima vizinhança
6 vezes; peso = 2; limiar = 2.

4.2.5 - EXTRAÇÃO DE ÁREAS

A finalidade deste processo é de a partir de uma imagem classificada, extrair determinadas áreas definidas pelo usuário, em função de um limite adotado.

O algoritmo desenvolvido (Monteiro et alii, 1985) para o I-100 é uma variante do proposto por Ballard (1980) e visa identificar essas áreas e medi-las (contagem de "pixels"). Dessa forma, sob cada padrão, é utilizado um processo que atribui cores e estas áreas. Fazendo equivalência entre cores, são identificadas as áreas da imagem, o que é chamado de "descrição dos "blobs" (áreas de certo padrão) da imagem", onde são encontrados: o número de blobs, sua área e suas cores constituintes. Tendo esta informação, a decisão é então do usuário, que define as áreas a serem extraídas, segundo um limite ligado ao valor da área. Definido isto, passa-se então à fase seguinte, na qual 2 (dois) processos poderão ser adotados:

- 1) A simples eliminação da área;
- 2) A inclusão da área na classe que a envolve mais densamente.

4.2.6 - EXTRAÇÃO DE BORDAS

Esta fase do processamento foi executada através de testes de 2 (dois) algoritmos que extraem as bordas a partir de uma imagem classificada.

Durante o processo de classificação da imagem, as classes de maior interesse foram rotuladas com os valores maiores.

A seguir, serão descritos os 2 (dois) métodos utilizados:

1) Neste método (Paiva et alii, 1985), todas as linhas da imagem são lidas (duas a duas), sendo que cada pixel de uma determinada linha (posição (x,y)) é comparado com o pixel da posição seguinte $(x,y+1)$ e com os 2 (dois) das mesmas colunas e da linha seguinte $(x+1,y)$; $(x+1,y+1)$), conforme janela abaixo:

Tabela 4.7 - Janela 2x2 utilizada no processo de extração de bordas.

(x,y)	$(x,y+1)$
$(x+1,y)$	$(x+1,y+1)$

Se todos os pixels forem iguais, então os mesmos pertencem a uma mesma classe. Neste caso, é criado 1 pixel de interior entre as posições existentes. Caso contrário, é feito o teste entre os pixels vizinhos (um a um) e criado o pixel de fronteira somente entre os "vizinhos" diferentes.

Como neste processo a imagem é 2 vezes ampliada, torna-se necessário que seja feita uma reamostragem, para que no início do processo a mesma esteja ocupando apenas 1 (um) quadrante do vídeo do I-100.

2) No segundo método (Araujo et alii, 1985), a imagem é lida da mesma forma, isto é, de duas em duas linhas é utilizada a mesma janela do primeiro método para as comparações. No caso dos quatro elementos pertencerem a mesma classe, a imagem original é inalterada e em outro canal é criado 4 pixels de interior. Caso contrário, se pelo menos 1 pixel pertencer a classe diferente, são traçados os seguintes procedimentos:

- 1) na imagem original, são rotulados os pixels que pertencerem à classe de maior valor; e
- 2) na nova imagem, na posição do pixel ou pixels que pertencerem à classe de maior valor, são criados pixels de fronteira

ras e nas outras posições são criados pixels de interior.

Neste método, existe erro de $1/2$ pixel na detecção das bordas, pois são considerados como elementos de bordas os pixels de fronteiras pertencentes à classe de maior valor.

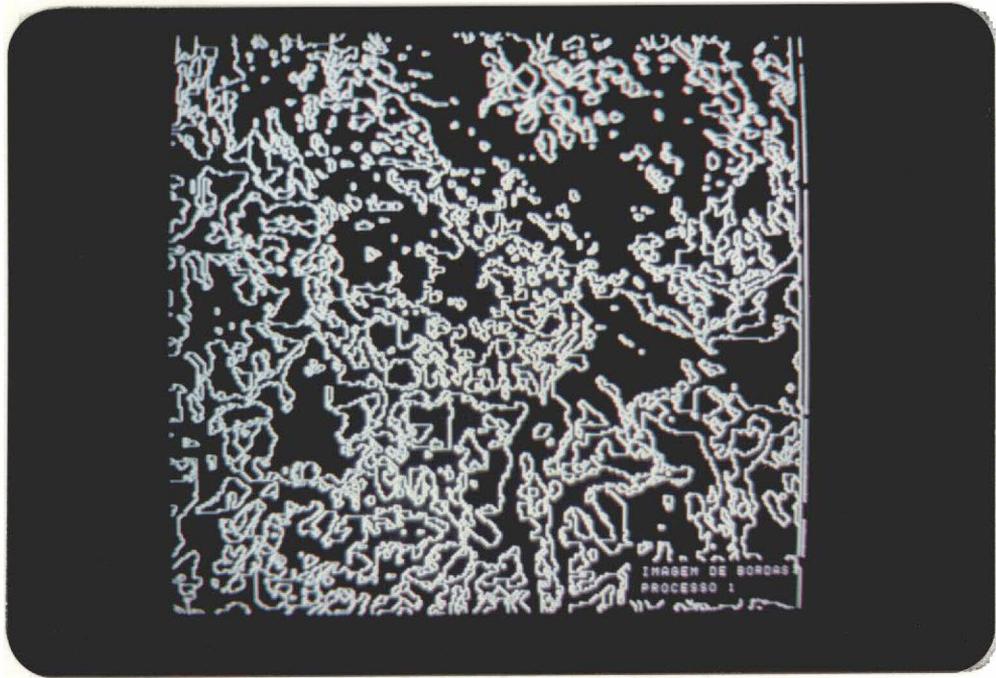


Fig. 4.30 - Imagem de bordas - processo 1

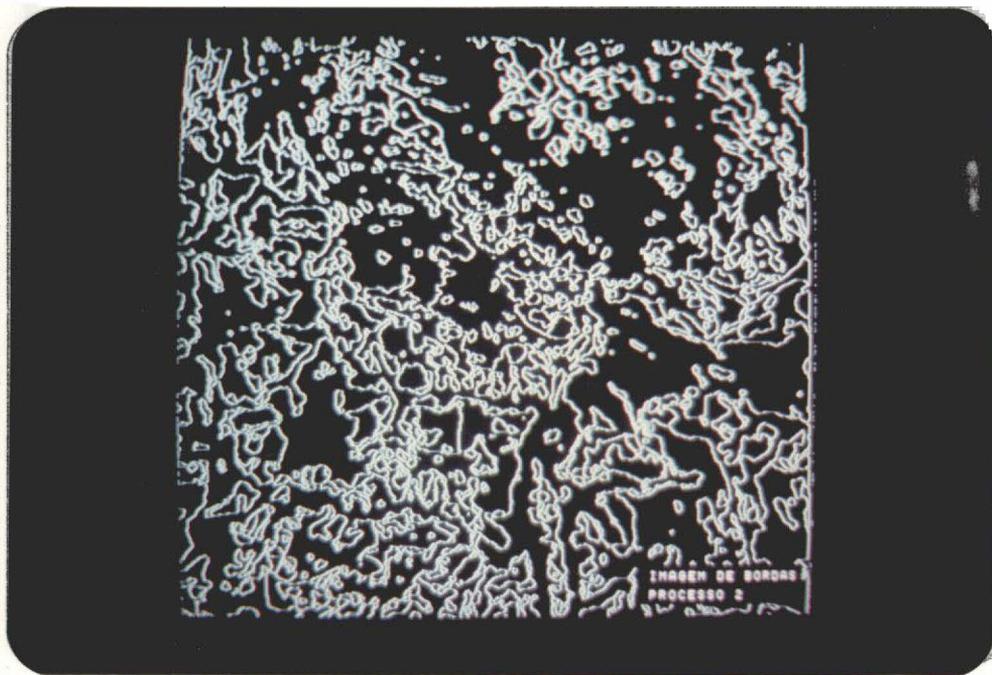


Fig. 4.31 - Imagem de bordas - processo 2

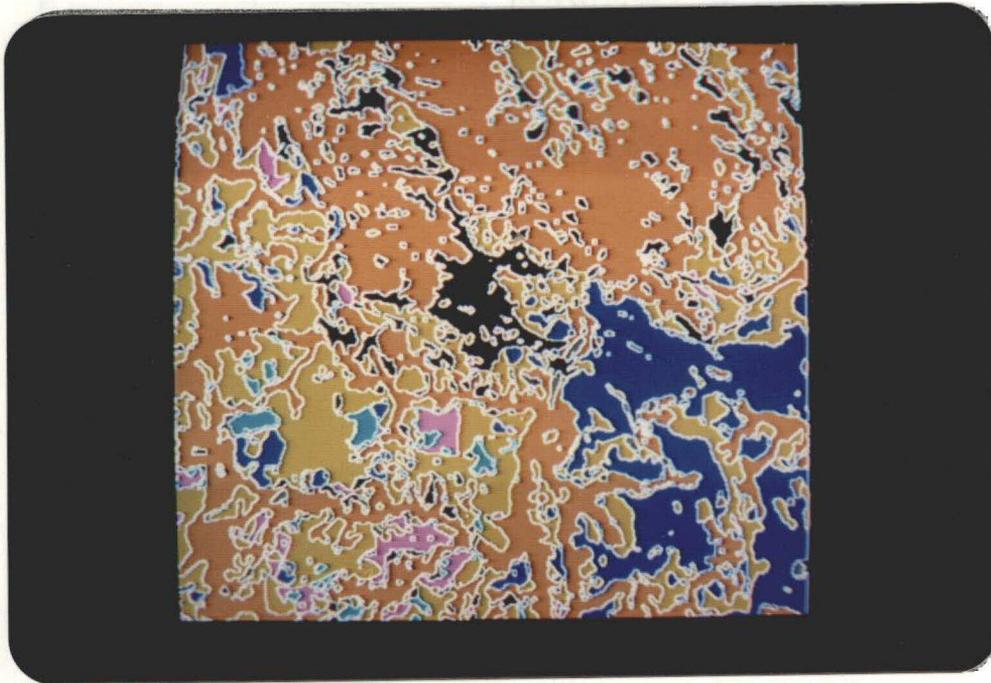


Fig. 4.32 - Imagem classificada com limite das classes processo 2.

