

MARIA ISABEL CASTREGHINI DE FREITAS VIADANA

ATUALIZAÇÃO DE CARTAS TOPOGRÁFICAS UTILIZANDO IMAGENS  
ORBITAIS - METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA  
MICROCOMPUTADORES.

---

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia.

São Paulo

1995

MARIA ISABEL CASTREGHINI DE FREITAS VIADANA

ATUALIZAÇÃO DE CARTAS TOPOGRÁFICAS UTILIZANDO IMAGENS  
ORBITAIS - METODOLOGIA ALTERNATIVA PARA  
MICROCOMPUTADORES.

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia.

---

Área de Concentração:  
Engenharia de Transportes

Orientador:  
Prof. Dr. Jorge Pimentel Cintra

São Paulo

1995

Aos queridos Adler Guilherme e Deborah Caetano,  
sempre presentes,  
iluminando o meu caminho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Pimentel Cintra, pelo constante apoio e por tão dedicada orientação.

Agradeço ao meu marido Adler Guilherme pela paciência e pelo estímulo, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho. À Lucia Regina pelo carinho e dedicação, principalmente com relação à Deborah, essenciais para que fosse possível a elaboração desta tese.

Aos colegas e amigos que trouxeram contribuições fundamentais para este trabalho, em especial à Marcos Covre, da Empresa Imagem, que cedeu gentilmente as imagens orbitais estudadas e à Diana Sarita Hamburger pelas valiosas sugestões.

Aos colegas do Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica - IGCE -UNESP, pelo apoio para o cumprimento de mais esta etapa, principalmente à Helen Prochnow pela elaboração dos desenhos ilustrativos desta tese e pela grande ajuda no acabamento das cartas.

Aos professores Norberto Morales e Antonio Misson Godoy, do Departamento de Petrologia e Metalogenia - IGCE - UNESP, que possibilitaram a impressão das cartas finais.

---

À CAPES-PICD pela bolsa auxílio-deslocamento concedida.

---

## SUMÁRIO

Lista de tabelas

Lista de figuras

Resumo

1.	INTRODUÇÃO .....	01
1.1.	Objetivos do Trabalho.....	02
1.2.	Área de Estudo.....	03
1.3.	Apresentação do Trabalho.....	05
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	06
2.1.	Passado Recente e Novas Perspectivas .....	08
2.2.	Sensoriamento Remoto e Atualização Cartográfica .....	11
2.3.	Características Espectrais dos Alvos de Sensoriamento Remoto .....	12
2.3.1.	Características Espectrais das Feições Urbanas/Suburbanas .....	14
2.3.2.	Características Espectrais da Água .....	15
2.3.3.	Características Espectrais da Vegetação e do Solo.....	16
2.4.	Realce de Imagens.....	17
2.4.1.	Aumento de Contraste.....	18
2.4.2.	Realce de Borda.....	18
2.4.3.	Realce de Cor.....	18
2.4.4.	Realce de Múltiplas Imagens.....	21
2.5.	Qualidade da Atualização.....	25
2.6.	Atualização de Cartas Topográficas através de Fotografias Aéreas.....	27
2.6.1.	Métodos de Atualização de Pequenas Áreas.....	27
2.6.2.	Métodos de Atualização Sistemática .....	31
2.7.	Atualização de Cartas Topográficas através de Imagens de Satélite....	35
2.7.1.	Atualização a partir de Imagens Analógicas .....	36
2.7.2.	Atualização a partir de Imagens Digitais .....	39
2.8.	A Detecção de Alterações .....	42
2.8.1.	A Percepção Visual.....	42
2.8.2.	A Acuidade Visual .....	43

2.8.3.	A Fotointerpretação e a Interpretação de imagens.....	43
2.9.	Padrões de Reconhecimento e de Interpretação .....	44
2.10.	Conteúdo Informativo das Imagens e Detecção de Mudanças.....	45
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	50
3.1.	Materiais .....	50
3.1.1.	Imagens e Cartas .....	50
3.1.2.	Equipamentos e Programas .....	51
3.2.	Métodos .....	51
3.2.1.	A Digitalização e a Edição dos Dados de Entrada .....	53
3.2.2.	A Carta Topográfica Digitalizada .....	54
3.2.3.	Criação da Base de Dados Geo-referenciada .....	56
3.2.4.	Realce e Escolha das Melhores Imagens.....	60
3.2.5.	Digitalização em Tela e Edição das Minutas de Atualização .....	80
3.2.6.	Verificação Preliminar das Minutas de Atualização.....	82
3.2.7.	Verificação de Campo.....	84
3.2.8.	Interpretação Final .....	84
3.3.	Teste Relativo à Dependência de Cena.....	85
4.	RESULTADOS OBTIDOS .....	92
4.1.	Minutas de Atualização.....	92
4.1.1.	Minuta de Atualização da Imagem SPOT Pancromática .....	94
4.1.2.	Minuta de Atualização da Imagem Híbrida (IHS).....	96
4.1.3.	Minuta de Atualização da Análise por Componentes Principais .....	98
4.2.	Cartas Topográficas Atualizadas .....	100
4.2.1.	Carta Topográfica Atualizada através da Imagem SPOT-P .....	100
4.2.2.	Carta Topográfica Atualizada através da Imagem Híbrida (IHS) .....	101
4.2.3.	Carta Topográfica Atualizada através da Imagem Componente 3 .....	103
4.2.4.	Resultados da Atualização das Feições Lineares Estudadas.....	105
4.2.5.	Resultados da Classificação baseada na Verificação de Campo.....	109
4.3.	Resultados relativos ao Teste de Dependência de Cena.....	111
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	113
5.1.	Precisão no Geo-Referenciamento.....	113
5.1.1.	Imagem SPOT-P .....	114
5.1.2.	Imagem Híbrida .....	116

5.1.3. Imagem Componente 3 (ACP).....	116
5.1.4. Precisão no geo-referenciamento para a imagem SPOT-P com 6 pontos de controle.....	116
5.2. Quantidade de Informação Atualizada.....	117
5.2.1. Análise das Minutas de Atualização .....	117
5.2.2. Análise das Cartas Topográficas Atualizadas .....	120
5.2.3. Análise do Conteúdo Informativo das Cartas Topográficas .....	122
5.2.4. A Classificação das Cartas Topográficas Atualizadas.....	125
6. CONCLUSÕES .....	128
6.1. Conclusões.....	128
6.2. Considerações Finais.....	130
6.3. Recomendações para Trabalhos Futuros.....	131
ANEXO - O Sistema IDRISI .....	132
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	134
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	138

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.	Porcentagem de atualização por ano a nível mundial .....	09
Tabela 2.2.	Situação do mapeamento no Brasil .....	09
Tabela 2.3.	Características das imagens TM, SPOT utilizadas neste estudo .....	13
Tabela 3.1.	Número e comprimentos/área totais das feições de interesse na carta digitalizada .....	54
Tabela 3.2.	Coordenadas UTM dos pontos de controle utilizados no geo-referenciamento das imagens SPOT e TM.....	58
Tabela 3.3.	Coordenadas de imagem (SPOT-P) e de carta para o geo-referenciamento complementar .....	60
Tabela 3.4.	Matriz de correlação entre as bandas SPOT-Pan e TM-1, 2, 3, 4, 5 e 7.....	64
Tabela 3.5.	Avaliação da imagem híbrida resultante da TM-321 e SPOT ...	67
Tabela 3.6.	Avaliação da imagem híbrida resultante da TM-432 e SPOT ...	68
Tabela 3.7.	Avaliação da imagem híbrida resultante da TM-543 e SPOT ...	69
Tabela 3.8.	Avaliação da imagem híbrida resultante da TM-435 e SPOT ...	70
Tabela 3.9.	Avaliação da imagem híbrida resultante da TM-743 e SPOT ...	70
Tabela 3.10.	Avaliação da imagem híbrida resultante da TM-437 e SPOT ...	71
Tabela 3.11.	Matriz variância-covariância das imagens originais .....	73
Tabela 3.12.	Porcentagem de variância, auto-valores e auto-vetores dos componentes principais .....	74
Tabela 3.13.	Correlação entre os componentes principais e as bandas originais.....	74
Tabela 3.14.	Matriz variância-covariância da área teste.....	89
Tabela 3.15.	Matriz de correlação da área teste.....	89
Tabela 3.16.	Porcentagem de variância, auto-vetores e auto-valores dos componentes principais da área teste .....	90
Tabela 3.17.	Correlação entre os componentes principais e as bandas originais para a área teste.....	90
Tabela 4.1.	Número e comprimentos/área totais das feições novas para SPOT-P .....	94
Tabela 4.2.	Número e comprimentos/área totais-Minuta de Atualização SPOT-P .....	94
Tabela 4.3.	Número e comprimentos/área totais das feições novas para	

	a imagem híbrida (IHS).....	96
Tabela 4.4.	Número e comprimentos/área totais - Minuta de Atualização IHS.....	96
Tabela 4.5.	Número e comprimentos/área totais das feições novas para ACP.....	98
Tabela 4.6.	Número e comprimento/área totais - Minuta de Atualização ACP.....	100
Tabela 4.7.	Comprimentos e área - Carta Atualizada SPOT-P.....	101
Tabela 4.8.	Comprimentos e área totais - Carta Atualizada da Imagem Híbrida.....	103
Tabela 4.9.	Comprimentos e área totais- Carta Atualizada da Imagem Componente 3(ACP).....	105
Tabela 4.10.	Contribuição das imagens e do campo para a atualização das estradas e arruamentos pavimentados.....	107
Tabela 4.11.	Contribuição das imagens e do campo para a atualização das estradas sem pavimentação.....	108
Tabela 4.12.	Contribuição das imagens e do campo para a atualização das ferrovias.....	108
Tabela 4.13.	Contribuições das imagens e do campo para a atualização das linhas transmissoras de energia.....	109
Tabela 4.14.	Classificação das estradas sem pavimentação com tráfego permanente.....	110
Tabela 4.15.	Classificação das estradas sem pavimentação com tráfego periódico.....	110
Tabela 4.16.	Classificação dos caminhos.....	110
Tabela 4.17.	Classificação das linhas transmissoras de energia.....	111
Tabela 5.1.	Coordenadas de imagem e de carta dos pontos de verificação para a imagem SPOT-P.....	115
Tabela 5.2.	Comparação entre a quantidade de informação contida nas carta digitalizada e nas minutas de atualização.....	117
Tabela 5.3.	Comparação entre as informações do original e as identificadas nas imagens.....	119
Tabela 5.4.	Comparação entre a quantidade de informação contida na carta digitalizada e nas cartas topográficas atualizadas.....	121
Tabela 5.5.	Contribuição das fontes de informação para a carta final - estradasearruamentospavimentados.....	123

Tabela 5.6.	Contribuição das fontes de informação para a carta final - estradas e arruamentos sem pavimentação .....	123
Tabela 5.7.	Contribuição das fontes de informação para a carta final - ferrovias .....	124
Tabela 5.8.	Contribuição das fontes de informação para a carta final - linhas transmissoras de energia.....	125
Tabela 5.9.	Comparação entre a classificação da carta original digitalizada e das cartas finais - estradas sem pavimentação....	126
Tabela 5.10.	Classificação final das linhas transmissoras de energia .....	126

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Carta topográfica original - setor da folha Botucatu.....	04
Figura 2.1.	Curvas de reflectância espectral para feições urbanas e suburbanas.....	14
Figura 2.2.	Curvas de reflectância espectral para água turva e límpida.....	16
Figura 2.3.	Curvas espectrais típicas de vegetação e solo seco.....	17
Figura 2.4.	Processamento de imagens no espaço das cores.....	19
Figura 2.5.A.	Geração do Hexacone.....	20
Figura 2.5.B.	Definição dos componentes da cor para um pixel vetorial com intensidade não zero para o ponto P.....	20
Figura 2.6.	Transformador aerofotográfico ou aerosketchmaster.....	28
Figura 2.7.	Estereopantômetro - Zeiss Jena.....	29
Figura 2.8.	Interpretoscópio - Zeiss Jena.....	30
Figura 2.9.	Zoom Transfer Scope - Bauch & Lomb.....	34
Figura 3.1.	Carta Topográfica Digitalizada - Setor da Folha Botucatu.....	55
Figura 3.2.	Distribuição dos pontos de controle na área de estudo.....	59
Figura 3.3.	Imagem SPOT-P bruta e histograma de frequência.....	62
Figura 3.4.	Imagem SPOT-P realçada e histograma de frequência.....	63
Figura 3.5.	Imagem híbrida TM-437 resultante da transformação IHS.....	72
Figura 3.6.	1º Componente Principal.....	76
Figura 3.7.	2º Componente Principal.....	77
Figura 3.8.	3º Componente Principal.....	78
Figura 3.9.	4º Componente Principal.....	79
Figura 3.10.	Imagem SPOT-P realçada para a área teste.....	87
Figura 3.11.	Imagem resultante da transformação IHS para a área teste.....	88
Figura 4.1.	Minuta de atualização através da imagem SPOT-P.....	95
Figura 4.2.	Minuta de atualização através da imagem híbrida (IHS).....	97
Figura 4.3.	Minuta de atualização através da imagem resultante da ACP... ..	99
Figura 4.4.	Carta Atualizada através da Imagem SPOT-P.....	102
Figura 4.5.	Carta Atualizada através da imagem híbrida (IHS).....	104
Figura 4.6.	Carta atualizada através da imagem componente 3 (ACP).....	106

## RESUMO

A existência de documentos cartográficos desatualizados é um grande problema para os diferentes usuários de cartas topográficas em escalas médias e grandes, tanto nas atividades de planejamento como nas de engenharia ou de geociências.

O objetivo principal deste trabalho é [realizar testes relativos a potencialidade das imagens orbitais para a atualização de cartas topográficas na escala 1:50.000, notadamente quanto ao conteúdo informativo.

Tudo isso pensando em atender um usuário típico de planejamento regional (agrícola, florestal, uso do solo, ...) para o qual a melhor escala disponível é a de 1:50.000 e que não possui recursos para a aquisição de equipamentos e programas mais sofisticados. Também não necessita de grande precisão cartográfica mas sim de conteúdo informativo atualizado para o desenvolvimento de seus trabalhos através de um Sistema de Informação Geográfica.

De fato, são muitos os trabalhos mostrando que as imagens orbitais atendem os requisitos geométricos para determinada escala mas poucos os que examinam os requisitos de informação.

Dentro desses parâmetros de disponibilidade de equipamentos, programas e tecnologia, optou-se por testar uma metodologia de atualização cartográfica fazendo uso dos programas IDRISI v.4.1 e AutoCad R.12 (disponíveis e acessíveis), usando imagens SPOT pancromática e Landsat-TM (também disponíveis) e procurando melhorar o conteúdo informativo das mesmas através de técnicas de combinação de imagens. Foram três as imagens que serviram de base para este estudo: a SPOT-Pancromática realçada; a Imagem Híbrida resultante da transformação IHS e a Imagem resultante da Análise por Componentes Principais (ACP).

As feições estudadas foram tanto lineares (tais como estradas, linhas de transmissão de energia, ferrovias) como feições de superfície (áreas urbanas). O trabalho de atualização foi realizado no IDRISI e a edição e acabamento das cartas, bem como as medições dos comprimentos e áreas das feições foram realizados no AutoCAD R.12.

Os resultados obtidos são ilustrados através de cartas e tabelas. Dentre as considerações acerca dos resultados deve-se considerar que a metodologia aplicada foi bem sucedida, gerando-se cartas atualizadas bastante enriquecidas de detalhes.

As atualizações através das 3 imagens adotadas resultaram em produtos de qualidade, tanto a nível de conteúdo informativo quanto a nível de precisão geométrica. A análise comparativa dos resultados obtidos indicou que a atualização através de qualquer uma das imagens testadas apresentou resultados satisfatórios para a escala 1:50.000. Concluiu-se também que a verificação de campo mostrou-se indispensável, mesmo que o usuário tenha outras fontes de informação auxiliares como cartas mais recentes, fotografias aéreas, etc.

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

Os mapas são muito utilizados como fonte de informação sendo, na maioria dos casos, o meio mais eficiente e rápido de obtê-la. O usuário ao consultar um mapa mantém a expectativa de que a informação procurada será encontrada. No entanto, esta informação pode não aparecer em função da escala ou da falta de atualização do mapa que está sendo consultado. É impossível representar tudo, conforme afirma Keates (1982) "*... os mapas tem que ser considerados em termos de escala e conteúdo, e seus usos dependem de julgamento. Todos os mapas são seletivos*". Partindo-se deste princípio torna-se de fundamental importância a adequação da escala e do conteúdo ao objetivo procurado.

As questões de escala e conteúdo são fundamentais para qualquer trabalho que utilize cartas para sua execução. Lamentavelmente as cartas que se apresentam à disposição dos usuários encontram-se, na maioria das vezes, em escalas insatisfatórias e com um agravante: desatualizadas.

Diversas são as metodologias de atualização de cartas, sejam estas topográficas ou temáticas sendo que, nos anos recentes, a utilização de imagens de satélite tem sido destaque nos trabalhos que tratam da atualização.

Quando se visa a atualização de cartas, devem ser consideradas e ponderadas questões como as dimensões da área a ser atualizada, recursos disponíveis para a realização do trabalho, a rapidez e a praticidade da metodologia a ser empregada. Além disso, um fator que influencia decisivamente a qualidade da atualização é a capacidade de detecção das alterações ocorridas com o tempo. Esta capacidade está diretamente vinculada ao conteúdo informativo atualizado da imagem quer sejam fotografias aéreas convencionais, fotografias orbitais ou imagens de satélite.

## 1.1. Objetivos do Trabalho

O objetivo principal deste trabalho é a realização de testes relativos à potencialidade das imagens de satélite para detectar alterações na atualização de cartas topográficas na escala 1: 50.000.

Dentre os objetivos específicos encontram-se:

a) testar uma metodologia de atualização cartográfica através de imagens de satélite fazendo uso dos programas IDRISI 4.1 e AutoCAD R.12;

b) testar imagens SPOT pancromática e Landsat TM através de técnicas de realce de imagens, como aumento de contraste e hibridação, visando melhorar o conteúdo informativo das mesmas para a detecção de mudanças;

d) realizar a atualização de feições lineares como sistemas de transportes, linhas transmissoras de energia e feições de superfície referentes às áreas urbanas;

d) de acordo com os resultados obtidos nos diferentes testes realizados, analisar a contribuição, a nível de conteúdo informativo e de precisão geométrica dos produtos obtidos através das imagens estudadas, para a geração das cartas topográficas atualizadas.

As feições de hidrografia não se incluem neste trabalho por variarem, em geral, muito pouco com o tempo. A literatura mostra que a identificação das feições de drenagem depende muito da cobertura vegetal das margens, sendo a mata galeria um dos principais indicadores da presença de córregos e pequenos cursos d'água. Pode-se adiantar que os testes realizados no capítulo 3 deste trabalho apontam para composições resultantes da transformação IHS que viabilizam a identificação de lagoas e represas.

As curvas de nível não foram consideradas por serem de difícil tratamento com os recursos disponíveis e por apresentarem também pouca alteração ao longo do tempo quando se considera cartas em escalas médias e pequenas, nas quais o relevo não experimenta variações acentuadas para uma equidistância de 20 metros, a não ser em áreas de mineração e de novas barragens.

Este trabalho também não inclui a detecção da cobertura vegetal por se tratar de tema de outro trabalho integrante do mesmo projeto de pesquisa.

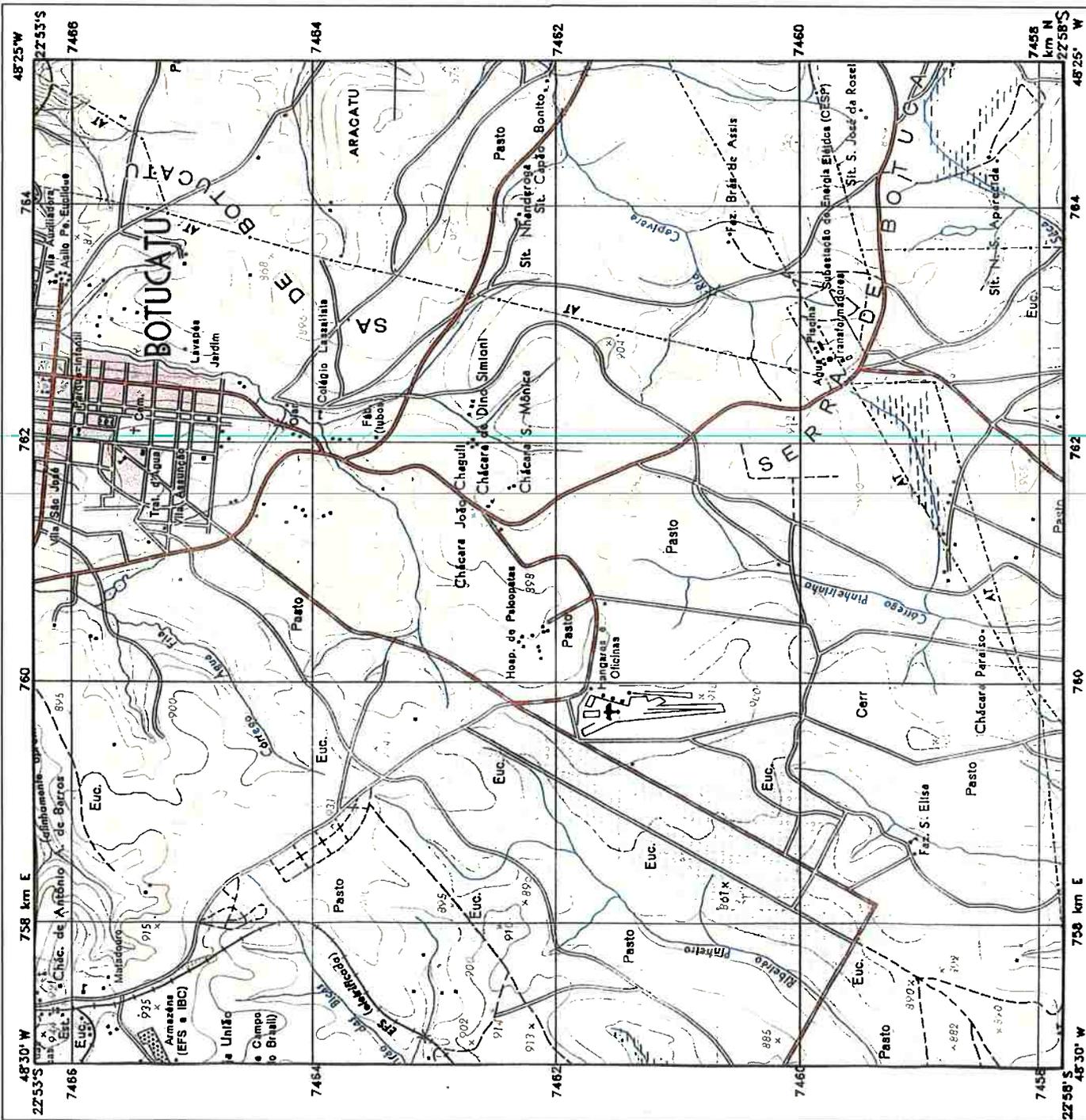
## 1.2. Área de Estudo

Escolheu-se para a realização deste trabalho, um setor da carta topográfica do IBGE, folha SF-22-R-IV-3, denominada Botucatu, escala 1:50.000. Trata-se de uma carta produzida na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), contida no Fuso 22 do esferóide internacional, Datum horizontal Córrego Alegre(MG) e Datum vertical marégrafo de Imbituba(SC). A área de estudo, que é parte desta carta, localiza-se entre as seguintes coordenadas geográficas: latitudes 22°52'S e 23°00'S e longitudes 48°22'W e 48°30'W. A Figura 1.1 apresenta a localização da área de estudo. A área mapeada corresponde a um retângulo de 8520m x 8440m, que está representado nesta figura.

A escolha deste local para a realização do trabalho deve-se à grande desatualização da carta citada, datada de 1969 (primeira edição) e apresentando informações relativas ao levantamento aerofotogramétrico de 1965. Além dos 30 anos de desatualização, outro fator relevante para a escolha da área foi a disponibilidade de uma imagem orbital SPOT pancromática cobrindo esta região, além das seis bandas Landsat-TM.

Os produtos SPOT, distribuídos no Brasil pela INTERSAT, apresentam grande diversidade, estando a venda imagens dos níveis 1A, 1B, 2A, 2B, S1, S2 e nível 1 AP ( 1A para fotogrametria), além de cenas mosaicadas. Embora disponíveis para grande parte do território nacional apresentam custo elevado, fator que limita a aquisição. No orçamento solicitado em 1995, visando-se a aquisição de imagens posteriores a 1990, obteve-se para imagens no nível 1A e 1B ( de menor custo ) os valores de R\$ 2.500,00 para imagens pancromáticas em meio digital, cena completa e 10 m de resolução. Os produtos Landsat distribuídos pelo INPE apresenta o valor de R\$ 1.500,00 para 6 bandas em meio digital, cena completa, resolução de 30 m. Considera-se de fundamental importância a diminuição nos valores destas imagens para que mais usuários tenham acesso.

Figura 1.1: CARTA TOPOGRÁFICA ORIGINAL – SETOR DA FOLHA BOTUCATU (SP)



**LEGENDA**

**ESTRADAS DE RODAGEM**

- Auto-estrada
- Pavimentada
- Sem pavimentação
- Caminho. Trilha
- Identificação de rodovias

**ESTRADAS DE FERRO**

- Bitola normal ou larga
- Bitola estreita
- Caminho aéreo (cabos)
- Linha de bonde
- Linha telefônica e telegráfica
- Linha de energia elétrica

- Pontos de controle
- Altitudes

Compritada 792 Não compritada 792

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:50.000

0 1000 3000m

Equidistância das curvas de nível 20 metros  
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 51° W. Gr.  
 acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente.

Fuso 22, Esferóide Internacional.  
 Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC  
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Fonte: Carta topográfica do IBGE, 1:50.000, 1989,  
 Folha Botucatu, SF-22-R-IV-3, produzida através de  
 levantamento aerofotogramétrico topográfico regular,  
 Aerofotografias de 1965. Reambulação, restituição e triangulação  
 espacial executadas pela VASP AEROFOTOGRAMETRIA S.A.

LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO  
 DE SÃO PAULO



A declinação magnética  
 em relação ao meridiano  
 verdadeiro é de 17° 30'.

Org.: MARIA ISABEL C.F. VADAMA  
 Arte final: Elm. Ad. Pires e  
 User estabelecimentos de dados numéricos

### 1.3. Apresentação do Trabalho

O trabalho subdivide-se em seis capítulos: a Introdução, a Revisão da Literatura, os Materiais e Métodos, os Resultados Obtidos, a Análise dos Resultados e as Conclusões.

Neste capítulo introdutório descreve-se o projeto, os objetivos, a localização da área de estudo e a estrutura do mesmo.

A Revisão da Literatura apresenta inicialmente trabalhos publicados envolvendo metodologias de atualização e tratamento de imagens orbitais, algumas alternativas e resultados disponíveis atualmente. Apresenta também alguns conceitos básicos relativos às técnicas de detecção de alterações e de interpretação visando o mapeamento e a atualização de feições em cartas topográficas.

O capítulo relativo a Materiais e Métodos descreve todo o material utilizado no trabalho, seguido da metodologia adotada para a realização dos testes de detecção de alterações e atualização.

O capítulo Resultados Obtidos, como o nome indica, apresenta esses resultados com a aplicação da metodologia ora proposta, enquanto o intitulado Análise dos Resultados realiza a análise dos produtos parciais e finais obtidos.

O capítulo Conclusões possui as conclusões propriamente ditas, assim como as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros. Um anexo apresenta os principais módulos do Sistema IDRISI v.4.1. Um apêndice apresenta cópia em transparência das feições originais digitalizadas, que pode ser usada como ferramenta auxiliar na análise das cartas topográficas atualizadas. Também faz parte deste apêndice um conjunto de fotografias que ilustram algumas das feições estudadas.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DA LITERATURA

A atualização cartográfica no Brasil, embora presente ao longo da evolução da cartografia, não teve o destaque necessário dentro das empresas e órgãos responsáveis pela geração de cartas e mapas. Isto porque tais organizações estruturaram-se fundamentalmente para a produção de cartas, pensando em refazer vãos e restituições a cada nova atualização, contando com a existência de recursos, o que não vem ocorrendo. Conforme Lugnani (1985) "a atualização cartográfica é tarefa primordial e inesgotável e, em muitos casos, tem prioridade sobre a elaboração de novas cartas para regiões ainda não cartografadas".

Com o surgimento dos satélites espaciais, carregando a bordo sensores multiespectrais de resolução cada vez maior, as alternativas de atualização de mapas aumentaram, diminuindo os custos do processo e agilizando-o graças aos recursos computacionais de que se dispõe atualmente, tanto em matéria de equipamentos quanto de programas. Estes fatores abrem perspectivas para os países em desenvolvimento, onde cartas atualizadas e com um mínimo de qualidade são o primeiro passo para que o desenvolvimento em todos os setores se efetive.

Outro ponto que merece atenção é a definição de uma política de atualização que estabeleça prioridades de acordo com a maior ou menor alteração das cartas com o tempo, levando em conta também as escalas mais utilizadas.

Quando se fala de atualização cartográfica, deve-se pensar em termos de mapas topográficos e de mapas temáticos.

O Glossário da Sociedade Real de Termos Técnicos em Cartografia (apud Meneguette, 1987) define mapa topográfico como um mapa cujo objetivo principal é retratar e identificar as feições da superfície da Terra tão fielmente quanto possível, dentro das limitações impostas pela escala.

Muitas vezes, os termos mapa e carta se confundem, sendo usados para escalas variadas. Adota-se neste trabalho o termo carta para representações cartográficas entre as escalas 1:10.000 até 1:100.000, usual em trabalhos de muitos

cartógrafos no Brasil. Representações cartográficas em escalas maiores que 1:10.000 seriam denominadas plantas e representações menores que 1:100.000 seriam mapas. Genericamente, o que se observa é a não adoção de uma regra única pelos órgãos que trabalham com cartografia no país, sendo aplicados os termos carta e mapa como sinônimos na maioria das situações.

A cartografia dita topográfica tem como preocupação primordial a produção de cartas topográficas. Já a cartografia temática parte da existência de um mapa base e preocupa-se em "expressar graficamente um tema selecionado, cujo conteúdo resulta de estudos específicos de um certo ramo do saber" (Martinelli, 1991).

Atualmente, ao lado de bons recursos tecnológicos como computadores pessoais e estações de trabalho dispõem-se de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que são ferramentas de grande potencial para a geração e atualização de produtos cartográficos, além da função natural de apoio ao planejamento.

Os Sistemas de Informação Geográfica são programas ou sistemas computacionais que possibilitam o armazenamento, análise e apresentação de dados geográficos como ferramenta para automação do processo de planejamento (Cintra, 1991). O surgimento destes sistemas deveu-se à necessidade de combinar informações de atributos (banco de dados) com suas representações cartográficas visando melhorar as análises espaciais. A integração das tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica está trazendo avanços importantes para o gerenciamento de recursos naturais e planejamento. Ehlers et al. (1989) já destacavam esta tendência do crescente surgimento de SIG's comerciais com módulos específicos de processamento de imagens orbitais.

Os Sistemas de Informação Geográfica possibilitam a manipulação de dados gráficos, como os contidos em cartas topográficas e temáticas, bem como dados alfanuméricos, contidos em bancos de dados. A possibilidade dessa integração, com saída digital gráfica, tabular e na forma de texto é um recurso básico que os sistemas de informação têm a oferecer às atividades de planejamento nas mais diversas áreas do conhecimento.

A principal diferença entre Sistema de Informação Geográfica e Cartografia Digital consiste no fim a que se destinam. A Cartografia Digital visa o mapa, sua automação, elaboração, armazenamento, etc., enquanto o Sistema de Informação Geográfica visa diretamente o projeto, o planejamento (Cintra, 1991),

tendo sido estruturado para responder as perguntas do usuário, dentro do processo de planejamento. Apresenta entre suas inúmeras funções, algumas específicas de mapeamento.

## 2. 1. Passado recente e novas perspectivas

Tanto as formas de produção de mapas quanto as formas de atualização evoluíram muito acompanhando o desenvolvimento tecnológico. O primeiro avanço técnico na metodologia de mapeamento foi o surgimento da estereofotogrametria nos inícios do século, possibilitando a elaboração sistemática de mapas em larga escala. Nos anos 50 a cartografia foi incorporando progressivamente a computação eletrônica e desenvolveu equipamentos específicos como os coordenatógrafos, precursores dos atuais traçadores gráficos digitais (*plotters*).

No final dos anos 60 começaram a surgir simultaneamente novas tecnologias e novas fontes de dados: o mapeamento digital, o sensoriamento remoto orbital, o tratamento digital de imagens, os sistemas de informação geográfica (SIG) e, mais recentemente, os sistemas de posicionamento global (GPS e outros).

Muller (1991) considera este período como revolucionário e observa *"uma tendência em direção a uma intensa colaboração, se não integração, de disciplinas em direção a um objetivo comum, identificado como sendo a captura, gerenciamento, interpretação e comunicação de informações geográficas"*<sup>1</sup>. O autor destaca alguns dos temas a serem tratados nesta nova organização mundial, dentre eles o surgimento de um sistema internacional de satélites que permitiria a produção de mapas topográficos de alta qualidade em escala grande, com cobertura mundial; o estabelecimento de padrões para intercâmbio de dados cartográficos; a criação de sistemas eficientes de gerenciamento de dados cartográficos em formato digital, fazendo uso de SIG e de imagens orbitais para fins de atualização, dentre outros.

Com respeito a atualização cartográfica, o trabalho de Jacobsen (1992) alerta para a importância de mapas atualizados para o desenvolvimento de qualquer país. A estatística da Organização das Nações Unidas de 1987 aponta que

---

<sup>1</sup>A única objeção que se poderia fazer a essa colocação é que dá muita ênfase à manipulação de dados, colocando-a como objetivo, em vez de destacar o projeto, o planejamento.

somente 56% do território mundial é coberto por cartas de escala média 1:50.000, com um crescimento de cerca de 2% ao ano. Neste ritmo, teoricamente, o mundo todo teria cobertura total em 22 anos (ano 2009).

Já quanto à atualização cartográfica na escala 1:50.000 a situação é a que se apresenta na tabela 2.1 com média de atualização de 2,3% ao ano, o que corresponderia, teoricamente, a atualização total do mundo em 43 anos. Obviamente esta extrapolação não pode ser feita pois alguns países voltarão a atualizar seus territórios pela 2ª ou 3ª vez e outros nem sequer terão seus territórios mapeados pela primeira vez.