4.2.7 - TRANSFORMAÇÃO DE DADOS "RASTER" EM ESTRUTURA VETORIAL

Para a utilização de dados "raster" na confecção de mapas poligonais por um dispositivo de computação gráfica, os dados têm que ser processados e estruturados de forma que tenham apenas 2 (dois) tipos de informação: bordas e interior.

Com o advento da aplicação de dados de sensoriamento remoto, tem sido intensamente abordado o fato da transformação destes dados numa estrutura vetorial, principalmente para aplicação em cartografia, tal como Peuquet (1981) que descreve um processo mas direciona apenas para a criação das linhas. Outros métodos mais sofisticados (Muller et alii, 1982) já tratam da criação dos polígonos e até associação do polígono ao tema ao qual ele pertença.

Pelo fato de as imagens LANDSAT serem extremamente heterogêneas, isto é, apresentam características não muito bem definidas, faz-se necessário um trabalho de pós-processamento, na qual são extraídas as áreas que sejam menores do que um determinado limiar, inclusive para extração de pontos isolados ou até mesmo ruídos, após o processo de classificação, para que a imagem se torne mais homogênea.

Este sistema, que é o escopo desta dissertação, foi projetado com a finalidade apenas de, a partir de dados "raster", criar um arquivo de linhas num formato vetorial, para que as mesmas sejam recuperadas por uma plotadora e assim gerar um produto temático utilizado para atualização cartográfica.

4.2.7.1 - TÉCNICA DE "CHAIN CODE"

Uma operação comum numa análise de uma cena é a de transformação de uma imagem representada por níveis de cinza em uma representação binária, onde são conectados sequencialmente os pixels de valor "1", representando características extraídas da imagem, tais como bordas, regiões ou linhas.

Para a conversão da posição do pixel na imagem para um código de cadeia ("chain code"), uma janela de 3x3 elementos é utilizada numa estrutura "raster", na qual a posição dos 8 vizinhos é representada através de código que varia de 0 a 7, como mostra a tabela 4.8 (Chakravarty, 1981).

Tabela 4.8 - Janela 3x3 utilizada no processo de "chain code".

3	2	1
4	(x,y)	0
5	6	7

Nesta técnica, o pixel central (x,y) é o ponto de teste, sendo que os 8 vizinhos são verificados e apenas 1 (um) será eleito o ponto de borda. Neste caso, será armazenado o número (0 - 7) referente a sua posição na janela. Esta técnica possibilita uma otimização quanto ao espaço de memória requerida, pois não precisa utilizar 2 (duas) palavras para armazenar a posição (x,y) do pixel de borda.

4.2.7.2 - ESTRUTURA PARA ARMAZENAMENTO DOS PONTOS

Um segmento de linha é definido como uma cadeia consistindo de uma seqüência de pixels de valor "1", isto é, pertencentes a bordas, e ligados entre si, sendo que foi considerada a vizinhança 4 para a definição dos segmentos.

Este segmento de linha é representado por uma lista seqüencial, onde é armazenado apenas o endereço ou posição do início e final da lista. Os demais elementos da lista são armazenados através da técnica de "chain code". Desta forma, cada posição intermediária da lista necessita de apenas 3 bits para o armazenamento da posição.

A escolha da representação por lista, deveu-se ao fato

de que podem ser feitas inclusões tanto no começo como no final da lista. No caso de estar-se trabalhando com uma imagem particionada, pois o visualizador de imagens do I-100 trabalha com uma imagem de no máximo 512x512 pixels de cada vez, esta condição torna-se importante. Esta ligação é feita através de ponteiros, que são identificados pelo endereço do fim da lista. Além disso, é uma estrutura simples e de tamanho variável, dependendo, logicamente, do número de elementos da linha.

x_i	y_i	*	*	*	x_f	y_f	NP
-------	-------	---	---	---	-------	-------	-------	----

x_i → coordenada x do início da linha;

y_i → coordenada y do início da linha;

x_f → coordenada x do final da linha;

y_f → coordenada y do final da linha;

* → posições referenciadas através de "chain code"

NP → número de pontos

Fig. 4.33 - Representação do armazenamento dos pontos.

4.2.7.3 - ESTRUTURA DE ARQUIVOS PARA ARMAZENAMENTO DAS LINHAS

Para o armazenamento das linhas, foi utilizado um arquivo seqüencial. Esta estrutura foi eleita por ser a maneira mais simples para o armazenamento da informação. A mesma não requer uma estrutura mais complexa, pois o arquivo contém apenas 1 (um) nível de informação, isto é, valores de coordenadas dos pontos (x,y), e a recuperação desta informação poderia ser aleatória, desde que se obtenha 1(uma) linha de cada vez.

Para tanto, utilizou-se um "array" de tamanho variável que, ao ser preenchido por uma linha (seqüência de pontos), é automaticamente transferido para o arquivo de linhas (fita magnética de 1600 bpi), sendo novamente preparado para a utilização pela próxima linha e assim, sucessivamente, até todas as linhas serem armazenadas.

4.2.7.4 - DESCRIÇÃO DO ALGORITMO DE TRANSFORMAÇÃO "RASTER-TO-VECTOR"

O algoritmo utilizado (Araujo et alii, 1985) é uma variante do método de perseguição por busca em todas as direções para detecção de bordas (Mascarenhas et alii, 1984). Ele está, basicamente, estruturado em três partes distintas:

- 1) Detecção e criação de um arquivo de nós.
- 2) Extração e armazenamento das linhas em uma estrutura vetorial, a partir dos pontos de nós.
- 3) Detecção e armazenamento das linhas em uma estrutura vetorial, a partir dos pontos de nós.

INÍCIO-EXTRAI-LINHA

definição das variáveis

inicializações

início do processo de detecção dos nós

carregar as duas primeiras linhas da imagem

no buffer rotativo

PARA todas as linhas restantes, FAÇA

carregue linha no buffer rotativo.

DA segunda linha até N-1 FAÇA

SE é ponto de borda

ENTÃO

verifique vizinhança

SE vizinhança > 2

ENTÃO

o ponto é um NÓ

guarde no arquivo de NÓ

FIM

FIM

FIM

FIM

quando a imagem for toda varrida
seguir em frente para perseguição das linhas
ENQUANTO EXISTIR PONTO DE NÓ
FAÇA

- (1) consultar o arquivo de nó
armazenar a posição do nó
em um registro de linha
- (2) perseguir o próximo ponto de borda
testar os 4 vizinhos
utilizar a técnica de "chain code" para
armazenar a posição do ponto de borda
no registro de linha
testar final da linha
SE LINHA TERMINAR
ENTÃO
armazeno a linha
no arquivo de linhas
vá para (1)
SENÃO
vá para (2)

FIM-ENQUANTO

- (3) varrer novamente a imagem
SE ENCONTRAR PONTO DE BORDA
ENTÃO
borda pertence a uma ilha
armazenar a posição do ponto

no registro de linha

(4) perseguir a linha testando os 8 vizinhos
e armazenar a posição dos pontos
segundo a técnica de "chain code"

SE FINAL DA LINHA

ENTÃO

armazenar registro de linha
no arquivo de linhas

vá para (3)

SENÃO

vá para (4)

SENÃO

a imagem deverá estar toda zerada
não existe mais borda

FIM-EXTRAI-LINHA

4.2.8 - RECUPERAÇÃO DOS DADOS EM UM SISTEMA DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA

Esta fase foi desenvolvida no ambiente do computador Burroughs B6800 do INPE.

O sistema de recuperação de dados possui como entrada um arquivo (fita magnética) contendo registros de tamanho variável que representam as diversas linhas que formam os polígonos do documento final.

Este sistema pode ser subdividido em três subsistemas, que são:

- a) decodificação;
- b) redução de dados; e
- c) plotagem.

a) DECODIFICAÇÃO

Os registros ao serem recuperados possuem apenas (com exceção das duas primeiras posições) valores que variam de 0 a 7 (com forma representação do código de cadeia) e que representam as posições que os "pixels" encontram-se na imagem. Desta forma, faz-se necessário que estes valores sejam decodificados em posições x,y, para que os mesmos sejam recuperados por uma plotadora.

b) REDUÇÃO DE PONTOS

Ao iniciar-se este processo, uma linha composta por uma seqüência de pontos já deverá estar toda representada por suas posições x,y na imagem.

Dentre os pontos que compõem uma linha, o algoritmo utilizado (Hsu et alii, 1983) visa manter:

- 1) posição inicial e final da linha;
- 2) os pontos vizinhos aos pontos de canto da linha; e
- 3) no caso particular de uma reta, apenas os pontos ex tremos desta reta.

Da mesma maneira que elimina:

- 1) Os pontos de canto de uma linha;
- 2) Os pontos intermediários de uma linha, com exceção dos vizinhos aos pontos de canto da linha.

Com a aplicação deste algoritmo, existe uma tendência em ser preservada a área total dos polígonos, pois, em determinadas si tuações, os cantos dos polígonos que compõem as classes são eliminados, e, em outras situações, são adicionados, além do protudo final apresen tar, com a eliminação do "efeito escada" oriundo de imagens digital, um aspecto suavizado.

c) PLOTAGEM

A plotagem dos pontos é executada linha após linha e i niciada após ter sido concluído o processo de redução de pontos.

Para a utilização do arquivo de linhas gerado pelo sis tema interativo de análise de imagens multiespectrais (I-100), foi de desenvolvido um programa que cria este mesmo arquivo em disco no computa dor Burroughs 6800 do INPE. O arquivo de linhas em disco é o "input" de um programa (Araujo, 1985) que executa as três fases descritas aci ma e gera como "output" o documento final, ou seja, um documento preli minar contendo os limites entre cada classe de uma imagem Landsat-TM classificada.

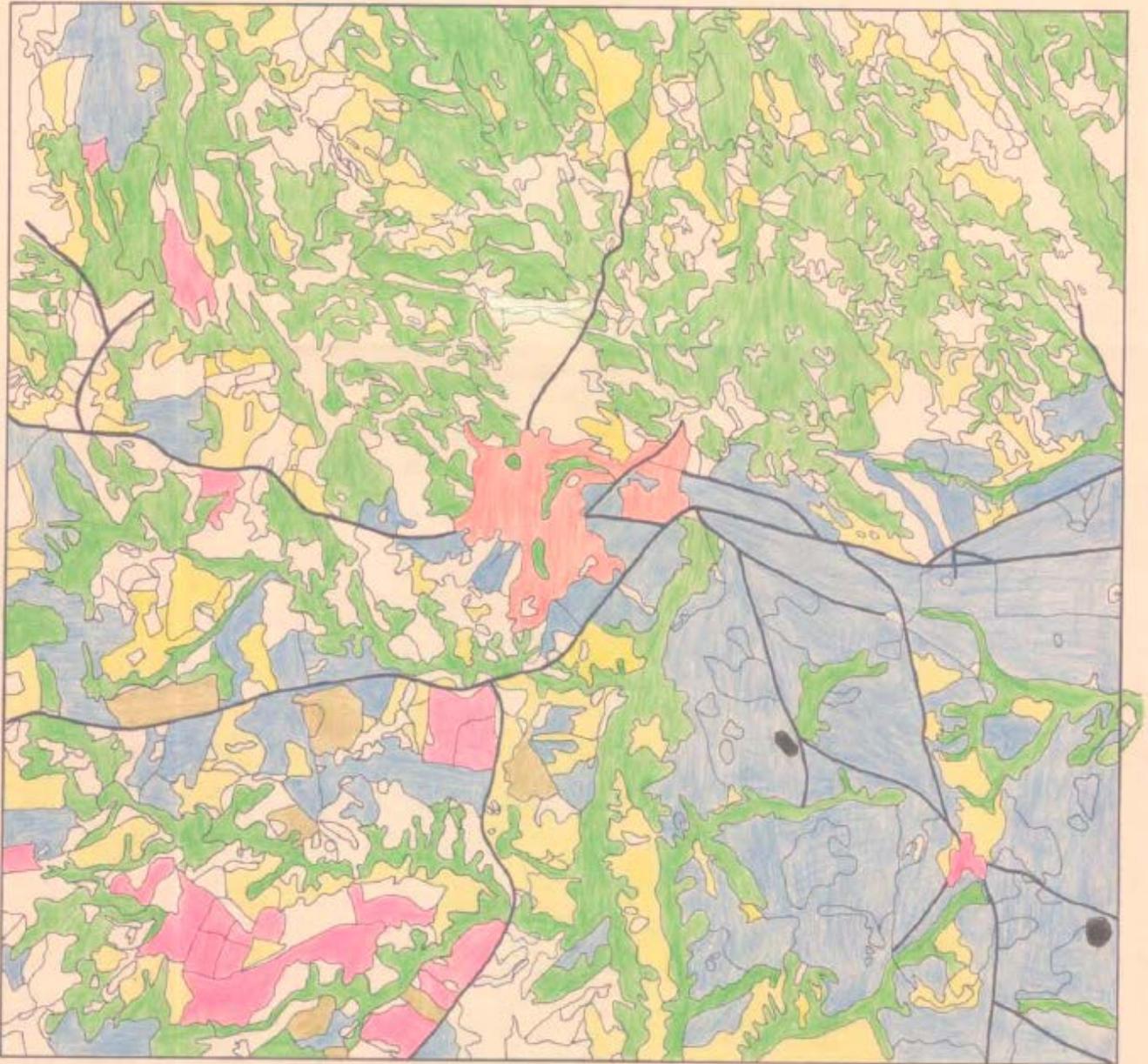


Fig. 4.34 – Imagem de bordas
extração das linhas
através de interpretação visual
escala 1:100000.



Fig. 4.35 - Imagem de bordas
Representação "raster"
impressora gráfica.
sem escala.



Fig. 4.36 – Imagem de bordas
representação vetorial
sem redução de pontos
escala 1:100000.

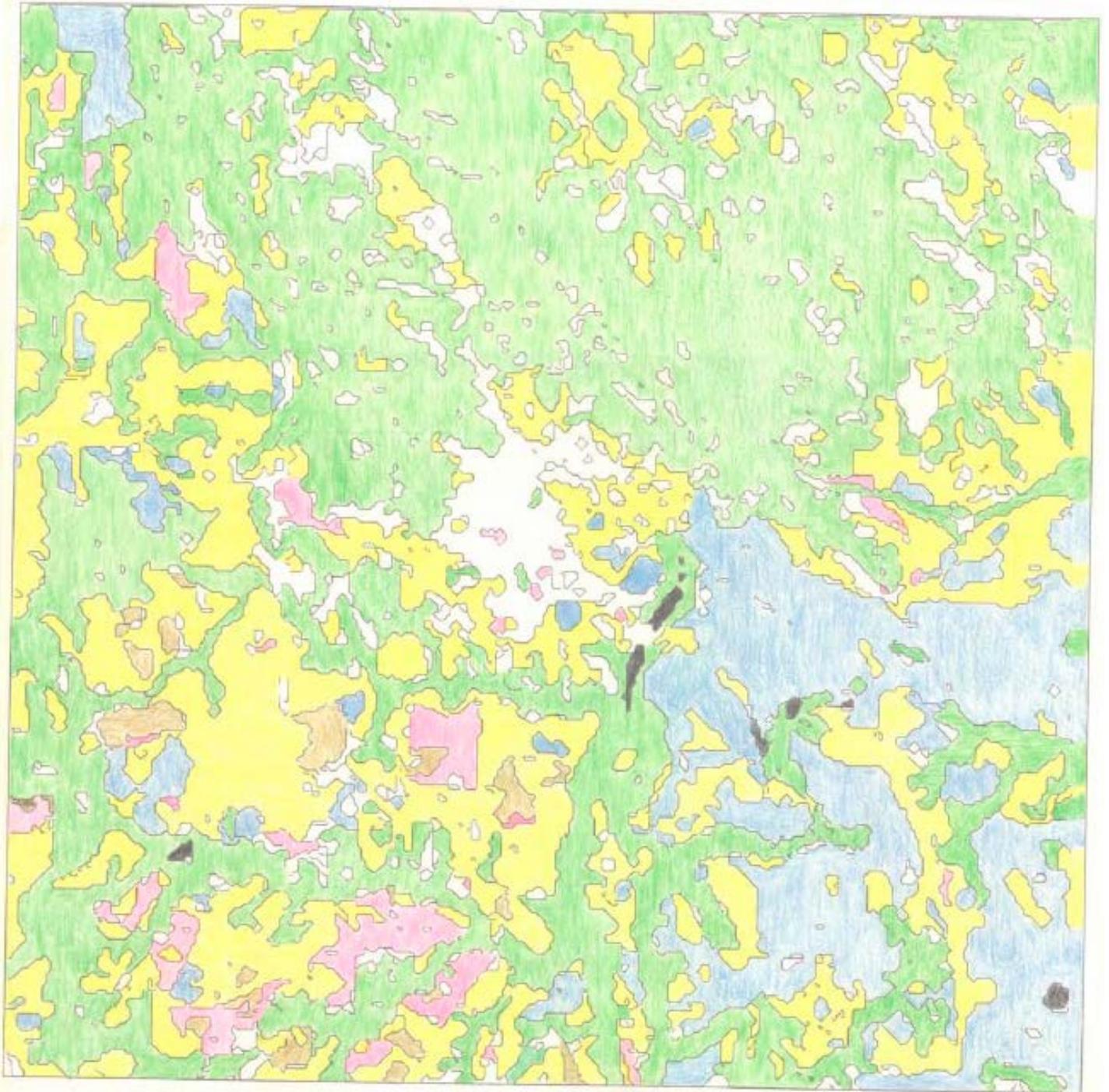


Fig. 4.37 – Imagem de bordas
representação vetorial
com redução de pontos
escala 1:100000.