Tabela 2.1. Porcentagem de atualização por ano a nível mundial

% / ANO	MUNDO	Am. Sul	Austrália/Oc.	Ásia	Europa	Am. Norte	África
1:25.000	5,0	-	2,2	4,0	7,4	4,6	2,0
1:50.000	2,3	0,9	1,9	0,8	6,5	3,1	2,6
1:100.000	0,7	-	0,1	-	7,9	-	4,1
1:200.000	3,4	0,3	0,4	2,2	8,5	7,4	1,6

Fonte: estatística da ONU (1987) para o período de 1980 a 1987, com valores aproximados adaptados de Jacobsen (1992).

Em termos nacionais a situação pode ser vista na tabela 2.2, adaptada de BRASIL (1991).

Tabela 2.2. Situação do mapeamento no Brasil

MAPEAMENTO	% mapeada	% a mapear	nº de mapas previstos
SISTEMÁTICO			
1:25.000	1,6	98,4	47.712
1:50.000	13,1	86,9	11.928
1:100.000	65,9	34,1	3.049
1:250.000	66,2	33,8	556
1:500.000	42,8	57,2	159
1:1.000.000	100	0	46

Fonte: adaptado de BRASIL (1991).

As tabelas 2.1 e 2.2 são auto-explicativas e mostram bem as deficiências na atualização cartográfica mundial e nacional. Deve-se acrescentar que

as cartas em escala realmente útil para o planejamento (1:50.000) estão desatualizados em mais de 30 anos. Tudo isso ressalta a necessidade e a importância de desenvolver metodologias alternativas que conciliem rapidez e economia, tarefa bastante difícil mas que não deve deixar de ser tentada.

Segundo Muller (1991), muitas vezes a razão deste quadro mundial não envolve exclusivamente a falta de recursos tecnológicos ou financeiros mas sim a falta de conhecimento e de capacidade organizacional para o aproveitamento das novas tecnologias neste setor. Comenta o pequeno impacto que a revolução tecnológica causou nos programas de mapeamento em países em desenvolvimento.

Afirma ainda que neste período de grandes mudanças observa-se que os princípios básicos e a metodologia da cartografia não se alteraram. No entanto, um fenômeno com implicação metodológica perceptível é a tendência em direção a uma cartografia personalizada onde os mapas são produzidos pelo próprio usuário. Assim a tradicional separação entre os que produzem e os que utilizam mapas está ficando menos nítida.

Concorda-se com o autor quanto às tendências da cartografia, num momento em que a popularização da tecnologia digital, inclusive em países com menos recursos, acabe por transformar usuários em produtores. A questão que se poderia colocar refere-se as vantagens e dificuldades apresentadas por esta popularização.

Sem dúvida a cartografia ganha muito em flexibilidade e praticidade quando disponível em computadores pessoais, ainda que sujeita a restrições em termos de resolução, memória e tempo de processamento. A evolução parece irreversível: sistemas milionários e fechados, de uso sistemático viável somente em instituições que dispõem de muitos recursos, vão dando lugar a sistemas mais acessíveis tanto à nível financeiro quanto operacional, isto também em função das capacidades crescentes e custos decrescentes dos equipamentos.

Com a crescente popularização da informática, os profissionais vão tendo acesso a novas informações, novos equipamentos, novos programas e portanto melhores condições de produzir. Neste sentido a popularização é saudável, bem-vinda e deve ser estimulada. O lado negativo desta questão fica por conta da má utilização ou confiança exagerada por parte de profissionais despreparados ou inabilitados, que produzem e publicam cartas e mapas dotados, na maioria das vezes, de uma apresentação atraente e sofisticada mas sem preocupação com as normas cartográficas relativas a qualidade e a exatidão.

Por outro lado, pode ser considerada problemática a grande velocidade com que os sistemas se desatualizam e o rápido surgimento de novos sistemas e tecnologias com visíveis dificuldades para o treinamento de pessoal para operar tais sistemas, para a manutenção de equipamentos e para a atualização de programas instalados em órgãos com menos recursos como, por exemplo, as universidades. A questão colocada acerca da excessiva preocupação com equipamentos e programas de ponta enquanto as questões elementares e básicas da cartografia são deixadas de lado é séria e real e torna-se urgente esta tomada de consciência por parte da comunidade cartográfica, dos profissionais usuários e principalmente dos indivíduos que decidem os rumos da cartografia brasileira (Cintra, 1991).

## 2.2. Sensoriamento Remoto e Atualização Cartográfica

**Fotografia**, genericamente, refere-se a uma imagem que foi detectada por técnicas fotográficas e gravada num filme fotográfico, enquanto **Imagem** é um termo mais genérico, que é usado para descrever qualquer representação pictórica de dados de radiação detectada através dos chamados detectores, ao invés de lentes e emulsão fotográfica.

Dentre os produtos de sensoriamento remoto aplicados à cartografia encontram-se:

**Fotos aéreas:** fotos formadas por exposição única, sendo os efeitos dos movimentos da plataforma plenamente conhecidos e corrigidos através de procedimentos de orientação das fotografias em restituidores fotogramétricos.

**Fotos espaciais:** fotos tomadas a grandes altitudes que consideram métodos especiais para criação do modelo e determinação dos elementos de orientação exterior.

**Imagens de satélite:** devido à extensão da área e à forma de imageamento com uma série de pontos imageados em tempos diferentes, deve-se considerar os efeitos de rotação, esfericidade da Terra, movimento da plataforma, etc.

Deve-se ressaltar aqui o desenvolvimento e a importância cada vez maior do sensoriamento remoto na cartografia, em direção a uma maior cobertura do terreno e ao aumento qualitativo das imagens. Sensores de alta tecnologia, com maior resolução (por exemplo SPOT - pancromático com resolução de 10 m) fazem com que a etapa da coleta de dados cartográficos seja agilizada e os custos reduzidos, quando comparada com os processos fotogramétricos convencionais.

Jacobsen (1992) realiza um estudo comparativo do desempenho de câmaras e sensores espaciais para fins de mapeamento e atualização na escala 1:50.000. Dentre as interessantes conclusões do autor destaca-se a maior quantidade de informação extraída de pares estereoscópicos SPOT quando o mapeamento teve como suporte uma carta topográfica desatualizada na escala 1:50.000. O trabalho de campo, como salienta esse autor, veio complementar o mapeamento realizado através da imagem. A mesma potencialidade se observou com as imagens das câmaras KFA1000 e MK4. A única imagem que não apresentou resolução para mapeamento em 1:50.000 foi a KATE 200. O autor salienta que estando disponíveis imagens KFA 1000 e SPOT, poder-se-ia dar preferência para a primeira embora as diferenças entre ambas não sejam significativas. Conclui destacando o potencial das imagens orbitais como alternativa economicamente viável para mapeamento e atualização na escala 1:50.000.

Acredita-se que o mapeamento e a atualização cartográfica encontram nas imagens orbitais uma importante fonte alternativa de dados que viabilizarão, num futuro próximo, o preenchimento das lacunas existentes no mapeamento sistemático atualizado, a nível mundial, em escalas médias e pequenas.

### 2.3. Características espectrais dos alvos de Sensoriamento Remoto

Considerando-se a relação entre o sistema sensor e as técnicas de processamento de dados, a maioria dos sistemas de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto simplesmente registram em bandas com comprimentos de onda selecionados, variações da quantidade de energia refletida ou emitida por objetos da superfície terrestre (ASP, 1983).

Assim, antes de abordar as características espectrais dos alvos de Sensoriamento Remoto que são de interesse para este trabalho, vale lembrar as características dos produtos orbitais que servirão de base para a atualização. As bandas Landsat-TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7 serão utilizadas juntamente com uma imagem SPOT pancromática, cujas principais características estão resumidas na tabela 2.3, adaptada de Lillesand; Kiefer (1987).

Em Sensoriamento Remoto, a assinatura espectral de uma feição compreende, de acordo com ASP (1983), um conjunto de valores de reflectância da feição medidos para intervalos de comprimento de onda específicos. Estes elementos estatísticos são utilizados para ajudar na caracterização e entendimento da razão pela qual as feições naturais e artificiais aparecem de tal ou qual forma no imageamento

orbital. A assinatura espectral não é constante para uma dada feição de interesse pois depende da distribuição do fluxo radiante incidente sobre a feição, das relações geométricas entre a energia incidente e o ângulo de visão do sensor, dos efeitos atmosféricos e das propriedades físicas da feição.

Tabela 2.3: Características das imagens TM e SPOT utilizadas neste estudo

Sensor e Banda Espectral	Resolução Espacial (m)	Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Localização no Espectro	Aplicações Principais
TM-01	30	0,45 - 0,52	azul	Projetada para penetração em corpos d'água, sendo usual para mapeamento de áreas costeiras, tipos florestais.
TM-02	30	0,52 - 0,60	verde	Projetada para medir reflectância da clorofila da vegetação sadia.
TM-03	30	0,63 - 0,69	vermelho	Projetada para operar na região de absorção de clorofila, auxiliando na diferenciação de espécies vegetais.
TM-04	30	0,76 - 0,90	Infra-vermelho próximo	Usual para a determinação de tipos de vegetação, vigor e conteúdo de biomassa, identificação de corpos d'água.
TM-05	30	1,55 - 1,75	Infra-vermelho médio	Indicativa do conteúdo da umidade da vegetação e do solo. Também usual em estudos da estrutura urbana.
TM-07	30	2,08 - 2,35	Infra-vermelho médio	Usual para estudos de formações superficiais, identificação de tipos de rochas e minerais. Também sensível a umidade da vegetação.
SPOT - PAN	10	0,51 - 0,73	Visível	Apta para aplicações em cartografia básica e estudos que envolvem feições urbanas e levantamentos de uso da terra

Fonte: adaptado de Lillesand; Kiefer (1987).

Dentre as feições cujo conhecimento das características espectrais são importantes para o desenvolvimento deste trabalho destacam-se as feições urbanas/suburbanas, rodovias, ferrovias, linhas de transmissão, água, vegetação e

solo. Seguem as curvas de reflectância espectral das principais feições urbanas e sub-urbanas, água, solo e vegetação.

### 2.3.1. Características espectrais das feições urbanas e suburbanas

Para se realizar uma apreciação da natureza espectral do fenômeno urbano são apresentadas na figura 2.1 algumas curvas de reflectância espectral, obtidas de medições utilizando-se um espectro-radiômetro.

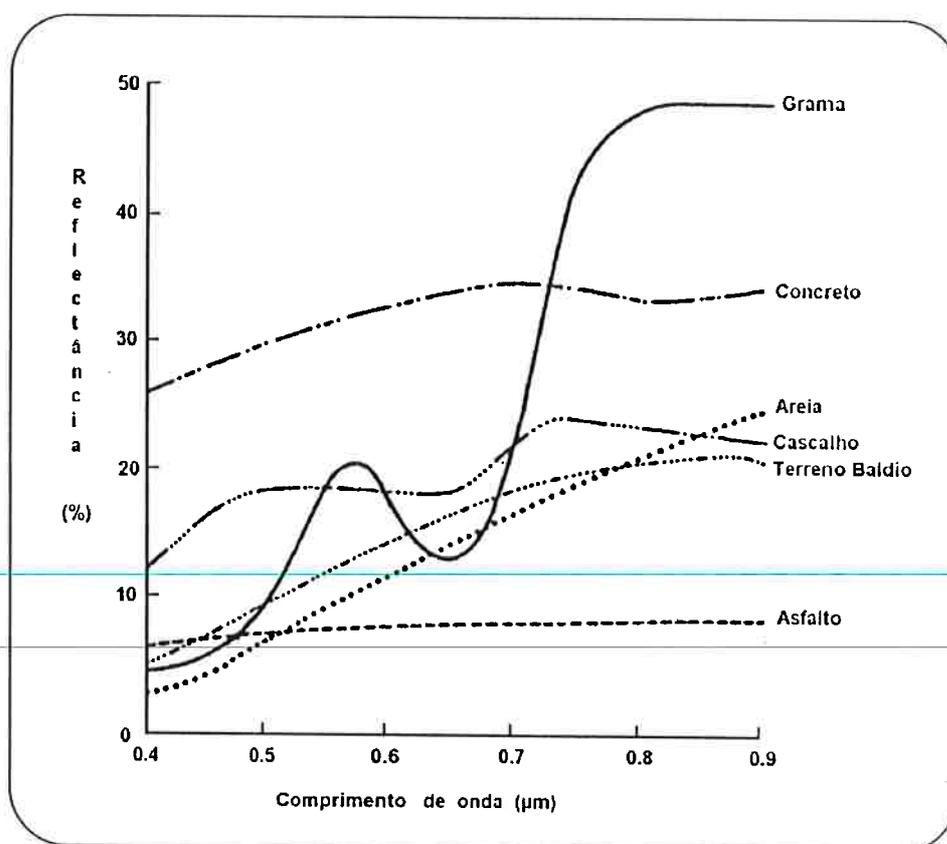


Figura 2.1 Curvas de reflectância espectral para feições urbanas/suburbanas. Adaptado de ASP (1983), p. 1572.

No caso de feições urbanas a assinatura espectral obtida por sensores remotos não é única em função das características dos objetos construídos pelo

homem, que apresentam grosseiramente as mesmas propriedades de reflectância espectral. Assim, uma identificação precisa requer a associação de outros elementos de interpretação de imagens à resposta espectral dos objetos propriamente dita. Elementos de interpretação como forma, tamanho, textura e padrão são essenciais para identificação e classificação precisas de feições urbanas e suburbanas. O estudo da assinatura espectral dos alvos urbanos envolve a avaliação de imagens registradas por diversos sistemas sensores como fotografias aéreas, imageadores multiespectrais e radares.

As estruturas de concreto apresentam registros em tons claros pois aproximadamente de 20 a 35% do fluxo radiante do azul, verde, vermelho e infra-vermelho próximo é refletido destas superfícies.

A pavimentação com asfalto, características das rodovias e arruamentos urbanos pavimentados, apresenta absorção de cerca de 90% do fluxo no azul, verde, vermelho e infra-vermelho, resultando em tons escuros os registros nestas faixas do espectro.

Analisando-se a curva espectral da grama observa-se baixas porcentagens de reflectância nas faixas do azul e vermelho, fenômeno comumente caracterizado no gráfico de reflectância espectral como bandas ou regiões de absorção da clorofila. Já na faixa do infra-vermelho próximo ocorre um grande aumento na reflectância, comportamento característico da vegetação e muito explorado em estudos de Sensoriamento Remoto voltados para este tema.

---

### 2.3.2. Características espectrais da água

---

Ainda conforme ASP (1983), a resposta espectral da água varia com o comprimento de onda, de acordo com as interações resultantes da sua própria natureza e são afetadas pelas variações nas condições da mesma. Num ambiente natural, os corpos d'água absorvem quase toda a energia incidente nos comprimentos de onda correspondentes ao infra-vermelho próximo e infra-vermelho médio, havendo um mínimo de energia disponível para ser refletida nestas regiões. Esta é uma vantagem para as aplicações de Sensoriamento Remoto pois faz com que a água tenha uma reflectância significativamente menor que a vegetação e o solo, facilitando o contraste e a identificação na imagem. Na porção visível do espectro as interações energia-matéria para corpos d'água tornam-se mais complexas. Estudos foram realizados buscando medir a reflectância na faixa do visível de corpos d'água

nas mais diversas condições. Apresenta-se aqui a figura 2.2 com a curva de reflectância espectral de água turva e límpida medida em condições naturais. Pode-se observar que a água turva apresenta uma reflectância significativamente superior a da água límpida. A turbidez causada pela presença de sedimentos em suspensão é um dos fatores que mais afeta a resposta espectral dos corpos d'água.

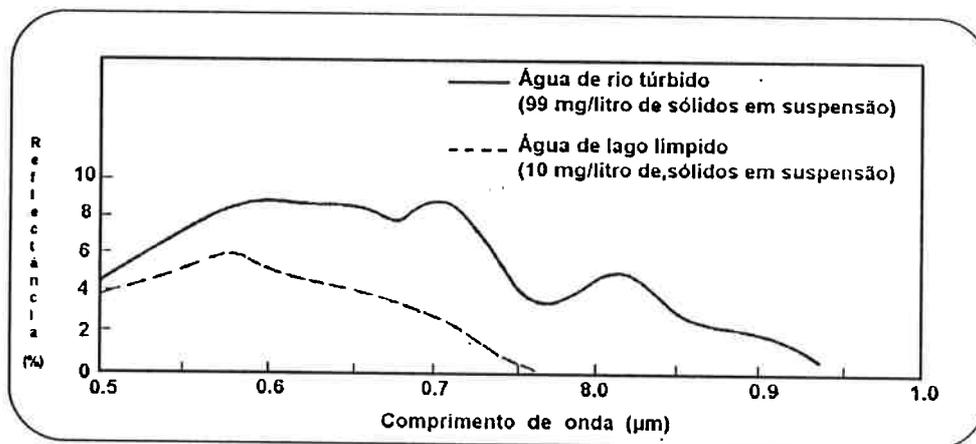


Figura 2.2: Curvas de reflectância espectral para água turva e límpida. Adaptado de Swain (1978), p.257.

### 2.3.3. Características espectrais da vegetação e do solo

A reflectância espectral da vegetação verde é distinta e completamente variável com o comprimento de onda. Pode-se observar na figura 2.3 com uma curva típica de reflectância espectral para a vegetação verde, indicando as regiões de resposta espectral de maior significância. Nos comprimentos de onda relativos à luz visível, a pigmentação domina a resposta espectral das plantas, especialmente a clorofila. Na região do infra-vermelho próximo a reflectância aumenta porque a folha verde absorve pequena quantidade de energia nesta região. Já no infra-vermelho médio a água absorve energia em comprimentos de onda específicos, que dominam a resposta espectral desta região.

Já as curvas de reflectância espectral da maioria dos materiais do solo são aparentemente menos complexas que as da vegetação, como pode-se observar também na figura 2.3, através de uma típica curva de reflectância espectral do solo seco. Esta curva indica que ocorre um aumento geral no nível de reflectância do solo seco com o aumento do comprimento de onda, particularmente nas faixas do visível e infra-vermelho próximo. Embora, em comparação com a vegetação, as interações

energia-matéria sejam menos complicadas para o solo, deve-se considerar que este último é resultado de uma mistura complexa de materiais com diferentes propriedades físicas e químicas, o que pode afetar as características de absorção e reflectância do mesmo. Esta mistura é composta por uma quantidade de matéria orgânica, óxido de ferro, certas porcentagens de argila, silte e areia que além de definirem as características de aspereza da superfície do solo, influenciam grandemente a sua reflectância espectral.

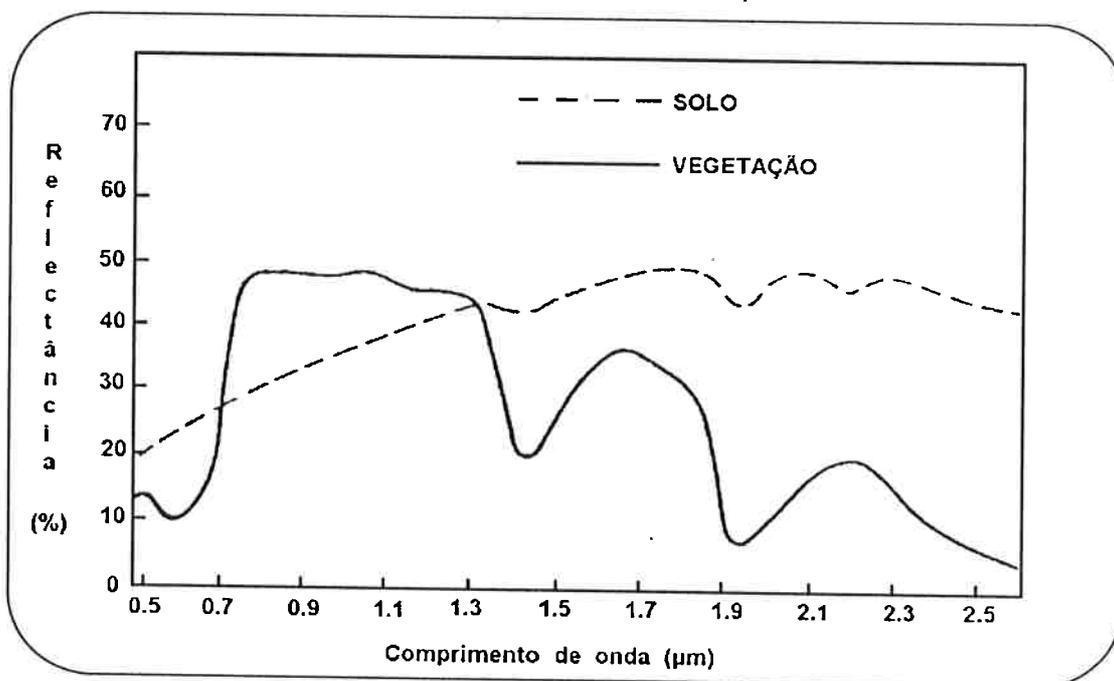


Figura 2.3: Curvas espectrais típicas de vegetação e solo seco. Adaptado de Swain (1978), p.257.

#### 2.4. Realce de Imagens

Algumas técnicas de realce de imagens estão disponíveis para ajudar o homem na extração e interpretação de informações na forma de imagens. O realce é conseguido através da articulação de feições ou padrões de interesse na imagem e por uma exibição adaptada as propriedades do sistema visual humano. Em função do sistema visual humano discriminar muito mais cores que níveis de cinza, uma exibição colorida pode representar mais informações detalhadas que uma exibição em tons de cinza (Moik, 1980).

As técnicas de realce são aplicadas sem conhecimento quantitativo do fenômeno de degradação, os quais incluem atenuação de contraste, bruma e ruído. Estas técnicas tentam atenuar ou descartar feições irrelevantes bem como enfatizar

feições e padrões de interesse (Andrews (1972), Nathan (1968) e Selzer (1968) apud Moik (1980)). Obviamente a escolha dos parâmetros e de quais feições representar com estes parâmetros depende dos objetivos de uma dada aplicação.

Moik (1980) apresenta os métodos de realce divididos em:

- a) aumento de contraste ( modificação na escala de cinza);
- b) realce de borda;
- c) realce de cor (pseudo-cor ou falsa-cor);
- d) realce de multiplas imagens.

#### **2.4.1. Aumento de Contraste**

O aumento de contraste produz uma cena que aproveita ao máximo o alcance dinâmico do dispositivo de exibição ( monitor, filme fotográfico). Dentre os fatores que influenciam as características de contraste de uma imagem podem-se encontrar os efeitos atmosféricos e da luz solar, as características de exposição e a sensibilidade do sensor. Em função destes fatores, muitas vezes, o registro de uma imagem não correspondente ao alcance dinâmico para o qual ela é projetada. Uma outra limitação do aumento de contraste é a presença de áreas muito escuras ou muito claras na imagem. Para a realização do aumento de contraste são aplicadas transformações na escala de cinza uniformemente para toda a cena para o alcance dinâmico máximo. As transformações lineares parciais podem ser usadas para realçar regiões escuras, médias ou claras da escala de cinza e para corrigir deslocamentos não lineares.

#### **2.4.2. Realce de Borda**

Os processos de imageamento e varredura causam uma espécie de embassamento da imagem. Devido as características de passa-baixa dos sistemas de imageamento, frequências espaciais altas são mais enfraquecidas que as menores frequências. Então o realce de borda pode ser realizado pela filtragem passa-alta, enfatizando as altas frequências espaciais.

#### **2.4.3. Realce de Cor**

Como o olho humano possui maior capacidade de discriminação de cores do que de níveis de cinza, o uso das cores aumenta significativamente a quantidade de informação que pode ser exibida. A percepção da cor está associada as propriedades do sistema visual humano e do dispositivo de exibição utilizado Billingsley (1970) e Billmeyer ( 1966) apud Moik (1980).

Quando dispositivos de exibição que apresentam pequenas diferenças nos conjuntos de cores primárias são empregados, uma transformação pode ser necessária para obter a consistência das cores. No caso de imagens de múltiplas bandas, estas podem ser exibidas como cenas coloridas através da seleção dos três componentes para a indicação de cores primárias. Através da variação dos valores destes componentes pode-se gerar todas as cores possíveis dentro da média de exposição (Moik, 1980).

A transformação no espaço das cores ou **transformação IHS** parte do princípio que a descrição das propriedades de um objeto numa imagem é feita em termos de Intensidade (Intensity), Matiz (Hue) e Saturação (S) pois estas descrevem as sensações subjetivas de brilho, cor e pureza da cor respectivamente, o que não é alcançado com os componentes Vermelho (Red), Verde (Green) e Azul (Blue). A aplicação da transformação dos componentes RGB (vermelho, verde e azul) em componentes IHS (intensidade, matiz e saturação) antes do processamento pode dar um maior controle sobre o realce das cores. Após a operação as imagens são convertidas novamente para o espaço RGB. A figura 2.4 apresenta um esquema representativo do processamento no espaço das cores (Schowengerdt, 1983).

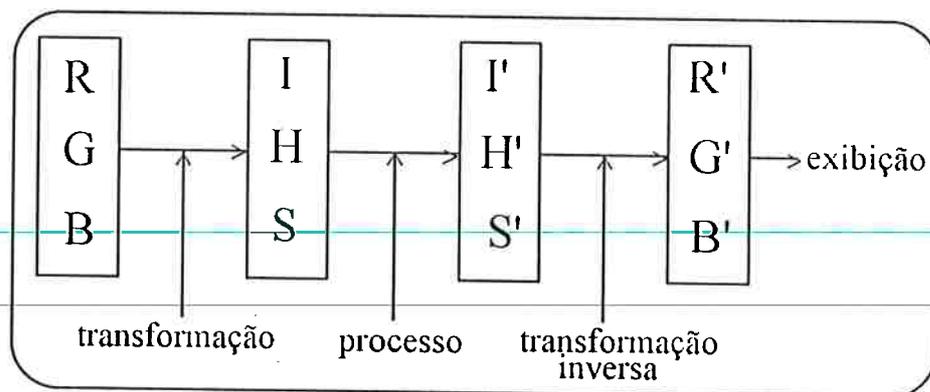


Figura 2.4 : Processamento de imagens no espaço das cores.  
(extraído de Schowengerdt (1983) p.122)

Um exemplo desta técnica é dado através do modelo "hexacone" que embora não seja baseado numa teoria particular de cores é representativo da maioria dos algoritmos utilizados no processamento e em gráficos de cores, de acordo com Smith (1978) apud Schowengerdt (1983). Para tanto considera-se a projeção de um sub-cubo de cores RGB apresentando vértice distante da origem definida por um ponto na linha de cinza, num plano perpendicular a linha de cinza para aquele ponto. Com o movimento do vértice do preto para o branco, resultam uma série de

hexágonos de tamanho aumentado conforme mostra a figura 2.5.A. O hexacone é um sólido definido por esta série de hexágonos sendo que hexágono do preto degenera-se num ponto enquanto o hexágono do branco apresenta o tamanho máximo. O parâmetro intensidade é definido pela distância contada a partir do preto ao longo da linha de cinza. Para cada pixel com uma dada intensidade, os componentes matiz e saturação apresentam definição geométrica num hexágono apropriado conforme mostra a Figura 2.5.B.

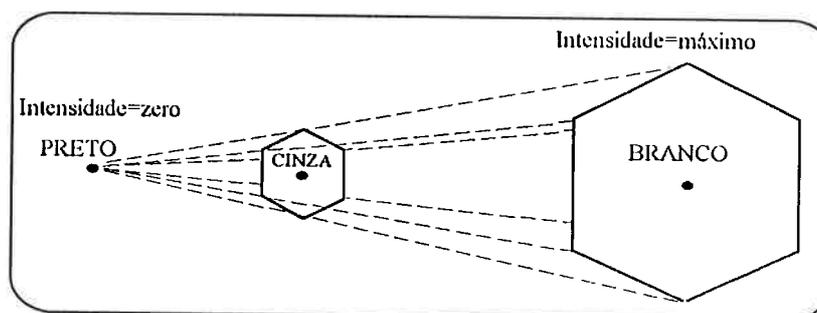


Figura 2.5.A

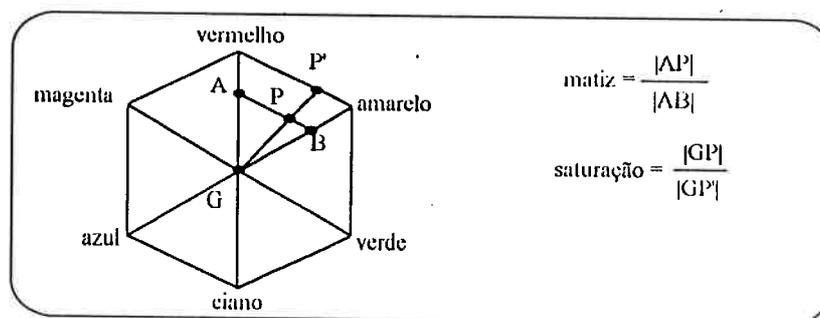


Figura 2.5.B

Figura 2.5 A- Geração do Hexacone.

B - Definição dos componentes da cor para um pixel vetorial com intensidade não zero para o ponto P (extraído de Schowengerdt (1983) p.124).

O uso distâncias lineares para definir matiz (H) e saturação (S) fazem o modelo hexacone mais eficiente que transformações similares que se utilizam de funções trigonométricas.

A transformação IHS pode ser utilizada como etapa intermediária nas operações de realce de imagens. Também é bastante usual em exibições diversas, mas para imagens registradas espacialmente. Um exemplo pode ser o uso de uma imagem no visível com alta resolução ser exibida como o componente intensidade e uma imagem com banda termal, com baixa resolução pode ser exibida como o componente matiz (Haydn, 1982 apud Schowengerdt, 1983). Nestes casos a imagem

R'G'B' resultante contém a estrutura detalhada da cena expressada como intensidade, com a estrutura termal superimposta como variações da cor pura.

#### 2.4.4. Realce de Múltiplas Imagens

As imagens múltiplas são obtidas de sensores com mais de uma banda espectral e detém maior quantidade de informação que as imagens monocromáticas. As técnicas de realce de múltiplas imagens envolvem o realce independente de componentes ou combinações lineares e não lineares das imagens componentes. Estas incluem a razão de bandas, a diferenciação e a análise por componentes principais (Moik, 1980).

Quanto a Razão de bandas, esta pode ser feita através da razão entre bandas individuais e posterior exibição das várias razões como composições coloridas.

Nas imagens derivadas da razão de bandas ocorre a ausência do sombreamento topográfico por ser esta informação altamente correlacionada entre as diversas bandas, sendo os pixels sombreados registrados ao longo da linha de mesma razão e suprimidos do resultado. Como apresentam a capacidade de realçar intensamente determinadas feições da assinatura espectral de alguns materiais naturais são utilizadas com sucesso em aplicações geológicas.

~~A Diferenciação é um método simples de realce de imagens, envolvendo a subtração de componentes de uma multi-imagem de cada outra. Utilizada para a detecção de mudanças temporais de componentes da imagem tomados em épocas diferentes. Também possibilita a determinação de diferenças temporais pela subtração de dois componentes da imagem tomados em diferentes comprimentos de onda.~~

A escolha de bandas para a geração de composições coloridas falsa-cor, razão de bandas e diferenciação ocorre de forma intuitiva, tomando-se por base as características da cena e a experiência do intérprete.

A Análise por Componentes Principais (ACP) é uma transformação matemática única, baseada na matriz de correlação ou de covariâncias de cada cena, a qual produz novas variáveis conhecidas como componentes ou eixos, resultados de

combinações lineares das variáveis originais, onde cada componente contém dados não correlacionados com os outros componentes (ASP, 1985).

A transformação para os componentes principais considera que as imagens multiespectrais apresentam alta correlação entre as bandas espectrais; embora a redundância entre componentes de tais multi-imagens possa ser significativa. A transformação de Karhunen-Loève para componentes principais fornece um novo conjunto de componentes não correlacionados e arranjados de forma que cada componente tenha variância menor que o prévio.

Assim, esta transformação pode ser usada para a obtenção de um número menor de componentes principais que são não correlacionados e equivalem a todos os componentes espectrais originais (Moik, 1983).

A primeira função da Análise por Componentes Principais é determinar a extensão da correlação existente entre as bandas espectrais dos sensores remotos e, através de uma dada transformação matemática, removê-la. Pode-se afirmar que duas imagens são correlacionadas quando existe uma correlação entre a intensidade do pixel de uma delas e a intensidade do pixel correspondente na outra imagem.

Dentre as causas de existência de correlação destacam-se o sombreamento topográfico, a relação entre o espectro de reflectância dos materiais superficiais e as bandas espectrais do sensor. A correlação entre bandas além de esconder pequenas diferenças entre reflectâncias dos materiais, leva a uma redundância de dados. A técnica de ACP extrai a informação redundante de um conjunto de imagens distribuindo a informação restante em novas imagens. O número de novas imagens, ditas componentes principais, pode ser menor ou igual ao número total de imagens originais.

Dentre os parâmetros matemáticos utilizados na análise por componentes principais estão a variância e a covariância. A variância é definida pelo quadrado do desvio-padrão do histograma de intensidades, que corresponde a medida do contraste de cada banda. A covariância expressa o grau de correlação entre duas bandas. A Análise por Componentes Principais realiza a análise da correlação de um grupo de imagens brutas, gerando novas imagens denominadas Componentes Principais. O 1º componente principal (CP1) contém a informação comum a todas as bandas originais enquanto o último componente principal conterá a informação menos significativa, ou seja, o que sobrar.

A técnica da análise por componentes principais faz uso dos coeficientes de correlação ou das covariâncias para determinar um conjunto de

quantidades definidas como **auto-valores**. Estas quantidades correspondem aos comprimentos dos eixos dos componentes principais de uma imagem e são medidas em unidades de variância. A cada auto-valor corresponde um conjunto de quantidades, sob a forma de coordenadas, denominadas **auto-vetores**. Estas quantidades representam as direções dos eixos das componentes principais.

Deve-se notar que a quantidade de informação de cada componente principal é dada pelo seu auto-vetor. No caso de imagens multiespectrais, o usual é que os componentes principais de grau superior apresentem maior quantidade de informação que as de grau inferior. Esta constatação dá-se em termos quantitativos o que não significa que esta informação seja qualitativamente menos importante.