4.2.9 - CONFECÇÃO DO MAPA POLIGONAL

Para a confecção do mapa poligonal a partir de dados extraídos do sensor TM através de um dispositivo de computação gráfica, foi necessário o cumprimento das fases descritas abaixo:

- Gravação

A gravação foi efetuada, em "scribe", sobre o documento cartográfico obtido através da mesa traçadora vetorial.

- Aplicação de nomenclatura e convenções

A nomenclatura do original cartográfico, incluindo da dos marginais e nomes dos acidentes geográficos, bem como certas convenções, foi aplicada através do processo denominado "colagem", na qual é feita em um plástico maleável translúcido.

- Reprodução fotoplástica

A reprodução fotoplástica foi executada com o objetivo de copiar os traços gravados em "scribe" para um "peel-coat", a fim de se obter, sobre este, o contorno de uma área a ser despeliculada através do método de mascaramento. Utilizou-se 04 plásticos para gravação química, pois foram selecionadas apenas 04 classes para a geração do original cartográfico.

- Copiagem para a prova a cores

E, finalmente, foi executada a copiagem para prova em cores, que é o transporte das imagens dos vários plásticos e filmes que compõem o original cartográfico para um plástico opaco branco, de forma a se obter uma imagem a cores do trabalho executado.

No produto final (mapa poligonal), foram deixados, propositamente, os diversos polígonos das classes não selecionadas (áreas não classificações), apenas para fins de comparação com o produto preliminar gerado pela mesa traçadora vetorial.

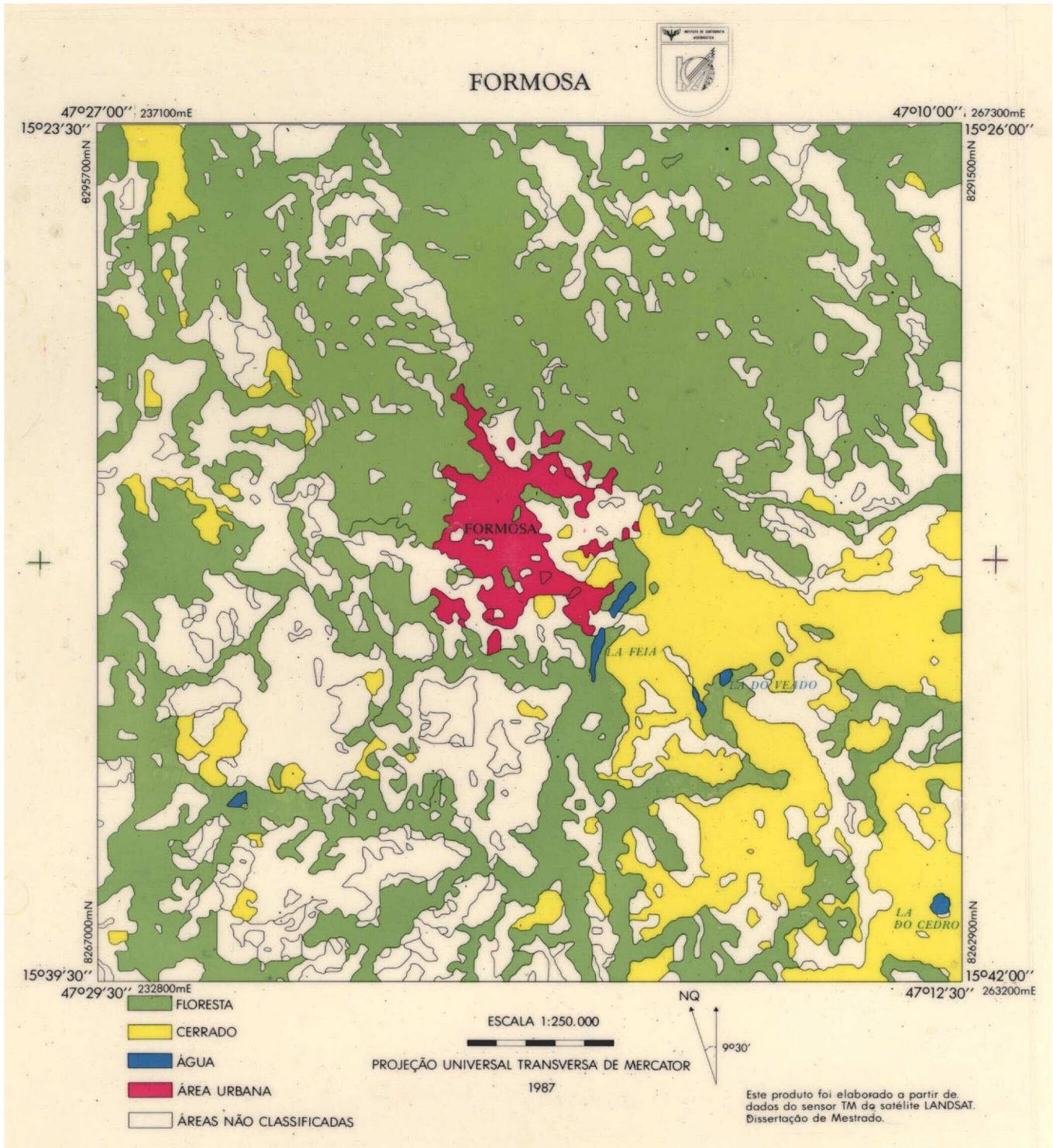


Fig. 4.38 - Mapa poligonal
escala 1:250000

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 - CONCLUSÕES

O sistema para geração do documento contendo os limites das classes de uma imagem de sensoriamento remoto através de uma plotadora está, basicamente, subdividido em três fases que completam-se, e são:

- 1) pré-processamento;
- 2) geração de dados; e
- 3) recuperação de dados.

5.1.1 - PRÉ-PROCESSAMENTO

Na fase de pré-processamento, estão incluídas as operações de correção geométrica da imagem a partir de pontos de controles extraídos de um documento padrão (carta topográfica), a classificação e homogeneização da imagem e, finalmente, o processo de extração das bordas.

5.1.1.1 - REGISTRO DA IMAGEM

Para a execução do registro da imagem com a carta, foi necessário desenvolver um programa que utiliza uma transformação de similaridade, a fim de tornar compatível um determinado número de pontos de controle digitalizados da carta (foram utilizados 25 pontos) com o sistema do I-100. A partir do arquivo de pontos de controle normalizados, foi executado um mapeamento polinomial, sendo considerado os pontos de controle da carta como documento padrão. Para o mapeamento, utilizou-se polinômios de grau 1 até 5 e calculado o erro médio quadrático

co de cada polinômio. A diferença do erro médio quadrático entre os polinômios de grau 5 e grau 1 foi de 2.280 pixels, porém este erro foi calculado sobre os mesmos pontos que serviram de coeficientes dos polinômios, isto é, o erro é tendencioso. Sendo que o polinômio de grau 5 utiliza mais tempo de processamento e exige uma quantidade de pontos de controle bem maior, pois as regiões desprovidas de pontos apresentam distorções significativas.

Os GCP's localizados nos cantos têm um peso maior que os localizados no interior da imagem, em um ajustamento polinomial, principalmente quando utilizados polinômios de grau mais elevado (grau 4 ou 5).

Pelo exposto, no presente trabalho, foi utilizado o polinômio de grau 1, que apresentou um erro médio quadrático de 6.158 pixels, sendo que o erro inicial da imagem digital é em torno de 13 pixels.

5.1.1.2 - CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM

Uma classe de bastante interesse na fase de classificação seria a "área urbana", porém esta classe foi eliminada da classificação, pois os classificadores testados (MÉDIA-K e MAXVER) não conseguiram separar corretamente esta classe, devido a grande variação de informação espectral apresentada pela classe. Os classificadores tendem a separar mais corretamente as classes mais homogêneas (culturas, por exemplo), e a região utilizada para execução do trabalho (área de Formosa) não apresenta esta característica, o que dificultou, substancialmente, o processo de classificação.

A fase de classificação foi executada utilizando 2 métodos, e em ambos foi empregado o classificador que utiliza o critério da máxima verossimilhança (Velasco et alii, 1978), com um desempenho médio superior a 95%; sendo a estimativa de erro de classificação calculada sobre áreas testes.

No primeiro método, empregou-se as bandas originais (3, 4, 5 e 7) do sensor TM, e no segundo método foram empregados atributos espaciais, sendo, após, selecionados 4 canais pelo processo de seleção de atributos.

Porém, o resultado da classificação utilizando os canais originais apresentou uma aparência bastante ruidosa, havendo a necessidade da aplicação, diversas vezes (10 vezes), de processos para a homogeneização da imagem. Com a aplicação do filtro de máxima vizinhança para o processo de homogeneização (Dutra et alii, 1980), os limites iniciais das classes classificadas são consideravelmente modificados, o que torna desaconselhável a utilização deste filtro para a homogeneização da imagem para trabalhos que exijam uma conservação na forma original da imagem classificada.

No segundo método (atributos espaciais), a imagem classificada apresentou uma aparência bem mais homogênea. Porém com muitos pequenos "buracos" (áreas de rejeição na classificação) no interior das classes. Em vista disto, foi utilizado um algoritmo que preenche os "buracos" através de processo de "dilatação e erosão" (Dutra et alii, 1980). E em apenas quatro passagens do algoritmo de homogeneização (UNITOT) a imagem ficou preparada para a extração das bordas.

Quanto a extração de dados temáticos de uma imagem digital, poderíamos relacionar algumas vantagens e desvantagens em relação a interpretação visual:

a) Vantagens:

1) O computador tem mais facilidade para analisar simultaneamente o comportamento espectral em várias faixas de frequência e identificar áreas com mesma características. Isto explica algumas diferenças apresentadas quando comparados os resultados apresentados pelos 2 métodos de classificação (automático e visual).

2) Determinadas classes são difíceis de serem separadas visualmente, como por exemplo, água e floresta.

b) Desvantagens:

1) As classes que apresentam uma alta frequência espacial não apresentaram bom resultado quando classificadas automaticamente.

É oportuno ressaltar que este sistema que gera um produto temático a partir de imagens LANDSAT-TM tem uma melhor aplicabilidade em documentos cartográficos onde a informação mais importante seria referente a cobertura do solo. Sendo que a CAP não possui tal característica, pois as informações mais significativas são referentes aos auxílios à navegação aérea e dados de altimetria. Deve-se ter o cuidado para não sobrecarregar de informações o documento cartográfico, o que acarretaria em uma dificuldade de utilização da CAP.

5.1.1.3 - EXTRAÇÃO DE BORDAS

Foram desenvolvidos dois métodos para a extração das bordas da imagem classificada. O primeiro método (Araujo, 1985) possui como ponto favorável o fato de trabalharmos com a imagem no seu tamanho original, criando uma nova imagem com os limites das classes em outro canal. Porém, em determinadas regiões de fronteiras entre várias classes, onde na realidade deveria existir apenas 1 ponto de nó, foram detetados mais que um ponto de nó, o que torna o método irregular.

Desta maneira, foi utilizado o segundo processo (Paiva et alii, 1985), na qual existe uma restrição de aplicar uma reamostragem, reduzindo a imagem a 1 quadrante, pois o método acrescenta "pixels" de borda ou interior (255 ou 0) entre os "pixels" existentes, deixando a imagem, após o processamento, novamente em seu tamanho original.

Nesta fase de pré-processamento são acrescentados os diversos erros que podem comprometer a qualidade, em termos de fidelidade geométrica, do documento final.

Poderíamos até concluir que o erro total seria em função do erro de registro, do erro de classificação e do erro de homogeneização, assim:

$$E_t = f(E_r, E_c, E_h)$$

E_t = Erro total
 E_r = Erro de registro
 E_c = Erro de classificação
 E_h = Erro de homogeneização

Sendo que o erro de registro poderia ser calculado pelo erro médio quadrático, porém os erros de classificação e homogeneização necessitariam de um estudo mais detalhado.

A constatação básica é a inviabilidade de utilização do produto digital LANDSAT-TM processado pelo INPE para trabalhos que exijam uma precisão cartográfica (Araujo et d'Dalge, 1986). Tal afirmação pode ser ratificada pelos resultados obtidos após o mapeamento polinomial, através do cálculo do erro médio quadrático (RMS). Não obstante, esta situação vem de encontro ao esforço que o INPE, apesar de alguns problemas de suporte computacional, vem realizando para fornecer um produto digital corrigido com precisão de 1,5 "pixels", qualidade esta idêntida aos seus produtos analógicos.

5.1.2 - GERAÇÃO DE DADOS

Nesta fase encontra-se o processo de transformação de uma estrutura "raster" para vetorial. No algoritmo de transformação para a extração dos pontos de nó, foi utilizada vizinhança 4, porém na extração das linhas testou-se a vizinhança 8 e 4.

Com a vizinhança 8, não foram atingidos bons resultados, pois as linhas ficam interrompidas toda vez que aparece uma seqüência do tipo 6,4,4 (segundo código de cadeia). Pois utilizando esta vizinhança a seqüência fica representada por 5,0 e a linha é interrompida

automaticamente, devido à convenção do teste dos vizinhos começar pela posição 0 (zero) no sentido trigonométrico.

Optou-se pela vizinhança 4, pois a imagem de bordas foi gerada a partir de testes com vizinhança 4, atingindo bons resultados.

O método mostrou-se bastante eficiente, sendo que o tempo computacional melhora sensivelmente, à medida que são detetados um maior número de pontos de nós. Porém, o I-100 apresenta determinados ruídos (hardware), o que dificulta o processo de extração das linhas, pois as posições ruidosas não são extraídas e, como consequência, a linha fica interrompida.

Também observou-se que as imagens Landsat apresentam uma quantidade muito grande de ilhas, isto é, segmentos de linha fechados causando um maior esforço computacional, pois, para detetar uma ilha, é necessário que a imagem seja acessada do início, tornando o método mais oneroso.

As linhas foram extraídas e armazenadas numa estrutura de lista seqüencial (arquivo de linhas), sendo que utilizando o método de "chain code" possibilita a opção de armazenar o endereço do início e fim da lista, para um possível encadeamento com outras listas ou somente o endereço inicial da lista para possibilitar simplesmente a recuperação da linha.

Como o objetivo é de somente recuperar todos os polígonos de uma imagem de bordas, foi utilizada a segunda opção, isto é, armazenamento da posição inicial das linhas.

5.1.3 - RECUPERAÇÃO DOS DADOS

Este subsistema de recuperação dos dados possui como "entrada" um arquivo contendo as linhas da imagem de bordas.

Após a decodificação das linhas, é ativado um processo que tem a finalidade de reduzir os pontos de uma determinada linha. O algoritmo utilizado torna-se mais eficiente, isto é, reduz uma quantidade maior de pontos, à medida que é minimizada a mudança de direção em uma linha. No caso mais desfavorável, isto é, quando a mudança de direção for máxima em uma linha, o número de pontos desta linha é reduzido pela metade. E a mesma linha que tinha uma aparência "quebrada", oriunda de imagens digitais, passa a ter uma única direção, tornando-se retilínea.

Após o processo de redução de pontos, as linhas são plotadas iterativamente, até que todas sejam recuperadas, e, assim, gerando um documento contendo o limite entre as diversas classes de uma imagem classificada.

O sistema poderá fornecer também um documento contendo apenas as bordas de cada classe isoladamente, para facilitar o processo de atualização cartográfica.

5.2 - RECOMENDAÇÕES FINAIS

1) Para a fase de correção geométrica de uma imagem digital, recomendamos que seja aplicado o mapeamento polinomial em regiões mais homogêneas (planas) (áreas de culturas), pois, em regiões acidentadas, este tipo de ajustamento obteve um desempenho mais fraco.

2) Para o ajustamento polinomial, os GCP's foram extraídos de cartas topográficas na escala de 1:100000. Sugere-se que seja aplicada esta técnica de correção em áreas na escala de 1:50000. Deve-se ressaltar que com a ampliação da escala, diminui a probabilidade na obtenção de GCP's, por que a área a ser analisada é reduzida, porém os mesmos terão uma melhor precisão.

3) Para a etapa de classificação, sugere-se que sejam utilizadas técnicas de atributos espaciais (Dutra et alii, 1982) com o

emprego de novos filtros em diferentes áreas de estudo. O resultado de uma classificação a partir de filtragem espacial apresenta diferentes desempenhos, quando aplicado em regiões com características diferentes.

4) Recomenda-se que para a classificação temática sejam integrados métodos automáticos e visuais, com o fim de aproveitar vantagens que cada processo proporciona.

5) Estudos devem ser desenvolvidos, no sentido de que seja estabelecido o erro em um trabalho de classificação de uma imagem digital.

6) Para a etapa de homogeneização de uma imagem classificada, devem ser verificados algoritmos que não alterem a geometria da imagem ou que minimizem as alterações causadas na forma original da imagem.

7) Recomenda-se a utilização de algoritmos de preenchimento de pequenas áreas não classificadas ou mesmo o preenchimento de pequenas áreas não-significativas pela classe mais envolvente.

8) Para a detecção de bordas, a partir de uma imagem classificada, devem testar-se outros critérios de decisão para a definição dos "pixels" de borda.

9) Recomenda-se a utilização de métodos de extração de bordas a partir de uma imagem não classificada, a fim de evitar os erros oriundos da etapa de classificação.

10) No algoritmo de transformação de estrutura "raster-to-vector", devem verificar-se métodos de otimização, a fim de diminuir o tempo computacional necessário para a execução do processo.