Mather (1987) exemplifica sua experiência através de uma aplicação a transformação ACP a sete bandas TM da sub-imagem High Peak. Quando da análise da matriz de correlação o autor realiza uma análise dos componentes principais em que o primeiro componente sumariza a informação comum a todas as bandas TM originais, podendo ser encarado como a média ponderada de todas as bandas. O segundo componente principal é dominado pela contribuição da banda termal. Ocorre também uma pequena contribuição das tres bandas do espectro visível. Os componentes 1 e 2 detém mais de 90% da variabilidade na conjunto de dados das imagens originais. Cerca de 5,5% da contribuição restante corresponde ao 3<sup>o</sup> componente principal. A banda TM-4 (infra-vermelho próximo) mais contribuiu para este componente principal e o alto contraste entre terra e água é evidente neste componente. O autor destaca que, ". . . curiosamente as principais estradas que cortam a região são mais evidentes neste componente principal do que em qualquer banda TM individual ou outro componente principal". Os componentes principais de 4 a 7 contém somente 4,02% da variabilidade dos dados. Mather (1987) argumenta que embora apresentem menor porcentagem de variabilidade dos dados e de se considerar que os componentes de maior ordem detém maior proporção de ruídos, neste caso suas imagens apresentam contraste superior ao dos primeiros componentes e a variabilidade apresentada não poderia ser desconsiderada.

Crosta (1992) exemplifica este fato na detecção de feições espectrais relacionadas a minerais indicativos da presença de jazidas, concentradas nos dois ou três últimos componentes principais.

Recursos de aumento de contraste e composições coloridas são muito utilizados visando melhorar a visualização e interpretação destas imagens. Os tons de cinza no caso de composições coloridas são indicadores de correlação e praticamente inexistem por estas apresentarem cores espectrais puras e saturadas.

A análise dos auto-vetores para verificar a contribuição de cada banda original para a formação de cada componente principal é feita transformando-se os auto-vetores em porcentagens para que se facilite a análise. Após isto, uma comparação destes auto-vetores com curvas de reflectância espectral de objetos de interesse como vegetação, solos, água etc, permite deduzir onde se encontrará a informação desejada.

Uma comparação entre três métodos de hibridação envolvendo imagens Landsat TM e SPOT Pancromática é apresentada por Chavez et al. (1991), buscando a avaliação do nível de distorção das características espectrais de dados com alta resolução espectral. O artigo compara os resultados obtidos por três diferentes métodos usados para realizar a hibridação de dados Landsat TM e SPOT pancromático (SPOT-P). Os métodos adotados foram transformação IHS, Análise por Componentes Principais (ACP) e Filtragem utilizando Filtro Passa-Alta (FPA) de menor intensidade.

Os autores apresentam uma breve descrição dos métodos começando pela transformação IHS através da qual três bandas de menor resolução espacial foram transformadas do espaço RGB para o espaço IHS. Uma imagem de maior resolução espacial sofreu uma ampliação de contraste para que tivesse, aproximadamente, os mesmos valores de média e variância que o componente intensidade (I). Após ser realçada a imagem SPOT-P substituiu o componente I antes que se realizasse a transformação inversa. Os autores colocam que se escolheu o componente intensidade para ser substituída pela SPOT-P porque espectralmente, as duas imagens são aproximadamente iguais.

O método de hibridação utilizando a análise por componentes principais (ACP) é utilizado de forma similar ao método IHS. As três ou todas as seis bandas TM podem ser utilizadas na transformação ACP. A imagem SPOT-P foi realçada para ter aproximadamente as mesmas média e variância do 1º componente. Posteriormente a SPOT-P substituiu a 1º componente para que se aplicasse a transformação inversa, retornando ao espaço original.

O método de Filtragem utilizando o Filtro Passa-Alta fez uso de um filtro passa-alta de menor intensidade na imagem de maior resolução, no caso a SPOT-P. O resultado apresentou informação de alta frequência relacionada principalmente com informação espacial. O filtro espacial removeu a maioria da informação espectral. O resultado foi adicionado, pixel a pixel, à imagem de menor resolução espacial mas com alta resolução espectral (bandas TM).

Os conjuntos de dados TM utilizados nos testes foram 3: bandas TM 1,3 e 4; bandas TM 1,4 e 5; e bandas TM 1,3,4 e 5 sendo que na transformação IHS somente os dois primeiros conjuntos foram testados em função desta limitar-se a 3 bandas. A comparação dos resultados foi feita através de análise estatística, visual e gráfica e indicou que o método de Filtragem através do Filtro Passa-Alta (FPA) apresentou menor distorção espectral que os gerados pelos outros dois métodos. A transformação ACP introduziu menores distorções às características espectrais do que a transformação IHS, isto devido a maior correlação existente entre as imagens SPOT-P e 1<sup>o</sup> componente do que com o componente I. A comparação visual indicou que o método FPA gerou resultados com resolução espacial tão boa quanto os obtidos do IHS.

Uma vez situada a panorâmica dos trabalhos de atualização e o que vem sendo desenvolvido nesta área, segue-se a parte prática deste trabalho em que se procura desenvolver uma metodologia aplicando-a a um projeto piloto.

O conteúdo teórico deste item foi extraído de Moik (1980), Schowengerdt (1983), ASP (1985), Lillesand & Kiefer (1987) Mather (1987) e Crosta (1992) e Chavez et al. (1991). Maiores detalhes relativos as técnicas, abordadas de forma concisa neste capítulo, podem ser obtidos nas obras citadas acima.

## 2.5. Qualidade da Atualização

Neste e nos próximos itens apresentam-se alguns exemplos de diferentes metodologias adotadas para a atualização cartográfica, especificamente trabalhos envolvendo a atualização de cartas.

Os principais métodos de atualização fazem uso de fotografias aéreas e de imagens orbitais. O trabalho de campo é tarefa fundamental para a solução de problemas de interpretação e para a detecção de informações sobre as feições topográficas e ocupação humana, notadamente a toponímia.

Quanto à produção de cartas topográficas, os padrões de precisão cartográfica estabelecidos para o mapeamento sistemático e para ortofotomapas são de 0,5 mm na escala da carta para a precisão planimétrica e meia equidistância das curvas de nível para a precisão altimétrica.

A qualidade da atualização está relacionada, em grande parte, com a capacidade de comparação entre as feições da carta a ser atualizada e a imagem atual, para a detecção das alterações. Praticamente todos os métodos de atualização passam por esta etapa que, além de lenta e cansativa para o operador, torna o processo mais susceptível a erros e imperfeições. Além da detecção de alterações são consideradas dificuldades na atualização: o controle de qualidade, a preservação do apoio geodésico de campo e a falta de recursos para a manutenção do mapa atualizado.

Lugnani (1985) apresenta as formas de detecção de alterações mais destacadas:

1. Constatação de campo comunicada ao órgão atualizador através de iniciativas institucionais ou individuais;
2. Constatação através de intercomunicação sistemática entre o órgão atualizador e as diversas instituições produtoras e divulgadoras de cartas;
3. Levantamento de campo específico;
4. Comparação entre foto atual e mapa a ser atualizado;
5. Comparação entre foto retificada, ortofoto e mapa;
6. Geração de um banco de dados de feições do mapa a ser atualizado e da foto atual e comparação entre ambos.

Dentre os métodos de locação e registro dos elementos cartográficos estão:

1. Desenho manual de feições levantadas no campo;
2. Desenho manual através de instrumento de baixa precisão como por exemplo o "*aerosketchmaster*" (transformador aerofotográfico) da Zeiss Jena;
3. Desenho manual ou restituição de pequena área de uma carta, com o remendo provisório da carta;
4. Atualização à partir de originais de restituição, baseada em restituição de novas entidades e remoção das que não mais existem através de fotos atuais e de outras fontes;
5. Atualização de originais com locação baseada em ortofotos;
6. Atualização de arquivos de bancos de dados com informações posicionais e atributos vindos de fontes diversas;
7. Atualização de carta digital através de transformação da imagem para o mapa (digitalização em tela através de mouse).

## 2.6. Atualização de Cartas Topográficas através de Fotografias Aéreas

Os métodos que envolvem a atualização cartográfica através de fotografias aéreas vão desde os chamados métodos convencionais até os modernos métodos de cartografia digital que se utilizam de fotos e ortofotos digitais.

Pode-se dividir a atualização em 3 etapas:

- detecção de variações;
- posicionamento de novas feições no original, remoção das feições não mais existentes e verificação de campo;
- processamento do original.

Segundo Lugnani (1985) "a grande diversidade de procedimentos é função de muitos fatores tais como:

- montante de variações ocorridas;
- qualidade requerida do produto de atualização;
- qualidade do mapa original;
- recursos de pessoal e instrumental disponíveis;
- escala do mapa;
- demanda de atualização cíclica, contínua ou seletiva, etc".

Na seqüência serão examinadas diversas técnicas de atualização , variando de métodos expeditos até transformações rigorosas, utilizáveis em função do objetivo que se pretende atingir. No caso de atualizações aproximadas o próprio usuário inclui entidades sobre o mapa para suprir necessidades imediatas. No caso de atualização abrangente e sistemática, faz-se necessária a revisão do original de restituição bem como o cumprimento das demais etapas de produção de cartas.

### 2.6.1. Métodos de Atualização de Pequenas Áreas

Os procedimentos de atualização descritos neste item são usuais para pequenas áreas onde o volume de novas feições é pequeno em relação ao volume de informações contidas no mapa. Por exemplo, a atualização de uma região de interesse que corresponde a umas poucas fotos aéreas, para um projeto específico. Neste caso poder-se-ia adotar uma das seguintes opções:

### a) Aerosketchmaster

Utilizar o instrumento *aerosketchmaster* ou transformador aerofotográfico (figura 2.6) para transferir detalhes da foto atual para o mapa a ser atualizado. Tal método não considera os deslocamentos da imagem devidos à variação de altitude (deslocamento devido ao relevo), à variação na direção de observação, além das imprecisões do desenho feito à mão e das aproximações visuais de orientação e escala. Aplica-se a trabalhos de atualização quando não se requer muita precisão e quando o terreno é aproximadamente plano e a quantidade de novas informações é pequena.

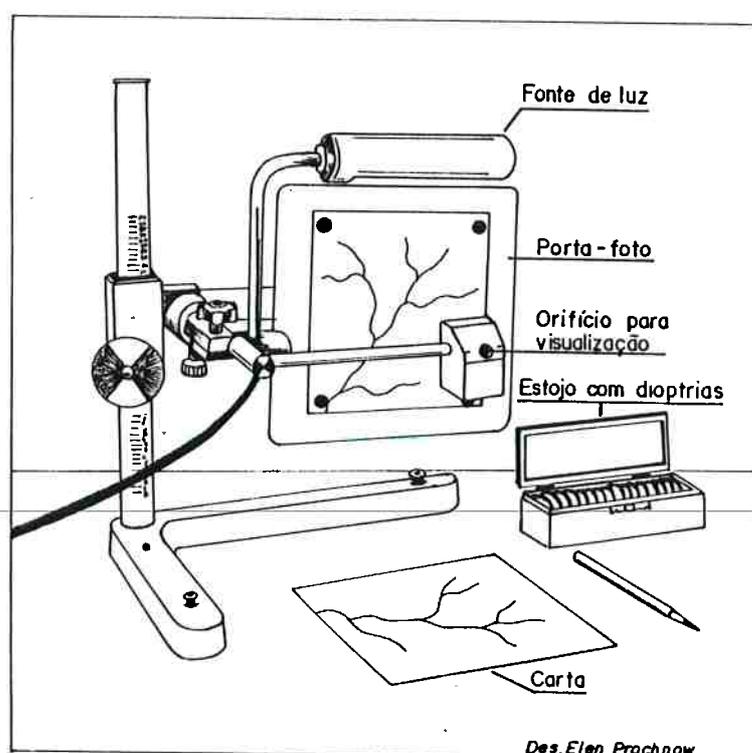


Figura 2.6: Transformador aerofotográfico ou *aerosketchmaster* - Zeiss Jena

### b) Estereopantômetro

Utilizar o estereopantômetro ou *stereopantometer* (Zeiss Jena) que corresponde a um estereoscópio de espelhos apoiado sobre uma mesa de luz com porta-fotos sobre guias paralelas, barra de paralaxe e pantógrafo, conforme mostra a figura 2.7. Com respeito a precisão nas medidas, trata-se de instrumento com certas limitações, dotado de sistemas de orientação e medição de baixa eficiência que só é prático e eficaz para o caso de poucas feições, quando não se exigir alta precisão.

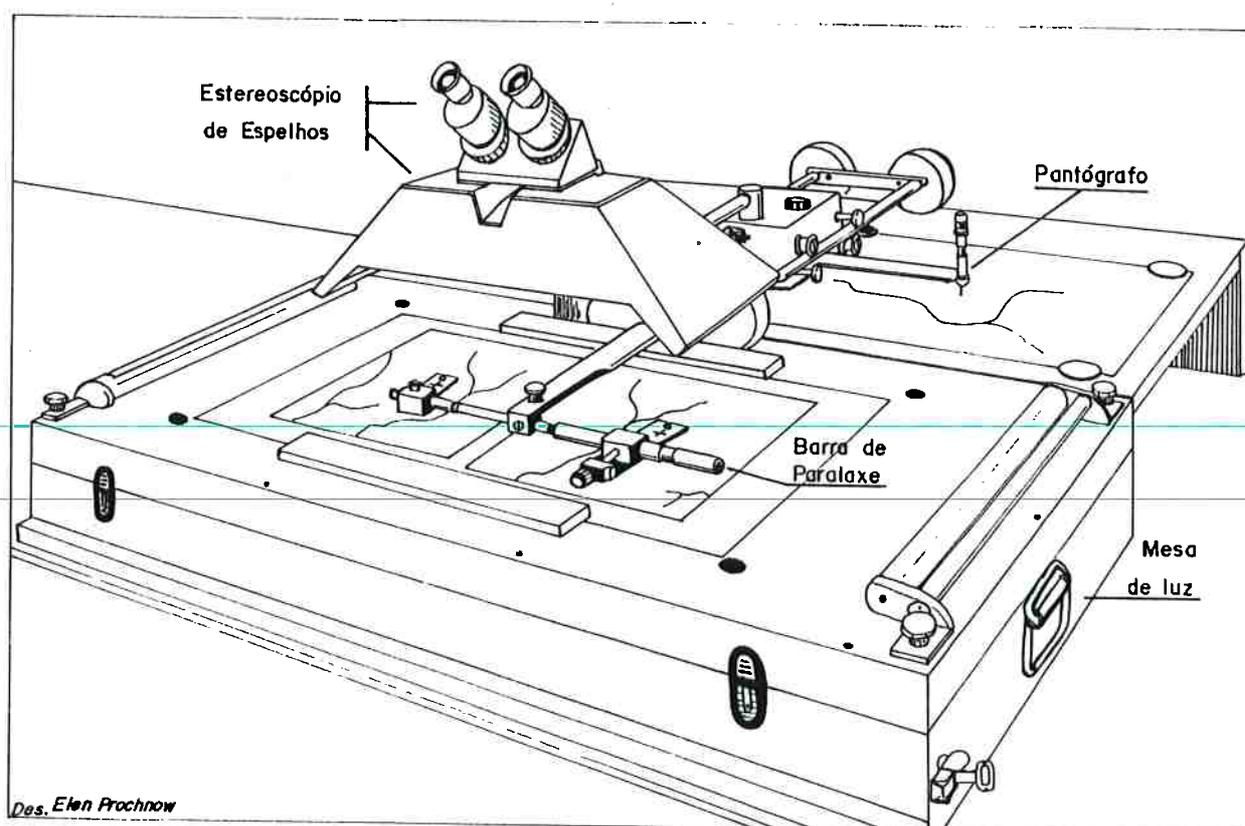


Figura 2.7: Estereopantômetro - Zeiss Jena.

### c) Interpretoscópio

O *interpretoskop* ou interpretoscópio (Zeiss Jena) apresenta recursos de ampliação de 2 a 15 vezes, possibilitando o trabalho com foto atual e mapa a ser atualizado em escalas diferentes (figura 2.8). A atualização dá-se mediante traçado feito à mão sobre o mapa a ser atualizado. Trata-se de um instrumento com limitações semelhantes aos anteriores.

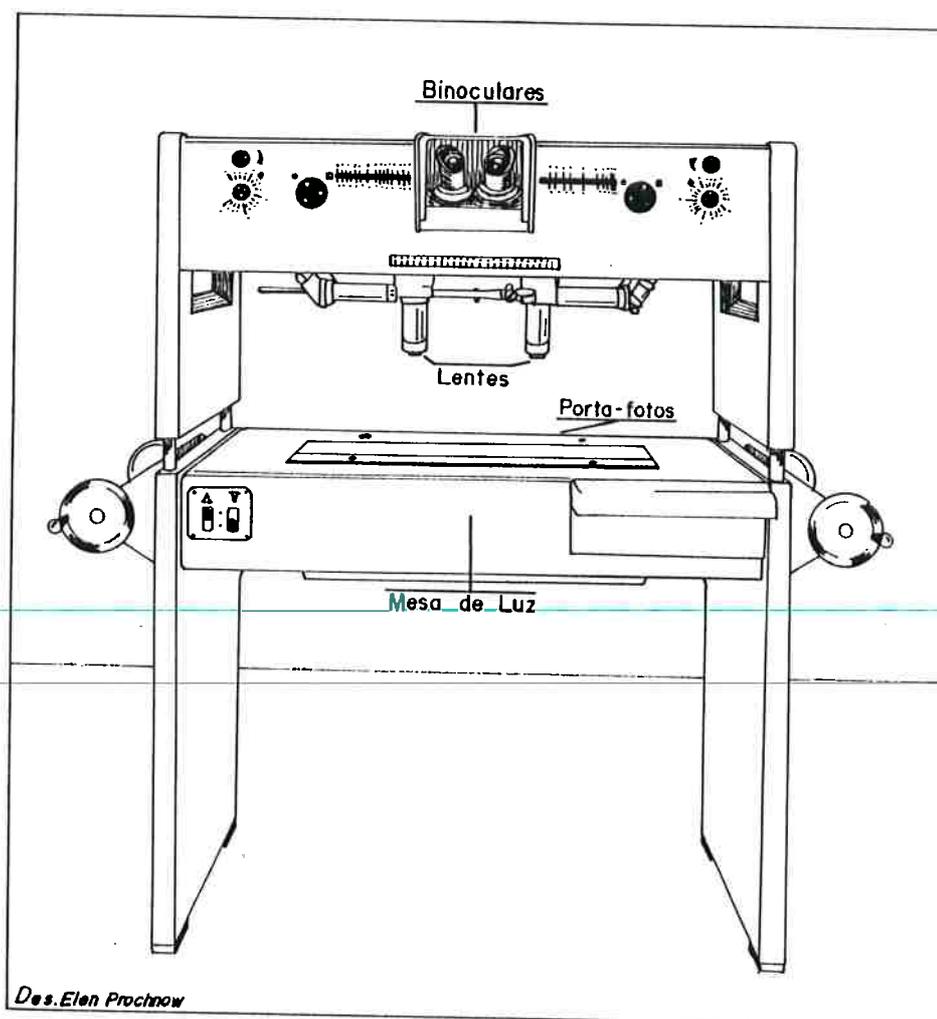


Figura 2.8: Interpretoscópio - Zeiss Jena.