11) Implantação do algoritmo de transformação "raster-to-vector" em um sistema de tratamento de imagens na qual possui acoplada uma mesa traçadora vetorial, para que possa executar, simultaneamente

te, a extração e plotagem das linhas.

12) Na recuperação dos dados através de uma mesa traçadora vetorial, foi testado apenas um método de redução de pontos. Apesar de o método apresentado ter demonstrado ser simples e eficiente, recomenda-se que sejam verificados outros algoritmos, para que se possa fazer uma análise comparativa do processo.

13) Extração de determinadas informações como estrada, por exemplo, através de métodos automáticos, utilizando técnicas de morfologia matemática.

14) E, finalmente, recomenda-se que, para o processo de obtenção de imagem de bordas por uma mesa traçadora vetorial, seja utilizado um algoritmo de transformação "raster-to-vector" que recupere os polígonos individualmente, possibilitando inclusive que o usuário selecione as classes de interesse para a confecção do mapa poligonal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, C.A.G.; FISCHER, E.U. Conversão de dados em código "raster" para estrutura de dados vetoriais para aplicação em cartografia automatizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 12., Brasília, DF, 1985. Anais. Brasília, SBC, 1985. p. 278-300.
- ARAÚJO, C.A.G.; ALGE, J.C.L. Correção geométrica de imagens: Uma abordagem para o registro de imagens digitais Landsat-TM apoiado em cartas topográficas de grande e média escala In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4. REUNION PLENÁRIA SELPER, 6., Gramado, 10-15, ago., 1986. Anais. São José dos Campos, INPE/SELPER/SBC, 1986. p. 526-530.
- ARAÚJO, C.A.G.; FISCHER, E.U.; MASCARENHAS, N.D.A.; ERTHAL, G.J. Geração de dados temáticos para atualização de Cartas Aeronáuticas de Pilotaagem utilizando imagens Landsat-TM In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4. REUNION PLENÁRIA SELPER, 6., Gramado, 10-15, ago., 1986. Anais. São José dos Campos, INPE/SELPER/SBC, 1986. p. 531-537.
- BARBOSA, M.P. Tratamento automático de imagens. São José dos Campos, INPE, fev. 1984. p. 47-56 (INPE-3001-MD/024).
- BRASIL. Ministério do Exército. Serviço Geográfico. Confecção do original cartográfico. manual técnico. Brasília, 1975.
- BRASSEL, K. Neighborhood computation for large sets of data points. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-ASSISTED CARTOGRAPHY. Reston, VA, 21-25, Sep. 1975. p. 337-345.
- CHAKRAVARTY, I. A single-pass chain generating algorithms for region boundaries. Computer Graphics and Image processing, 15(2):182-193, 1981.
- CHRISMAN, N.R. Topological information systems for geographic representation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-ASSISTED CARTOGRAPHY. Reston, VA, 21-25, Sep. 1975. p. 346-354.

- DOUGLAS, D.H.; PEUCKER T.K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. Canadian Cartographer, 10(2):112-122, Dec. 1973.
- DUTRA, L.V.D.; SOUZA, R.C.M.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C. Análise automática de imagens multiespectrais. São José dos Campos, INPE, ago. 1981. (INPE-2212-MD/009).
- DUTRA, L.V.; MASCARENHAS, N.D.A. Some experiments with spatial feature extraction methods in multiespectral classification. INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 5(2):303-313, 1984.
- DUTRA, L.V.; MOREIRA, J.C. Estudos de métodos de pós-processamento aplicado a problemas de classificação de padrões. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4. REUNION PLENÁRIA SELPER, 6., Gramado, 10-15, ago., 1986. Anais. São José dos Campos, INPE/SELPER/SBC, 1986. p. 562-568.
- ERTHAL, G.J.; OLIVEIRA, M.O.B.; DUTRA, L.V.; CÂMARA, N.G.; SOUZA, R.C.M. Um sistema geográfico de informações para uso com imagens de satélite. São José dos Campos, INPE, 1985. (INPE-3361-PRE/639).
- O FILHO, E.F.; MASCARENHAS, N.D.A.; SONNEMBURG, C.R. Classificação de imagens multiespectrais, através de características de textura. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE-1734-RDE/134).
- FURTADO, A.L.; SANTOS, C.S. Organização de banco de dados. RIO DE JANEIRO, Campus, 1982. p. 153-160.
- GANE, C.; SARSON, T. Structured systems analysis: tools and techniques. New York, NY, System Technologies, 1979. p. 25-35
- GENERAL ELECTRIC. Image-100: user manual. Daytona Beach, FL, 1975.
- HALL, E. Computer image processing and recognition. New York, NY, Academic, 1979.

- HESSDORFER, R. On CAMS, a Computer Augmented Mapping System for the production of thematic maps. In: ANNUAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS AND INTERACTIVE TECHNIQUES - SIGGRAPH 75,2., Bowling Green, OH, jun. 25-27, 1975.
- HARTINGAN, J.A. Clustering algorithms, New York, NY, John Wiley, 1975.
- HSU, S.; HUANG, X. Raster-vector conversion methods for automated cartography with application in polygon maps and feature analysis. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-ASSISTED CARTOGRAPHY, CARTOGRAPHIC AND DATA BANK APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 5., Cristal City, VA, 22-28, Aug. 1982. p. 407-417.
- HSU, S. Automation in cartography with remote sensing methodologies and technologies. Canadian Cartographer, 16(2):183-194, 1979.
- MITSUO II, F.A. Seleção de atributos aplicada a imagens multiespectrais. São José dos Campos, INPE, jan. 1982. (INPE-2303-TDL/072).
- MITSUO II, F.A. Sistema Registro. São José dos Campos, INPE, set. 1982.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Carta Aeronáutica de Pilotagem, folha Brasília; escala 1:250.000. Rio de Janeiro, 1982.
- LOGAN, T.L.; WOODCOCK, C.E. User alternatives in pos-processing for raster-to-vector conversion. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-ASSISTED CARTOGRAPHIC AND DATA BANK APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 5., Cristal City, VA, 22-28, Aug. 1982. p. 495-407.
- MASCARENHAS, N.D.A. Experiências com processamento digital de imagens no INPE. São José dos Campos, INPE, jun. 1984. p. 14-15. (INPE-3293-RPE/608).
- MASCARENHAS, N.D.A.; VELASCÓ, F.R.D. Processamento digital de imagens : São Paulo, USP.IME, 1984. Apresentado na Quadra da Escola de Computação, em 12 a 20 de julho de 1984 na USP. Instituto de Matemática e Estatística.

MENDES, C.L.; BARBOSA, C.C.F.; SOUZA, R.C.M. Digitalizador de coordena das Talos: manual de usuário. São José dos Campos, INPE, L.T.I.D. out. 1983. p. 1-5.

MIRSHAWK, V. Imprimindo maravilhas com a GRAFIX. São Paulo, Nobel, 1985.

MONTEIRO, A.M.V.; COSTA, M.H.A.; DUTRA, L.V. Rotulação de regiões em imagens temáticas. A ser publicado.

MULLER, J.R.; O'CONNORS, R.P. Representing topologic properties in raster data structures. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-ASSISTED CARTOGRAPHY, CARTOGRAPHY AND DATA BANK APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 5., Cristal City, VA, 22-28, Aug. 1982. p. 473-482.

NICOCHOLS, D.A. Conversion of raster coded images to polygonal data structures. In: PECORA SYMPOSIUM, 5., Sioux Falls, SD, 18-21, Oct. 1981. p. 508-515.

PAIVA, J.A.; DUTRA, L.V. Programa Bordix. A ser publicado.

PEUCKER, T.; CHRISMAN, N. Cartographic data structures. American Cartographer, 2(1):55-69, Apr. 1975.

PEUQUET, D.J. An examination of techniques for reformatting digital cartographic data: The raster-to-vector process. Cartographica, 18(1): 34-48, 1981.

RASE, W.D. Computer-assisted thematic mapping with a dedicated minicomputer system. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTER-ASSISTED CARTOGRAPHY. Reston, VA, 21-25, Sep. 1975. p. 352-360.

RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. Manual do usuário do sistema de tratamento de imagens digitais. São José dos Campos, INPE, 1982.

ROBERGE, J. A data reduction algorithm for planar curves. Computer Vision Graphics and Image Processing, 29(1):168-195, 1985.

- ROSENFELD A.; KAK, A.C. Digital picture processing. New York, NY, Academic, 1976. p. 333-403.
- SABINS, F.F. Remote sensing: principles and interpretation. San Francisco, CA, W.H. Freeman, 1978.
- SCHACHTER, B.F.; DAVIS, L.S.; ROSENFELD, A. Some experiments in image segmentation by clustering of local features values. Pattern Recognition, 11(19):25-34, Ago. 1979.
- SILVA, A.J.F.M. Modelo fotogramétrico para correção de imagens MSS-LANDSAT. A ser publicado.
- SOUZA, C.R.; CAMARGOS, L.R.; KUMAR, R.; MASCARENHAS, N.D.A. Algoritmos para classificação de amostras e seleção de atributos de imagens. São José dos Campos, INPE, 1980. p. 2-9. (INPE-1718-RPE/608).
- SWAIN, P.H.; KING, R.C. Two effective feature selection criteria for multispectral remote sensing. West Lafayette, IN, Purdue University, 1973.
- TOLL, D.L. Effect of Landsat Thematic Mapper sensor parameters - on land cover classification. Remote Sensing of Environment, 17(2):129-140, Apr. 1985.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. Sistema MAXVER: Manual de descrição de programas. São José dos Campos, INPE, jun. 1979. 145 p. (INPE-1499-RPI/004).