#### **d) Levantamento Topográfico**

Outro método, o que envolve levantamento de campo das feições por processos topográficos acompanhado do desenho é preciso. As coordenadas de campo podem ser transformadas para as do mapa através da conexão com a rede geodésica. Trata-se de uma alternativa que, apesar da boa precisão, requer muito tempo e um alto investimento. Principalmente no caso de feições não geométricas onde uma quantidade grande de pontos discretos é necessária para sua definição. Com o advento dos Sistemas de Posicionamento Global abrem-se novas possibilidades que vão desde o uso de equipamentos de bolso, expeditos e de baixa precisão, até outros mais precisos e mais caros, envolvendo processamento complexo.

Como balanço final pode-se dizer que estes e outros procedimentos aproximados podem suprir necessidades imediatas de informações atualizadas. Seria interessante estudar maneiras de revitalizar estes métodos conjugando-os, por exemplo, com uma mesa digitalizadora ou com codificadores de movimentos acoplados a microcomputadores. Estas poderiam ser alternativas viáveis para muitos usuários de planejamento que trabalham com Sistemas de Informação Geográfica. No entanto, são métodos inviáveis quando se trata de uma atualização abrangente, efetiva e sistemática. Neste caso deve-se preservar a qualidade do original através da aplicação de metodologias sistematizadas de coleta de dados, detecção de alterações, revisão do original e edição da carta atualizada.

#### **2.6.2. Métodos de Atualização Sistemática**

Neste item apresentam-se alguns métodos de atualização sistemática que procuram solucionar o problema da detecção das variações e do posicionamento das novas feições no original.

##### **a) Restituição Convencional e Ortofoto**

No XIV Congresso de Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS) em Hamburgo (1980) apud Lugnani (1985) foram apresentadas aplicações práticas de atualização cartográfica. Os testes envolveram importantes instituições cartográficas internacionais, dentre as quais destaca-se o trabalho realizado pelo Serviço Geográfico da Noruega (*Geographical Survey of Norway*) e relata a experiência de atualização de um mapa da série nacional da Suíça, através de restituição convencional. Foram apresentadas cópias positivas com

separação por cores, das quais reproduziram-se, por processo fotográfico, cópias negativas para comparação com o original restituído.

A **Restituição Convencional** é o procedimento de produção cartográfica mais amplamente difundido, apresentando grande potencial de transferência de informações do modelo estereoscópico para o mapa em termos de eficiência e simplicidade.

Os restituídores desempenham tão precisamente a tarefa para a qual foram criados que possuem ampla aceitação seja qual for o trabalho que envolva transformações de feições da foto para o mapa. Os restituídores são amplamente empregados em trabalhos de atualização que envolvam grandes áreas e que exijam precisão, podendo ser analógicos, analíticos e digitais. Os restituídores analíticos desempenham com mais flexibilidade e eficiência as tarefas executadas pelos restituídores analógicos enquanto a restituição digital ainda necessita aperfeiçoamentos para concorrer com as demais. Maiores detalhes sobre a automação da restituição podem ser encontrados em Cintra e Ribeiro (1991) e Kennie e Petrie (1990).

No entanto dificuldades aparecem quando, em vez de efetuar nova restituição, deseja-se aproveitar a restituição anterior acrescentando novas feições e eliminando as desatualizadas. Esta tarefa é facilitada quando já se dispõe de um mapa no formato digital.

A técnica da **Ortofoto** apresenta-se como um dos mais importantes recursos tecnológicos disponíveis para cartografia, quando se fala de planimetria. Em função de seus recursos de ampliação e redução podem ser reproduzidas na mesma escala do mapa a ser atualizado, permitindo um ajuste fácil e a rápida detecção de alterações.

A ortofoto e a cópia positiva do mapa, na mesma escala, são sobrepostos para a locação planimétrica das novas feições. O posicionamento dessas feições é transferido adequadamente, por grupo de feições, para as chapas de cores. Este foi o procedimento adotado pelo *State Survey of Baden - Württemberg* de Stuttgart, Alemanha, para atualização cartográfica.

A análise quantitativa e qualitativa desse teste de Hamburgo não destacou, dentre os procedimentos adotados, um que tenha maior eficiência. Constatou-se, dentre outros, grande esforço por conferir feições, quadrícula por quadrícula, a fim de detectar mudanças. Observou-se que as novas feições foram incluídas com um nível de 95% de acerto e exatidão. As remoções de entidades não

mais existentes e mudanças em edificações já existentes apresentaram erros da ordem de 25%. Foram destacados problemas de espaçamento e orientação de feições de pequena dimensão, dentre outros.

O trabalho realizado por Graça (1994) apresenta uma idéia inovadora de integração de ortofoto digital e SIG onde a ortofoto aparece não como pano de fundo ou informação de "background", procedimento usual em Sistemas de Informação Geográfica. A abordagem encara a ortofoto digital como informação "foreground", ou de frente, sendo o SIG o "background". Neste caso o usuário trabalharia exclusivamente sobre as ortofotos digitais tendo possibilidade de a qualquer momento acessar dados de atributos da ortofoto contidos no SIG. Destaca que o detalhamento da implantação de um sistema deste gênero deve envolver resolução, compressão, produção, navegação interface com SIG e demais aspectos.

#### **b) Restituição Convencional de Fotografias Orbitais**

O processo de restituição de fotografias orbitais obtidas de estações ou do ônibus espacial envolve as seguintes etapas:

- orientação interior e exterior em restituidor analítico;
- restituição e determinação das coordenadas de pontos no terreno;
- traçado de mapas utilizando métodos de cartografia automatizada.

No trabalho realizado por Meneguette (1987) os resultados de melhor qualidade foram obtidos com fotos da Câmara de Grande Formato (LFC) pois as obtidas com a Câmara Métrica sofreram distorções devido a problemas técnicos encontrados à bordo do Spacelab. Obteve-se valores de Erro Médio Quadrático (EMQ) de 20 a 30 m para a planimetria e de 40 m para a altimetria sem que se aplicasse a correção do efeito da esfericidade da Terra e da refração atmosférica. Após a aplicação destas correções o EMQ ficou entre 3 e 23 m em planimetria e entre 3 e 10 m em altimetria. As fotos usadas estavam na escala 1:800.000.

Nas fotografias espaciais, embora a visualização e identificação de feições na imagem sejam realizadas sem dificuldade, o traçado dos detalhes apresenta-se como uma tarefa difícil. Isto se deve à apresentação da imagem de forma granular dificultando a interpretação e o correto posicionamento.

#### **c) Comparação Analógica de Fotografias**

Este procedimento proposto por Besenicar, apud Lugnani (1985) efetua a detecção de variações através de comparações de fotografias aéreas tomadas em épocas diferentes mas de mesma escala, tomadas na mesma hora do dia, na

mesma estação do ano e aproximadamente, na mesma posição (estação de exposição) no espaço. Tal procedimento possibilita a comparação entre uma foto original e outra atualizada através do instrumento denominado *Zoom Transfer Scope*, da Bauch & Lomb (figura 2.9), destinado a facilitar a comparação entre representações gráficas. As diferenças detectadas são sinalizadas e posteriormente realiza-se a restituição analógica ou digitalização num instrumento comparador e a transformação pode, por exemplo, ser realizada por mono-restituição digital<sup>2</sup>.

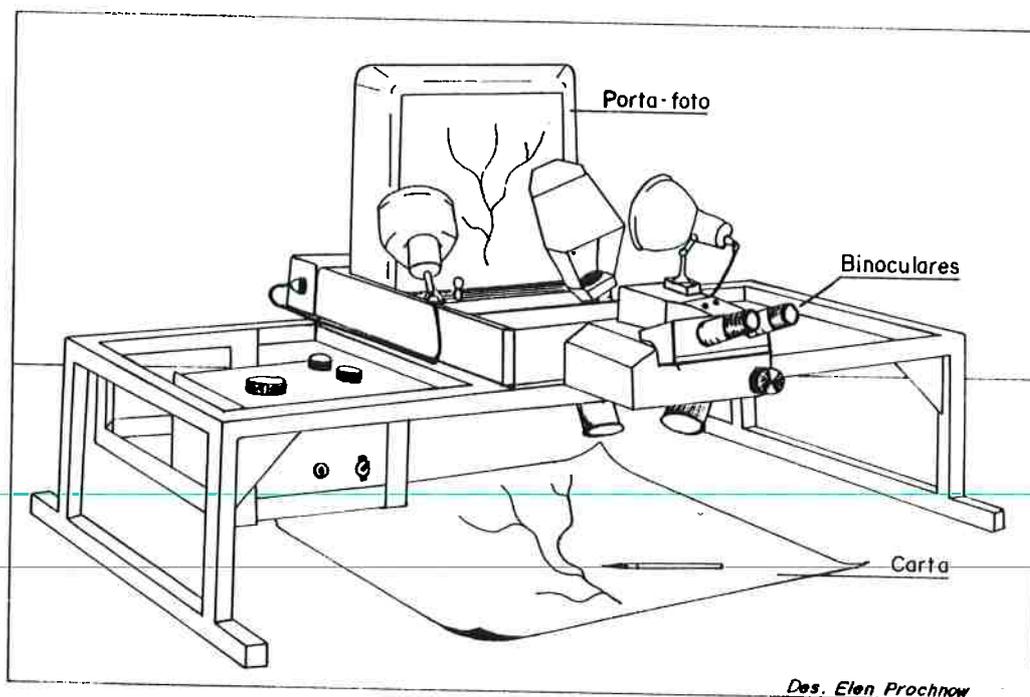


Figura 2.9: *Zoom Transfer Scope* - Bauch & Lomb.

<sup>2</sup> A digitalização planimétrica proposta no ano de 1973 por Makarovic, apud Lugnani (1985) e denominada mono-restituição digital consiste em projetar a imagem, segundo o princípio de colinearidade, do espaço imagem para o espaço objeto, usando parâmetros de orientação exterior da câmara para definir a posição espacial da projetante.

#### d) Comparação de imagens em meio digital

A transferência das informações de uma imagem para um mapa em meio digital envolve dados na forma de arquivos digitais na qual, por comparação, pode-se detectar as mudanças e efetuar as alterações. Estes dados correspondem a uma foto, uma ortofoto digital ou uma imagem orbital atual e o mapa a ser atualizado. A imagem ajusta-se ao mapa através de uma série de rotinas de georeferenciamento de imagens, até a perfeita superposição. A observação da imagem e do mapa sobrepostos permite a detecção das alterações a serem feitas. A detecção é visual pois a correlação entre mapa e imagem é prejudicada em função da natureza distinta de ambos.

As feições podem ser desenhadas automaticamente e suas coordenadas planimétricas apresentadas no monitor. São consideradas vantagens do método as facilidades na detecção de alterações e na sua adaptação a sistemas cartográficos digitais. Destaca-se a dificuldade de identificação de pontos de apoio, que necessitam de cuidados especiais.

### 2.7. Atualização de Cartas Topográficas através de Imagens de Satélite

Pouco depois do lançamento do primeiro satélite Landsat já apareciam trabalhos buscando avaliar a possibilidade de atualização de cartas através de suas imagens MSS (resolução espacial 80 m). Estudos na década de 80 levaram a constatações da viabilidade do uso de imagem MSS para mapeamento na escala 1:250.000.

Quando do surgimento do sensor TM à bordo do Landsat-5 com resolução espacial de 30 m e com 7 bandas espectrais, apareceram diversas avaliações mostrando sua viabilidade para mapeamento nas escalas 1:100.000 ou menores (D'Alge & Ferreira, 1988).

O satélite SPOT, lançado em 1986, com dois sensores idênticos HRV (*haute resolution visible*) gerando imagens multiespectrais (resolução de 20 m) e pancromáticas (resolução de 10 m) e contando ainda com o recurso inédito de geração de pares de imagens estereoscópicas. Tais imagens surgiram como alternativas promissoras para trabalhos de produção cartográfica e atualização em escalas 1:100.000 e até 1:50.000.

Vale destacar que o fator determinante para comprovar a viabilidade de uma imagem para atualização cartográfica é, não só sua precisão geométrica, mas sobretudo sua qualidade de detectar informações. É o que se denomina conteúdo

informativo, elemento que não tem sido adequadamente destacado na maioria dos trabalhos de mapeamento e atualização com imagens orbitais. Esta tese procura, precisamente, dar ênfase a este aspecto, que depende da resolução espacial, da qualidade radiométrica e geométrica das imagens.

No uso de imagens para a atualização, analogamente ao caso das fotos aéreas, é necessário definir o procedimento de detecção de mudanças e transferência de novas feições bem como a eliminação de outras que deixaram de existir.

### 2.7.1. Atualização a partir de Imagens Analógicas

#### a) Metodologia Analítico-Fotogramétrica

O trabalho de Santos (1989), intitulado "Metodologia para atualização planimétrica de cartas a partir de imagem satélite" apresenta uma metodologia que combina sensoriamento remoto com procedimentos analítico-fotogramétricos convencionais para a atualização de cartas e plantas. O autor considera a metodologia proposta como bastante abrangente pois pode aplicar-se a qualquer tipo de imagem (Landsat, SPOT, etc.) no espaço E que pode transformar-se para o sistema desejado (UTM ou outros) no espaço E'.

A metodologia baseia-se no estudo realizado na dissertação de mestrado desse autor, que transforma imagem Landsat MSS Bulk para o sistema UTM através de modelos polinomiais.

Na parte prática desse trabalho utiliza uma imagem analógica TM já corrigida geometricamente dos efeitos de rotação e esfericidade da Terra, das variações de atitude, altitude e velocidade do satélite. Adota o polinômio de 1<sup>o</sup> grau ou transformação afim para transformar pontos da imagem para o sistema UTM. Através dos pontos de controle determinam-se os parâmetros de transformação das coordenadas da imagem para o sistema UTM. Pela determinação e aplicação dos parâmetros de transformação, todas as coordenadas da imagem são transformadas para o sistema UTM, podendo-se local, ponto a ponto, as novas feições na carta topográfica.

O autor conclui que tal método é econômico e rápido, que possibilita a atualização de cartas através da locação precisa de novas feições. De qualquer forma, não apresenta os resultados da aplicação na forma gráfica, impedindo que o leitor faça uma avaliação dos resultados. Aparentemente mostrou mais a viabilidade desta metodologia sem entrar em questões de precisão e conteúdo informativo.

### b) Atualização através do PROCON e SGI - INPE

No trabalho intitulado "Atualização de cartas apoiada no sistema de informações geográficas do INPE ", D'Alge, J.C.L.; Ferreira, N.A. (1988) definem inicialmente a prioridade de atualização de uma área baseados na antiguidade da carta disponível e no nível de atividades desenvolvidas na região. A definição dos planos de informação se dá a partir das feições típicas das cartas topográficas incluindo estradas, ferrovias, hidrografia, zonas urbanas, linhas de transmissão de energia, mineração e classificação sintética do uso da terra e/ou cobertura vegetal.

A experiência vivenciada pelos autores conduz a concluir que a interpretação visual das imagens auxiliada pela carta topográfica traz melhores resultados do que aqueles obtidos através de interpretação totalmente automatizada. A definição dos planos de informação baseou-se nas categorias previstas para o modelo de dados geo-relacionais do SGI. Recomendam na seleção das imagens, a escolha de imagens Landsat-TM geometricamente corrigidas e SPOT-HRV nos níveis 2A e 2B assim como composições coloridas, preferencialmente na projeção UTM (disponíveis no INPE). Lembram também que o procedimento proposto é oneroso e não perfeitamente definido, já que o necessário tratamento digital pode variar conforme as características da área de estudo.

Os autores constataram que as feições mais sujeitas a alterações são as que compõem a rede viária e por isso escolheram-nas para testar a metodologia de atualização.

A entrada de dados da carta desatualizada dá-se através de mesa digitalizadora. Após a devida calibração os dados da rede viária foram armazenados na forma vetorial, no respectivo plano de informação. A denominação das feições foi feita de acordo com a legenda da carta topográfica em questão (auto-estrada, estrada pavimentada, estrada sem pavimentação com tráfego permanente, etc). O SIG adotado foi o SGI, do INPE, que prevê uma operação de edição para correção de eventuais erros na digitalização.