APÊNDICE A - ALGORITMO DE EXTRAÇÃO DE BORDAS 1

Pseudo-Código do programa do primeiro algoritmo para extração de bordas a partir de uma imagem classificada.

a) ALGORITMO DE EXTRAÇÃO-DE-BORDA (1)

Início Extrai-borda (1)

Definições das variáveis

Ler imagem de 2 em 2 linhas

Enquanto linha < última linha

Faça

Enquanto coluna < última coluna

Faça

Comparar os 4 vizinhos entre si

através de 1 janela de 2x2

Se vizinhos pertencerem a classes diferentes

Então

 Criar pixel de borda entre as classes

Senão

 Criar pixel de interior entre as classes

Fim-se

Coluna=coluna+1

Fim-Enquanto

Linha=linha+1

Coluna=1

Ler imagem de 2 em 2 linhas

Fim-enquanto

Fim Extrai-borda (1)

APÊNDICE B - ALGORITMO DE EXTRAÇÃO DE BORDAS 2

Pseudo-Código do programa do segundo algoritmo para extração de bordas a partir de uma imagem classificada.

Início Extrai-borda (2)

Definição das variáveis

Enquanto linha < última linha

Faça

Ler 2 linhas de cada vez

Enquanto coluna < última coluna

Faça

pegar 1 janela de 2x2

Se existir vizinho = rótulo

Então

Testar somente os outros vizinhos

Senão

Testar os 4 vizinhos

Fim-se

Se vizinhos pertencem a classes diferentes

Então

Criar novo imagem em outro canal

Mover 255 para os pixels de maior valor

Mover 0 para os outros pixels

Na imagem original

Mover rótulo para os pixels de maior valor

Senão

- B.2 -

Mover 0 para os 4 pixels

Fim-se

Coluna=coluna+1

Fim-enquanto

Fim-enquanto

Fim-enquanto

Fim-Extrai-borda(2)

APÊNDICE C - ALGORITMO DE TRANSFORMAÇÃO "RASTER-TO-VECTOR"

Pseudo-Código do programa do algoritmo de transformação de uma estrutura "raster" para vetorial, para que o mesmo possa ser implementado em qualquer linguagem de programação.

```
INÍCIO-EXTRAI-LINHA
Definição das variáveis
Inicializações
Início do processo de detecção dos nós
k=1
l=1
PARA I DE 1 ATÉ N=total de linhas da imagem
FAÇA
    leia linha I-1,I,I+1
    cont=0
    testar 4 vizinhos
    k=k+1
    PARA J DE 2 ATÉ M-1
    FAÇA
        SE k=2 OU k=N-1 OU J=2 OU J=M-1
        ENTÃO
            SE IMAG(K,J)=1
            ENTÃO
                arqnoy(1)=K
                arqnox(1)=J
                vá para o próximo
            SENÃO
                continue
```

```
SENÃO
    continue
SE IMAG(K,J)=1
ENTÃO
    SE IMAG(K,J)=IMAG(K-1,J)
    ENTÃO
        cont=cont+1
SENÃO
    continue
SE IMAG(K,J)=IMAG(K,J-1)
ENTÃO
    cont=cont+1
SENÃO
    continue
SE IMAG(K,J)=IMAG(K+1,J)
ENTÃO
    cont=cont+1
SENÃO
    CONTINUE
SE IMAG(K,J)=IMAG(K,J+1)
ENTÃO
    cont=cont+1
SENÃO
    continue
SE cont < 3
ENTÃO
    não é ponto de nó
    continue
```

SENÃO

arqnoy(1)=K

arqnox(1)=J

l=l+1

SENÃO

continue

próximo

FIM-SE

FIM-PARA

FIM-PARA

perseguição das linhas

PARA I DE 1 ATÉ l=total de nós

FAÇA

X=arqnox(I)

Y=arqnoy(I)

res-linha(1)=X

res-linha(2)=Y

ler as linhas Y-1,Y,Y+1

criação de um registro de linhas

armazenar a posição do nó neste registro

perseguir a linha até o próximo nó

testar os 8 vizinhos

mx=mx+1

teste SE IMAG(X,Y)=IMAG(X,Y-1)

ENTÃO

gravo posição (x,y-1) no registro de linhas

utilizar técnica de "chain code"

linha(mx)=6

ENTÃO

linha(mx)=7

aux1=X+1

aux2=Y-1

vá para fim-teste

SE IMAG(X,Y)=IMAG(X+1,Y+1)

ENTÃO

linha(mx)=1

aux1=X+1

aux2=Y+1

vá para fim-teste

SENÃO

SE IMAG(X,Y)=IMAG(X-1,Y+1)

ENTÃO

linha(mx)=3

aux1=X-1

aux2=Y+1

vá para fim teste

SENÃO

SE IMAG(X,Y)=IMAG(X-1,Y=1)

ENTÃO

linha(mx)=5

aux1=X-1

aux2=Y-1

vá para fim-teste

SENÃO

vá para fim-da-linha

```
aux1=X
aux2=Y-1
vá para fim-teste
SENÃO
  continue
SE IMAG(X,Y)=IMAG(X,1,Y)
ENTÃO
  linha(mx)=0
  aux1=X+1
  aux2=Y
  vá para fim-teste
SENÃO
  SE IMAG(X,Y)=IMAG(X,Y+1)
  ENTÃO
    linha(mx)=2
    aux1=X
    aux2=Y+1
    vá para fim-teste
  SENÃO
    SE IMAG(X,Y)=IMAG(X-1,Y)
    ENTÃO
      linha(mx)=4
      aux1=x-1
      aux2=y
      vá para fim-teste
    SENÃO
      SE IMAG(X,Y)=IMAG(X+1,Y-1)
```

```
fim-teste
IMAG(X,Y)=0
X=aux1
Y=aux2
testar se imag(x,y) = ponto de nó
CHAMAR TESTA-FIM-LINHA
SE RÓTULO = 0
ENTÃO
    linha continua
    ler linha Y-1,Y,Y+1
    mx=mx+1
    vá para teste
SENÃO
    vá para fim-da-linha
FIM-SE
fim-da-linha
gravar reg-linha (linha(mx)) em um
arquivo de linhas
apagar reg-linha
P=I-2
IL=P+L
varrer novamente a imagem
PARA I DE 2 ATÉ N-1
FAÇA
    PARA K DE 1 ATÉ M=total de colunas
    FAÇA
        SE IMAG(L,K)=1
        ENTÃO
```

linha(1)=IL

linha(2)=K

CHAMAR PERSEGUIR-LINHA

SENÃO

continue

FIM-SE

FIM-PARA

FIM-EXTRAT-LINHA

SUB-ROTINA TESTA-FIM-LINHA

rótulo=0

PARA J DE 1 ATÉ L= total de nós

FAÇA

testar se o ponto pertence ao arquivo de nós

SE $X=arqnox(J)$ e $Y=arqnoy(J)$

ENTÃO

ponto de nó

rótulo=1

SENÃO

continue

FIM-SE

FIM-PARA

RETORNE

FIM-TESTA-FIM-LINHA

SUB-ROTINA PERSEGUE-LINHA

mx=3

ler linha IL-1,IL,IL+1

testar os 4 vizinhos

novamente

SE IMAG(L,K)=IMAG(L,K-1)

ENTÃO

linha(mx)=6

aux1=i

aux2=K-1

vá para continua

SENÃO

SE IMAG(L,K)=IMAG(L+1,K)

ENTÃO

linha(mx)=0

aux1=L+1

aux2=K

vá para continua

SENÃO

SE IMAG(L,K)=IMAG(L,K+1)

ENTÃO

linha(mx)=2

aux1=L

aux2=K+1

vá para continua

SENÃO

- C.9 -

SE $\text{IMAG}(L,K)=\text{IMAG}(L-1,K)$

ENTÃO

linha(mx)=4

aux1=L-1

aux2=K

vá para continua

SENÃO

SE $\text{IMAG}(L,K)=\text{IMAG}(L+1,K-1)$

ENTÃO

linha(mx)=7

aux1=L+1

aux2=K-1

vá para continua

SENÃO

SE $\text{IMAG}(L,K)=\text{IMAG}(L+1,K+1)$

ENTÃO

linha(mx)=1

aux1=L+1

aux2=K+1

vá para continua

SENÃO

SE $\text{IMAG}(L,K)=\text{IMAG}(L-1,K+L)$

ENTÃO

linha(mx)=3

aux1=L-1

aux2=K+1

- C.10 -

vá para continua

SENÃO

SE IMAG(L,K)=IMAG(L-1,K-1)

ENTÃO

linha(mx)=5

aux1=L-1

aux2=K-1

vá para continua

SENÃO

fim-da-linha

gravar reg-linha no

arquivo de linhas

apagar reg-linha

RETORNE

FIM-SE

continua

IMAG(L,K)=0

L=aux1

K=aux2

mx=mx+1

ler linha K-1,K,K+1

vá para novamente

FIM-PERSEGUE-LINHA

APÊNDICE D - DADOS DO SENSOR TM

- CARACTERÍSTICAS DOS DADOS DO SENSOR TM DO SATÉLITE LANDSAT

O Thematic Mapper (TM) opera em 7 (sete) bandas espectrais. A seleção das bandas para este sensor foi tema de exaustivos estudos e debates. As designações das bandas, a faixa espectral e suas principais aplicações são as seguintes:

BANDA 1 (0.45 - 0.52 μm)

Destinada a penetrações nas massas d'água, sendo utilizada no mapeamento de costas marítimas. Também é muito aplicada para diferenciar solo e vegetação.

BANDA 2 (0.52 - 0.60 μm)

Destinada a medição da reflectância da vegetação, e, assim, de terminar o seu vigor.

BANDA 3 (0.63 - 0.69 μm)

Esta é a banda de absorção da clorofila, importante para distinguir a vegetação.

BANDA 4 (0.76 - 0.90 μm)

Útil para determinar o conteúdo de biomassa e delinear as massas d'água.

BANDA 5 (1.55 - 1.75 μm)

Indica o conteúdo de umidade da vegetação e do solo. Também é utilizada para diferenciar a neve das nuvens.

BANDA 6 (10.40 - 10.50 μm)

Esta é a banda do infravermelho termal que se utiliza para analisar a tensão da vegetação, distinguir a umidade do solo e o mapeamento térmico.

BANDA 7 (2.08 - 2.35 μm)

Esta banda foi selecionada pelo seu potencial em diferenciar os diversos tipos de rochas e para o mapeamento hidrotérmico.

Estas bandas espectrais se destinam, primordialmente, para um melhor controle da vegetação, com exceção da banda 7, cujo uso principal é para aplicações geológicas.

Uma das metas principais quanto da criação do sensor TM foi atingir uma maior resolução radiométrica em todas as bandas. A resolução radiométrica do TM é melhor do que a do MSS, pois a largura das bandas espectrais é mais estreita, assim como a resolução geométrica no terreno (pixel) é menor. Além disto, o número de níveis de quantização é aumentado de 64 para 256.

A melhoria da resolução espacial em relação ao MSS é outra importante característica do sensor TM; o tamanho do pixel é de 30m (resolução terrestre) em todas as bandas, exceto a banda 6 (seis) do termal, que é de 120m.

Estes níveis de rendimento foram determinados por fatores tais como:

(1) Campo visual instantâneo (IFOV) do detetor, que é função do tamanho do detetor e da distância focal do telescópio;

(2) Ótica do telescópio;

(3) Resposta da frequência eletrônica do sistema, prescrita pelo

tempo de repouso proporcionado por outros componentes do sistema.

Os dispositivos de detecção utilizam 16 detetores para cada banda espectral, exceto a banda 6 (seis), que utiliza 4 (quatro) detetores; assim sendo, cada varrida do espelho gera 16 linhas de exploração de dados para cada uma das bandas 1-5 e 7 e 4 (quatro) para a banda 6 (seis).

APÊNDICE E - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA CALCOMP 1051

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

DA MESA TRAÇADORA CALCOMP 1051 DO INPE.

- Sistema traçador combinando movimentos da pena em uma direção fixa com movimentos de rotação do tambor em torno de seu eixo fixo.
- Traçado executado pela combinação de segmentos em 4 direções (8 sentidos) básicas (retas su porte a 0, 45, 90 e 135 graus em relação à ho rizontal).
- Resolução: 1 (um) milésimo da polegada.
- 4 penas nas cores preta (default), azul, verde e vermelha.
- 4 tipos de pena: nanquim, floating-ball, esfe rográfica e hidrográfica.
- 2 tamanhos para a largura do papel, 11 e 30 pol.
- Velocidade de traçado:
 - no sentido dos eixos: 10 pol/seg.
 - no sentido diagonal : 14 pol/seg.

APÊNDICE F - CARACTERÍSTICAS DAS FITAS CCT

As fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT) contêm os dados da imagem do sensor Thematic Mapper (TM), adquiridas dos satélites Landsat 4 e 5 e processadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

O formato utilizado por estas fitas é baseado no "LGSONG CCT FORMAT CCB DOCUMENT: THE STANDARD CCT FAMILY OF TAPE FORMAT". O principal objetivo da utilização deste padrão é em relação ao tratamento comum dos dados entre os diversos estabelecimentos que trabalham com sensoriamento remoto.

O produto padrão Landsat TM é subdividido em 4 (quatro) quadrantes, numerados conforme os quadrantes trigonométricos, podendo ser requisitadas até 7 (sete) bandas espectrais e gravadas com densidade de 800 bpi ou 1600 bpi.

Caso haja interesse, o usuário pode solicitar que a fita esteja com correções radiométricas, para calibrar ou realçar os dados no vídeo e correção geométrica referente ao ajuste no comprimento das linhas de varredura.

Estas fitas são geradas no computador VAX 11/780 em Cachoeira Paulista-SP e são organizadas em volumes lógicos, os quais podem ser divididos sobre 1 (um) ou mais volumes físicos. O número de volumes físicos (fitas) depende do número de bandas espectrais requeridas, da densidade e do tamanho da cena (inteira ou por quadrantes), e pode ser armazenada sequencialmente por banda (BSQ) ou interligadas por linhas (BIL).

Um volume lógico contém a "header, ancillary", dados da imagem e informações gerais para uma determinada cena, sendo que todos

estes dados são organizados em arquivos conforme a estrutura abaixo:

- Volume directory file;
- Leader file;
- Imagery file;
- Trailer file;
- Null volume directory file.

O "volume directory file" contém informações sobre a distribuição de outros arquivos entre os volumes físicos que compõem um volume lógico.

O "leader file" contém as características da cena e inclui os parâmetros básicos para projeções dos mapas em UTM e SOM, além de LOOK UP TABLES, utilizadas para correções radiométricas.

O "null volume directory file" é um subconjunto do volume directory file e aparece no fim do volume lógico.

Para maiores detalhes, pode ser consultado o manual "INPE LANDSAT THEMATIC MAPPER COMPUTER COMPATIBLE TAPE FORMAT SPECIFICATION" (Cartaxo, M.S, 1984).

APÊNDICE G - IMPRESSORA GRÁFICA GRAFIX

CARACTERÍSTICAS DA IMPRESSORA GRÁFICA GRAFIX

A impressora dispõe de uma cabeça de impressão que se desloca horizontalmente sobre o papel. Dentro da cabeça está instalada uma série de agulhas que são impulsionadas por eletro-ímãs ao encontro de uma fita de carbono e atingem finalmente o papel, deixando uma marca parecida com um ponto. Isto faz com que as agulhas sejam acionadas no tempo e na posição apropriada, e consegue-se um padrão sobre o papel, que pode ser interpretado como um caracter tipográfico, com uma linha, círculo, ou qualquer outra coisa que se deseje.

APÊNDICE H - CONFECCÃO DO ORIGINAL CARTOGRÁFICO

NOÇÕES BÁSICAS PARA A CONFECCÃO DO ORIGINAL CARTOGRÁFICO

1) Original Cartográfico

É o conjunto de elementos que se destina à impressão de um documento cartográfico propriamente dito.

2) Negativo Matriz

É o negativo fotográfico que serve de matriz para a copiagem dos plásticos, onde se faz a separação de cores pela gravação.

3) Negativo e Colagem

É o negativo fotográfico de plástico transparente, sobre o qual se aplicam os topônimos da folha e determinadas convenções.

4) Plástico para gravação mecânica

É um plástico estável constituído de uma base coberta por uma película que se caracteriza por permitir a gravação de traços nítidos por meio de instrumentos apropriados. É, também, conhecido por "scribe".

5) Plástico para gravação química

É semelhante ao "scribe", diferindo pelo fato de sua película ser fotossensível e não aceitar gravação mecânica. Quando copiado de um plástico gravado, a parte da película que recebeu luz, após ser revelada, torna-se solúvel em um líquido gravador. Reproduz, desta forma, com elevada precisão, o traço original. Também é conhecido pelo nome "peel-coat".

6) Gravação

A gravação efetua-se sobre a imagem do negativo matriz, transportada para o "scribe". Como este, não é fotossensível, tem de ser emulsionado com tintas especiais para uso em câmara clara. As cópias são feitas por contato em prensas a vácuo, para garantir uma reprodução perfeita.

7) Juntada

É o resultado da operação fotográfica que reúne em um só positivo (ou negativo) todo o material referente a uma determinada cor.

8) Prova em cores

É a prova obtida sobre plástico apropriado por cópia fotográfica em câmara clara, usando-se emulsões especiais pigmentadas, com a finalidade de ter-se uma imagem completa da carta sobre a qual se fazem as revisões e que serve de guia para a impressão.