A entrada de novos dados no SIG é feita através de transparências positivas das imagens TM e HRV, selecionadas no projetor PROCOM que possibilita, através de ampliações precisas, a superposição de imagens em escalas pequenas (1:1.000.000 ou 1:500.000) com cartas em escalas médias e grandes (1:100.000 a 1:25.000). Este recurso é fundamental pois possibilita que dados novos sejam introduzidos na mesma escala que os antigos. É adequada, sempre que possível, a utilização de imagens numa escala maior que a da carta a ser atualizada, garantindo-se assim o posicionamento das novas feições na escala final. O trabalho de

reambulação buscando a toponímia é fundamental para a associação das novas feições às classes já definidas na carta antiga.

Na manipulação dos planos de informação podem ser necessárias transformações de datum, não disponíveis no SGI na época de publicação do citado artigo, e projeção, disponível no SGI. Isto feito, passa-se ao procedimento de conversão da carta digital do modo vetorial para matricial. Nesta fase são aplicadas as operações booleanas disponíveis, que viabilizam os cruzamentos entre as feições antigas e as atualizações. Na busca de alterações, as operações de diferença entre os planos de informação são as ideais devendo-se, no entanto, respeitar as classes previamente estabelecidas.

A atualização cartográfica utilizando imagens orbitais Landsat TM e SPOT pancromática e multiespectrais é tema da dissertação de Vergara (1994), que avalia o desempenho de produtos orbitais na atualização de cartas 1:50.000. Para tanto o autor estuda o conteúdo informativo temático de diversas composições coloridas e imagens resultantes de hibridação. A avaliação geométrica dos produtos analógicos e digitais foi obtida através dos sistemas PROCOM-2 e SITIM/SGI, respectivamente.

Os resultados obtidos do trabalho com transparências positivas TM e HRV-SPOT mostram que, trabalhando-se sobre a base cartográfica na escala 1:50.000, é possível atualizar nas escalas 1:250.000 e 1:100.000. Considera também que apesar de algumas restrições, uma porcentagem significativa de informação temática pode ser incluída na carta a ser atualizada.

---

No caso das imagens digitais, os dados HRV-SPOT permitiram um maior detalhamento das feições temáticas, levando o autor a concluir que o refinamento da qualidade visual das imagens obtido através do processamento digital, permite a identificação e digitalização de grande parte das feições existentes na imagem, aumentando assim o conteúdo informativo detectado. Este fato, porém, não dispensa as fontes de dados complementares.

## 2.7.2. Atualização a partir de Imagens Digitais

### a) hibridação de imagens SPOT e Landsat TM

A utilização de técnicas de hibridação de imagens envolvendo sensores de diferentes resoluções espaciais e espectrais tem demonstrado um aumento dos recursos de interpretação destas imagens. Um estudo utilizando imagens híbridas dos sensores SPOT e Landsat foi realizado para o mapeamento na escala 1:50.000 da área de Viedma (Argentina) é apresentado por Sanchez (1987). O autor usa diferentes bandas da imagem Landsat TM (resolução espacial de 30 m) e a banda pancromática do sensor HRV, SPOT (resolução espacial de 10 m) as quais são submetidas a um registro geométrico. Neste registro são selecionados 20 pontos de controle para as bandas TM e 28 pontos de controle para a SPOT pancromática. Esta etapa é seguida de hibridação através da transformação IHS, utilizando-se as bandas TM-432 e TM-543. Obtidos os valores no espaço IHS substituiu-se a componente intensidade pela banda SPOT pancromática, com maior resolução. Através da transformação inversa obteve-se a imagem híbrida colorida. Para corrigir um excessivo ruído vertical presente na imagem híbrida, resultante de problemas na coleta dos dados SPOT, foi aplicada a transformação *Fast Fourier Transform* (FFT), gerando resultados aceitáveis. O autor selecionou a imagem híbrida resultante da composição TM 4, 3 e 2 + SPOT-P. Segundo o autor, tal trabalho apresenta resultados parciais de um mapeamento que, quando de sua conclusão, servirá de base para atividades de planejamento, estudos de engenharia na área de estudos.

### b) mapeamento totalmente digital

Um sistema denominado Mono-Comparador Plotter Digital foi desenvolvido por Meneghette (1987) para a produção de mapas-imagem digitais, mapas baseados em estereo-ortoimagens e mapas de linha convencionais. A operação do mono-comparador plotter tenta simular o desempenho de um plotter fotogramétrico analítico. O sistema apresenta como dados de entrada imagens de satélite originais ou fotografias em meio digital, Modelos Digitais do Terreno (MDT) e banco de dados vetoriais digitais. Os produtos podem ser mapas topográficos novamente compilados ou revisados. Trata-se de um sistema totalmente digital, da entrada a saída dos dados. O sistema tem como plataforma o International Imaging Systems (I2S), com processador de imagem modelo 75, ligado a um VAX

11/750. Periféricos como mesa digitalizadora, plotter e trackball são necessários para a operação. Os programas que compõem o sistema são:

- um programa monocomparador digital - MCOMP projetado para uso com imagem digital individual, como as Landsat MSS e TM;
- um mono-plotter digital para imagens de scanners - MPLOT projetado para uso com imagens digitais de satélite individuais e ortoimagens desde que corrigidas do deslocamento devido ao relêvo e efeito de inclinação;
- um mono plotter digital para fotografias - MECA padronizado para a Camara Métrica (MC), trata-se de um programa projetado para uso com fotografias digitais individuais tomadas através da MC, com distância focal e altura de vôo conhecidas.

A autora considera que o principal objetivo do desenvolvimento deste sistema é o de atender as necessidades de países em desenvolvimento, que requerem dados atualizados e onde as questões de exatidão geométrica, nos padrões Europeus e Americanos tem menor importância do que existência de informações atualizadas.

O trabalho intitulado "Obtenção de produtos cartográficos através do SPOT" de autoria de Andrade (1988) tem o objetivo de estudar as possibilidades de geração de produtos cartográficos através de imagens SPOT, adotando-se imagens do nível 1B, cartas 1:250.000 e 1:100.000 e efetuada a carta-imagem na escala 1:50.000, através de procedimento totalmente digital.

Gerou-se uma carta planimétrica, na escala 1:50.000 através de imagem SPOT geometricamente corrigida e superposta à carta existente através de pontos de controle retirados de cartas existentes nas escalas 1:25.000 e 1:50.000. Sendo a região em estudo plana (cidade de Brasília, DF) e a tomada vertical, as deformações devido ao relevo foram insignificantes, o que elimina um pré-tratamento mais sofisticado na imagem.

Para análise de precisão foram comparadas as coordenadas planimétricas de 10 pontos identificados na carta 1:25.000 (base) e na carta 1:50.000 (gerada). O desvio foi de 0,22 mm, enquadrando-se num modelo de precisão cartográfica de 0,37 mm, o que classifica o produto como classe A. O autor conclui que há possibilidade de aplicar o tratamento automático, embora mais oneroso, na geração de cartas-imagem, cartas topográficas e em atualizações cartográficas.

#### c) atualização através de um Sistema de Informação Geográfica

No trabalho "Atualização de base cartográfica utilizando ARC-INFO-ERDAS ", Pozo (1991) apresentou uma aplicação desta metodologia para Embalse

Rapel (Chile), onde se localiza uma central hidroelétrica homônima, construída em 1968. Como consequência de sua construção, a paisagem desta área sofreu modificações importantes. A documentação mais recente da área é um voo fotogramétrico datado de 1978, executado pelo Instituto Geográfico Militar, na escala 1:25.000, com apoio de campo realizado em 1979. A outra base existente está na escala 1:50.000, resultado de voo do ano de 1954 e levantamento topográfico de 1960.

Neste trabalho de atualização de cartas topográficas a preocupação principal foi a atualização da rede de drenagem com base em imagens TM-Landsat (1:100.000).

A metodologia envolveu o preparo dos dados onde se montou um mosaico com base em 4 cartas 1:50.000 correspondentes à imagem TM-Landsat. Sobre o mosaico foram introduzidos os principais rios e seus afluentes, posteriormente digitalizados e armazenados em arquivo digital. Uma edição foi realizada através da superposição do mapa digitalizado sobre o mosaico base, evitando-se a propagação de erros.

Essa autora apresentou como resultados o mapa de drenagem com a superposição da imagem TM; o mapa de atualização de drenagem e a superposição de detecção de bordas de represa (no modo matricial e no modo vetorial).

Como não foi apresentada uma análise dos resultados obtidos fica difícil avaliar a experiência vivenciada pela autora. Além disso, foi provavelmente pequena a alteração na rede hidrográfica, com exceção da região submersa, que poderia ser facilmente desenhada bastando conhecer a cota de inundação e dispor de mapa, ainda que antigo, das curvas de nível.

---

## 2.8. A Detecção de Alterações

### 2.8.1. A Percepção Visual

A percepção visual é de fundamental importância na detecção de alterações com vistas à atualização. Tomando por base o trabalho apresentado por Keates (1982) pode-se considerar que a percepção visual, em seu estágio inicial, depende dos processos de detecção e discriminação. Estes estágios são realizados pelo observador de forma praticamente inconsciente na identificação de símbolos em mapas. Enquanto a detecção e a discriminação podem ser realizadas sem que se entenda o significado dos símbolos, a identificação só ocorre quando se entende conscientemente o significado dos mesmos.

Cada símbolo guarda uma certa relação com o objeto que representa, por exemplo, a imagem de um avião simbólico representando um campo de aviação, traços paralelos representando estradas, um triângulo representando um ponto geodésico etc. A qualidade do símbolo está associada diretamente a capacidade que o mesmo tem de auto explicar-se. Um símbolo bem elaborado revela, de forma direta, a realidade que se quer representar através de sua imagem. Deve-se considerar que o símbolo carrega em si um certo grau de abstração que conserva alguns traços do objeto e elimina outros, ou seja, apresenta uma certa dose de convencionalismo que precisa ser apreendida pelo usuário e intérprete do mapa. Sua identificação depende também da atenção, do espírito de observação, do treino e da familiaridade do usuário com o conteúdo dos mapas.

Como se pode perceber, existe uma forte ligação entre as etapas de discriminação e identificação. Embora a discriminação dependa principalmente do grau de contraste entre os símbolos criados pelo cartógrafo, ela depende também da habilidade, do grau de atenção e da sensibilidade do usuário na observação dos mesmos.

Ainda com respeito à percepção visual, há um outro conceito que deve ser abordado: o reconhecimento. Apesar do termo ser algumas vezes utilizado como sinônimo de identificação, deve-se esclarecer que o reconhecimento está sempre associado com familiaridade, ou seja, com a identificação de uma feição geográfica ou um lugar reconhecido como familiar. São exemplos a cidade de Brasília (DF), com o plano piloto em forma de avião; a Baía de Guanabara no Rio de Janeiro ou o encontro das águas do Rio Solimões com o Rio Negro no Estado do Amazonas. Às vezes o usuário tem familiaridade com paisagens observadas de outro

ponto de vista ( visadas horizontais e não verticais, através de mapas e não de fotos aéreas ou imagens orbitais etc) e é necessário captar algo, identificar uma feição para que com esta chave tudo fique claro. É o que se denomina reconhecimento.

Deve-se considerar as etapas de detecção, discriminação e identificação como pré-requisitos para a utilização do mapa. A partir destas inicia-se o estágio de interpretação, no qual a informação é processada de acordo com uma tarefa específica de uso do mapa. A consideração estanque destes estágios é feita no sentido de discutir, avaliar e entender melhor a interpretação dos mapas. Torna-se impossível, no entanto, a separação destas etapas numa aplicação prática: uma ordenação seqüencial seria algo simplista e irreal. Concluindo pode-se destacar o comentário de Keates (1982) "... não se pode garantir que duas pessoas usando a mesma área do mesmo mapa para o mesmo propósito produzirão interpretações similares".

### 2.8.2. A Acuidade Visual

A expressão acuidade visual está relacionada com o tamanho mínimo do objeto que pode ser detectado a uma certa distância, sob certas condições de contraste e que pode ser determinada através da visualização de testes-padrões contendo pequenas linhas paralelas, por exemplo. Geralmente, quando da elaboração dos mapas, existe uma preocupação em utilizar símbolos visíveis e com contrastes aceitáveis para a "distância normal de leitura", que é de cerca de 30 cm. Embora cuidados sejam tomados, é possível que a combinação de algum símbolo afete o contraste e cause problemas à detecção de alterações no mapa.

### 2.8.3. A Fotointerpretação e a Interpretação de Imagem

A informação obtida pelo Sensoriamento Remoto apresenta-se de duas formas básicas: através de sensores passivos que coletam a energia eletromagnética solar refletida ou emitida e através de sensores ativos que geram e recebem energia eletromagnética refletida ou emitida. Moffitt; Mikhail (1980) definem da seguinte maneira a fotointerpretação e a interpretação de imagem:

*Fotointerpretação é o ato e a arte de qualitativamente identificar feições e superfícies retratadas em fotografias aéreas estereoscópicas de várias escalas. Raciocínio indutivo e dedutivo e técnicas de inferência e dedução lógica são usados para determinar a significância de um problema particular.*

*Interpretação de Imagem é o ato e a arte de qualitativamente identificar as superfícies retratadas em imagens bi-dimensionais obtidas por vários sistemas de sensoriamento remoto.*

*Uma limitada quantidade de pontos de verificação ou verdade do terreno é invariavelmente necessária em ambos fotointerpretação e interpretação de imagem.*

## 2.9. Padrões de Reconhecimento e de Interpretação

Moffitt; Mikhail (1980) apresentam ainda os métodos de obtenção de informação através de fotografia e imagem. Estes podem ser através de reconhecimento e de interpretação de padrões.

O método de **reconhecimento de padrões** envolve a comparação das feições de interesse com objetos familiares observados previamente ou ilustrados através de uma chave de interpretação ou de um manual. Este método pode ser aplicado por qualquer pessoa com um conhecimento mínimo das características da imagem e/ou fotografia.

No caso do método de **interpretação de padrões** não basta somente a identificação mas faz-se necessária a análise através do raciocínio lógico e dedutivo visando classificar e interpretar o significado dos padrões e de todos os seus elementos.

Os padrões ditos naturais como as feições fisiográficas, podem ser reconhecidos através de dois agrupamentos: **elementos de forma e elementos de reflectância**. Dentre os **elementos de forma** estão a forma topográfica, a forma da rede de drenagem, a forma erosional e as formas construídas pelo homem. Dentre os **elementos de reflectância** encontram-se: o contraste entre grupos vegetais, o contraste no uso da terra, o contraste na exposição de solos e rochas e as feições de reflectância especial.

Dentre os padrões que interessam diretamente para a detecção de alterações objetivando a atualização de cartas topográficas encontram-se :

a) os **sistemas de transporte** com estradas de rodagem, estradas de ferro, linhas de transmissão, oleodutos e outros, que são reconhecidos através da forma linear, das variações de largura, desvios, acessos e alças ( estradas e ferrovias) e variação na forma estrutural. Os oleodutos por exemplo, podem ser detectados

pelo contraste na reflectância do solo alterado com o solo natural ou pela faixa de domínio de vegetação rasteira em contraste com o entorno.

b) os sistemas urbanos podem ser detectados através da forma regular da malha viário e das construções.

c) os tipos de drenagem mais típicos são os padrões dendrítico, retangular, treliça, radial, paralelo e anular. O estudo dos padrões de drenagem envolve principalmente conhecimentos da estrutura geológica e das condições climáticas. A variação dos padrões básicos bem como das feições especiais de drenagem podem ser captadas, no caso de fotografias, com a ajuda da identificação de materiais subjacentes.

d) padrões associados a solo e rocha , que compõem os elementos de reflectância, podem variar de acordo com as condições da superfície, umidade relativa, conteúdo orgânico e chuvas antecedentes à tomada da imagem. Genericamente, os solos bem drenados apresentam alta reflectância e os pouco drenados baixa reflectância. Os problemas na identificação dos solos podem ser reduzidos com o uso de imagens coloridas e/ou infra-vermelhas. Os elementos de reflectância são temporais, isto é, variam de acordo com as estações do ano. No caso de imagens de satélite, os dados de reflectância podem ser classificados com a ajuda de sistemas computacionais para os diversos tipos de uso da terra. Áreas cultivadas ou de florestas, áreas urbanas e corpos d'água podem ser diferenciados com base na assinatura espectral, que é única para cada uma das áreas consideradas.

## 2.10. Conteúdo Informativo das Imagens e Detecção de Mudanças

Um dos principais problemas da atualização de cartas topográficas diz respeito à detecção de mudanças ocorridas, sendo estas geralmente relativas às vias de acesso, ocupação humana (cidades, vilas, povoados). Mudanças relativas à rede de drenagem às feições altimétricas são menos freqüentes e quando ocorrem, restringem-se a uma área limitada da carta (surgimento de represas, mudança no curso de um rio, cortes, aterros, deslizamentos de encostas etc). Devido ao seu caráter local, as mudanças relativas a rede de drenagem e as informações altimétricas não serão consideradas neste estudo.

A detecção de mudanças é função principalmente do conteúdo informativo das imagens que servirão de fonte de dados para a atualização. Quando aqui se fala em imagens orbitais deve-se salientar que estão sendo consideradas fotografias orbitais (tomadas de estações espaciais e do ônibus espacial) e imagens de sensores multiespectrais à bordo de satélites espaciais.

A avaliação do conteúdo informativo das imagens é uma tarefa complexa e que vem merecendo, pouco a pouco, a atenção de pesquisadores das áreas de Sensoriamento Remoto e Cartografia.

Estudo com este enfoque foi desenvolvido por Welch (1982) que realizou a análise do conteúdo informativo de imagens Skylab S-190B e Landsat MSS (*Multispectral Scanner System*) e RBV (*Return Beam Vidicon*). Como resultado obteve que as imagens MSS e RBV apresentaram 40 a 50% dos detalhes necessários para o mapeamento na escala 1:250.000 e cerca de 40% dos detalhes necessários para o mapeamento em 1:50.000. As fotos espaciais da câmara S-190B apresentaram 70% dos detalhes necessários para mapeamento em 1:250.000 e mais que 60% dos detalhes necessários para mapeamento em 1:50.000. Observa-se que em tal estudo não está detalhada a forma como se chegou a esses valores de porcentagem, não havendo descrição de qualquer experiência quantitativa.

No trabalho de Halm (1985) apud Meneguette (1987), aplicaram-se técnicas de processamento de imagens da Câmara Métrica, cujas tomadas foram acompanhadas simultaneamente com checagens de campo. Dentre as observações desse autor destacam-se a detecção precisa de cursos d'água de largura superior a 35 m e a dificuldade de distinção de pequenos cursos d'água, pequenas estradas e limites de cultivos. Observa ainda que o mapeamento da linha costeira pode ser realizado para escalas superiores a 1:50.000.

O trabalho de Vergara et al. (1993) analisou a contribuição das imagens analógicas pancromática e multiespectrais do satélite SPOT, relativa a conteúdo de informação temática, para a atualização de cartas topográficas na escala 1:50.000. Utilizou transparências positivas projetadas através do instrumento PROCOM-2, sobre setor da carta topográfica correspondente a folha São José dos Campos (SP). Fez uso de interpretação visual através da qual as alterações puderam ser representadas em *overlay* apoiado sobre a carta. A avaliação dos resultados foi realizada de acordo com um padrão geral elaborado pelos autores com base nas

cartas topográficas para diferentes regiões do país e no Manual Técnico de Convenções Cartográficas 1975/1976 que inclui elementos planimétricos, cobertura vegetal, elementos hidrográficos e da drenagem litorânea. Os resultados apresentam-se através da descrição do conteúdo de informações temáticas detectadas utilizando-se a imagens SPOT-HRV pancromática e composição colorida BGR-123, sendo que esta análise qualitativa possibilitou concluir que uma importante quantidade de informação pode ser extraída dos produtos SPOT analógicos, salientando ser essencial a complementação das informações através de outras fontes, principalmente trabalhos de campo.

O trabalho "Exatidão cartográfica e conteúdo informativo de imagens de satélite na compilação e revisão mapas digitais" (Meneguette, 1988) envolve fotografias e imagens obtidas dos sensores de varredura cada qual, em função de suas peculiaridades, exigindo tratamento distinto.

A avaliação das imagens digitais deu-se através do desenvolvimento de um programa específico para esta tarefa, aplicado a um sistema de processamento de imagens digitais e constitui-se num "monocomparador plotter digital".

O monocomparador plotter digital é um novo instrumento fotogramétrico que substitui os dispositivos de fotogrametria convencional por memórias digitais, sendo as imagens mostradas num monitor colorido de alta resolução e o ponto flutuante representado por um cursor em tela.

Em trabalho anterior, Meneguette (1987) mostra que, se aplicada a transformação afim a 4 pontos de controle, imagens Landsat podem ser restituídas com EMQ variando de 1/3 a 1 pixel, ou 10 a 30 m para as TM e de 26 a 80 m para as MSS.

Em se tratando de fotos espaciais digitalizadas, o programa foi adaptado para uso da equação de colinearidade, podendo incluir Modelos Digitais do Terreno (MDT).

Os mapas utilizados correspondem a regiões de Marselha (sudeste da França) nas escalas 1:25.000, 1:100.000, 1:200.000 e 1:250.000; de Zawiyat al Mahjub (oeste da Líbia) na escala 1:50.000 e do Estado de São Paulo nas escalas 1:50.000 e 1:100.000.

Através da aplicação desta metodologia novos mapas foram gerados nas escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:200.000, digitalizados e revisados sendo arquivados na forma digital e desenhados através de traçadores gráficos.

Além disso, mapas-imagem foram gerados na tela de um monitor colorido. Tais mapas deverão ser utilizados na revisão de mapas em fase posterior, quando da atualização através de novas imagens, por métodos computadorizados. A autora salienta a importância da localização e do número de pontos de controle para a obtenção de melhores resultados.

Os mapas, na maioria dos casos, encontram-se dentro dos valores previamente estabelecidos para precisão cartográfica. Os mapas-imagem apresentam exatidão de 7,2 a 11,7 m para imagens TM. Tais valores seriam suficientes para padrões de mapeamento na escalas 1:25.000 e 1:50.000.

Para fotografias digitalizadas da Camara Métrica, resultados de 10,4 m de resolução espacial foram obtidos, estando dentro dos padrões de resolução para mapeamento na escala 1:50.000. A autora salienta que embora os resultados sejam otimistas para o uso de tais imagens para aplicações de mapeamento, deve-se salientar que somente uma sub-imagem foi selecionada para o teste e poucos pontos de controle foram considerados.

Com relação ao conteúdo informativo dos mapas atualizados foram realizadas avaliações qualitativas e quantitativas. Os testes quantitativos envolveram amostras de feições encontradas em todas as escalas, as quais tiveram suas extensões comparadas através da análise dos novos mapas gerados e dos mapas existentes para cada uma das áreas de estudo. Os comprimentos de estradas nos mapas analógicos foram obtidos através de um curvímetro, que foram posteriormente transformados para as escalas correspondentes.

Diferentes métodos foram aplicados para comparar os mapas digitais. Um deles utilizava diferentes combinações de cores na apresentação em tela das feições antigas e novas. Assim, quando uma mesma feição aparecia nos dois conjuntos de dados, acontecia uma mudança de cor da feição, o que facilitava sua identificação. Um outro método aplicado envolveu a obtenção da imagem cartográfica correspondente ao mapa existente digitalizado na forma vetorial, através do "monocomparador plotter digital", utilizando-se programas específicos, de acordo com descrição detalhada em Meneguette (1987). A autora salienta que facilidade de superposição dos dados desta metodologia foi utilizada para obter uma outra forma de comparação entre mapas existentes e novos mapas digitalizados. Foi também utilizada a função LINEAR-FEATURES do sistema I<sup>2</sup>S para a medição do comprimento de feições lineares. Tabelas comparativas dos diversos produtos gerados apresentando o comprimento das feições em km e o conteúdo informativo (%) de mapas existentes e novos foram apresentados.

Como conclusões da análise do conteúdo informativo a autora observa que, nos mapas resultantes das imagens da Câmara Métrica, embora um grande número de feições possa ser detectado, uma proporção significativa de informação não apareceu claramente ou foi perdida, o que não as torna adequadas para revisão de mapas na escala 1:100.000. Mesmo os mapas nas escalas 1:200.000 e 1:250.000 não conteriam todas as informações usualmente disponíveis para estas escalas. Destaca que os mapas resultantes das imagens TM apresentaram muito mais detalhes que os gerados pela Câmara Métrica, provavelmente em função de sua grande capacidade multiespectral. Técnicas de realce aplicadas às várias combinações de bandas espectrais facilitaram a visualização de algumas feições, o que facilitou o trabalho de interpretação. Os melhores resultados envolvendo principalmente a detecção de estradas foram os obtidos das composições TM-743 e TM-432 assim como a imagem resultante da técnica de supressão da vegetação, esta última desenvolvida pela autora.

No caso da área teste do Brasil, muito embora os resultados de acuracidade geométrica tenham sido excelentes, os resultados quantitativos de conteúdo informativo indicam que as imagens TM não poderiam ser adotadas para mapeamento nas escalas 1:50.000 e 1:100.000 em função da não identificação ou da parcial identificação de feições consideradas importantes para mapeamento e revisão de mapas topográficos.

Todos os testes levaram a conclusão que as acuracidades geométrica e cartográfica estão dentro dos padrões exigidos sendo o conteúdo informativo o fator limitante e dominante na utilização de imagens e fotografias orbitais para fins de mapeamento e revisão de cartas.

---

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais

Para a realização deste trabalho foram necessárias imagens orbitais, cartas, um computador e seus periféricos, programas, além de material de escritório em geral.

##### 3.1.1. Imagens e Cartas

As imagens de satélite utilizadas foram:

- a) uma imagem SPOT - HRV - pancromática, nível 1B, no formato digital, localização K712 /J396, datada de 21/05/1991 (estação do ano: outono);
- b) uma imagem Landsat - TM - 6 bandas espectrais, produto padrão do INPE, no formato digital, Órbita 226/Ponto 76A, recortada no setor correspondente à área de estudo, datada de 14/10/1991 (estação do ano: primavera).

As cartas topográficas utilizadas foram:

- a) uma carta topográfica - IBGE - SF-22-R-IV-3 , Folha Botucatu, aerofotos de 1965, primeira edição 1969, escala 1:50.000, projeção UTM, Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG), Datum Vertical: marégrafo de Imbituba (SC);
- b) seis cartas topográficas - IGC - aerofotos de 1977, primeira edição 1978, escala 1:10.000, projeção UTM, , Datum Horizontal: Córrego Alegre (MG) Datum Vertical: marégrafo de Imbituba (SC). Estas cartas denominam-se:  
Folha Botucatu III - SF-22-Z-B-VI-3-SO-A;  
Folha Botucatu IV - SF-22-Z-B-VI-3-SO-B;

Folha Aeroporto Botucatu - SF-22-Z-B-VI-3-SO-C;  
Folha Fazenda Segrede -SF-22-Z-B-VI-3-SO-D;  
Folha Fazenda Albelina - SF-22-Z-B-VI-3-SO-E;  
Folha Recanto Zodíaco - SF-22-Z-B-VI-3-SO-F.

### 3.1.2. Equipamentos e Programas

Dentre os equipamentos utilizados destacam-se:

- a) um microcomputador 486-50MHZ-100Mb com monitor SVGA;
- b) mesa digitalizadora Digigraph - A0;
- c) traçadora gráfica HP-5457A;
- d) impressora Lexmark - IBM Execjet II.

Os programas computacionais utilizados neste trabalho foram:

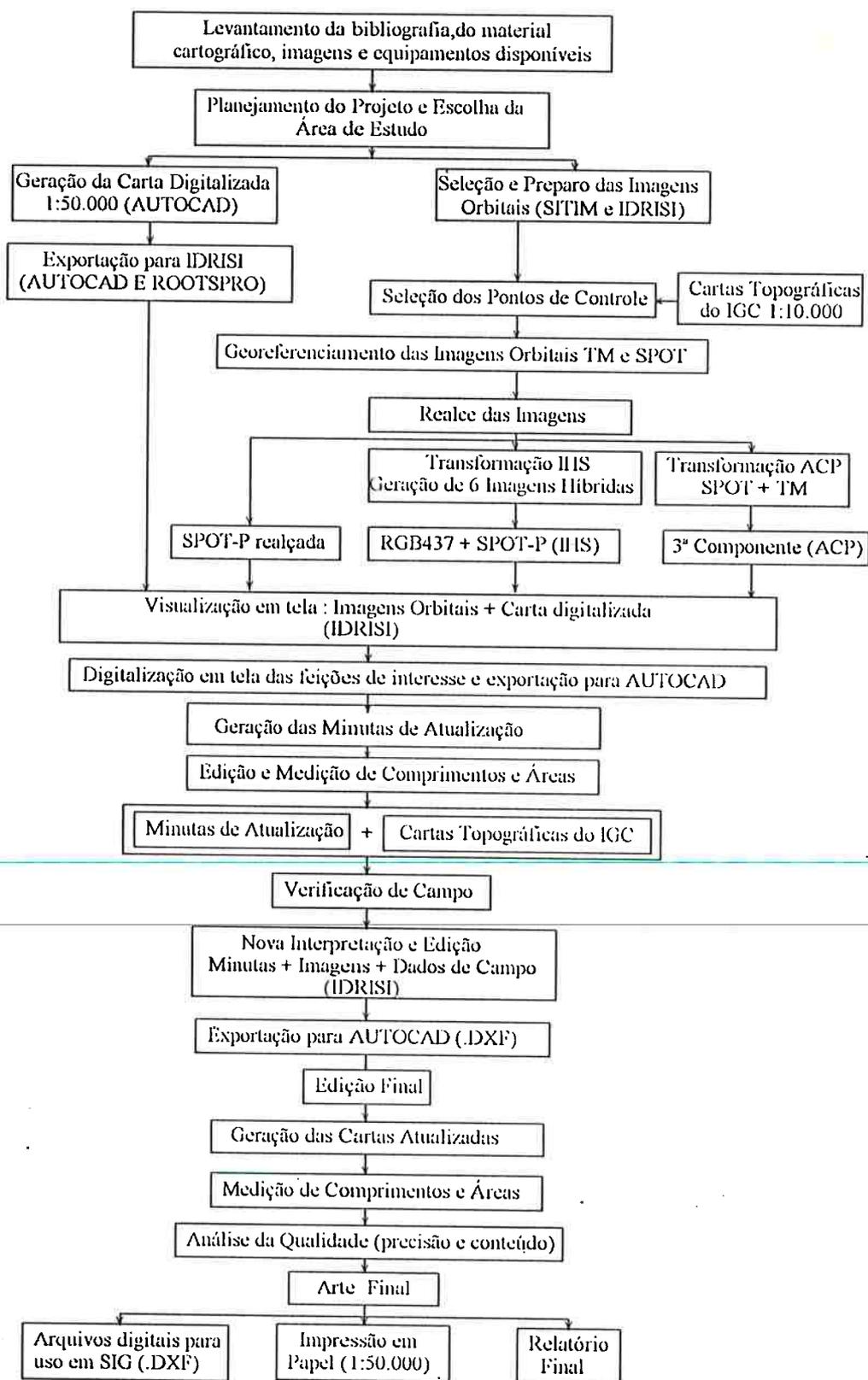
- a) AUTOCAD R.12 - CAD utilizado para geração do arquivo digital correspondente à carta topográfica 1:50.000 e para a edição final das atualizações;
- b) IDRISI 4.1 - Sistema de Informação Geográfica que opera no modo matricial (*raster*) com a possibilidade de entrada de dados vetoriais. No anexo encontra-se uma breve descrição desse programa e dos principais módulos e funções utilizados.

### 3.2. Métodos

---

A metodologia aplicada neste trabalho envolveu a geração de um arquivo digital do setor da carta topográfica em estudo, seguido do processamento e da escolha das melhores imagens para a atualização de feições referentes a rede viária, ferroviária, rede de transmissão de energia e área urbana. Uma vez definidas as imagens procedeu-se a atualização propriamente dita, seguida da verificação de campo e da produção dos produtos finais. O fluxograma abaixo apresenta o procedimento metodológico adotado.

## FLUXOGRAMA



### 3.2.1. A digitalização e a edição dos dados de entrada

Realizou-se a digitalização da carta topográfica IBGE, escala 1:50.000, no AUTOCAD - R.12. Visando o preparo dos dados para a futura utilização da base cartográfica em SIG, trabalhou-se com preocupação de manter a perfeita ligação entre as feições digitalizadas (função PLINE com fechamento através da função ENDP). Foram digitalizadas todas as feições relativas a rodovias e ferrovias, bem como linhas de transmissão de energia e áreas urbanas. Posteriormente efetuou-se a edição dos dados, para corrigir possíveis erros e imperfeições ocorridos na etapa de digitalização. Tomou-se o cuidado de hierarquizar a entrada de dados, dividindo os objetos em níveis ou planos de informação distintos (*layers*). Na calibração da mesa digitalizadora para a digitalização foram usadas as coordenadas UTM dos extremos da área de estudo como coordenadas de calibração.

Os níveis de informação adotados denominaram-se:

CIDADE - correspondente a mancha urbana antiga;

ESTRADAS - correspondente a estradas pavimentadas;

NAOPAVIM - correspondente a estradas sem pavimentação com tráfego permanente;

TRAFPERIO - correspondente a estradas sem pavimentação com tráfego periódico;

CAMINHOS - correspondente a caminhos e trilhas;

FERROVIA - correspondente a ferrovia;

TENSAO - correspondente a linhas transmissoras de energia elétrica

ALTIMETRIA - corresponde as curvas de nível;

HIDROGRAFIA - corresponde a rede de drenagem da carta original;

COTAS - topologia referente aos pontos cotados da carta original;

TEXTOS - topologia referente as feições da carta como drenagem, nome de cidade, identificação de estradas e de acidentes geográficos.

Após a digitalização e edição, realizou-se a geração de arquivos no formato DXF para a posterior importação a ser realizada pelo IDRISI. Optou-se por gerar um arquivo DXF para cada plano de informação, a fim de facilitar a visualização dos arquivos vetoriais no IDRISI e impedir confusões entre objetos distintos, já que quando da visualização de um arquivo vetorial, o IDRISI só fornece uma opção de cor na tela para o arquivo todo.

A digitalização da forma mais natural utilizando o módulo TOSCA, presente nesta versão do IDRISI, ficou inviabilizada pelo fato do programa exigir uma mesa digitalizadora SUMMAGRAPHICS, em tamanho e padrão específicos, não disponível para a realização do trabalho. Testes foram realizados com as mesas digitalizadoras DIGIGRAPH disponíveis, sem que se obtivesse sucesso. Devido a esse fato e a grande difusão do programa AutoCAD, optou-se por utilizá-lo nesse projeto.

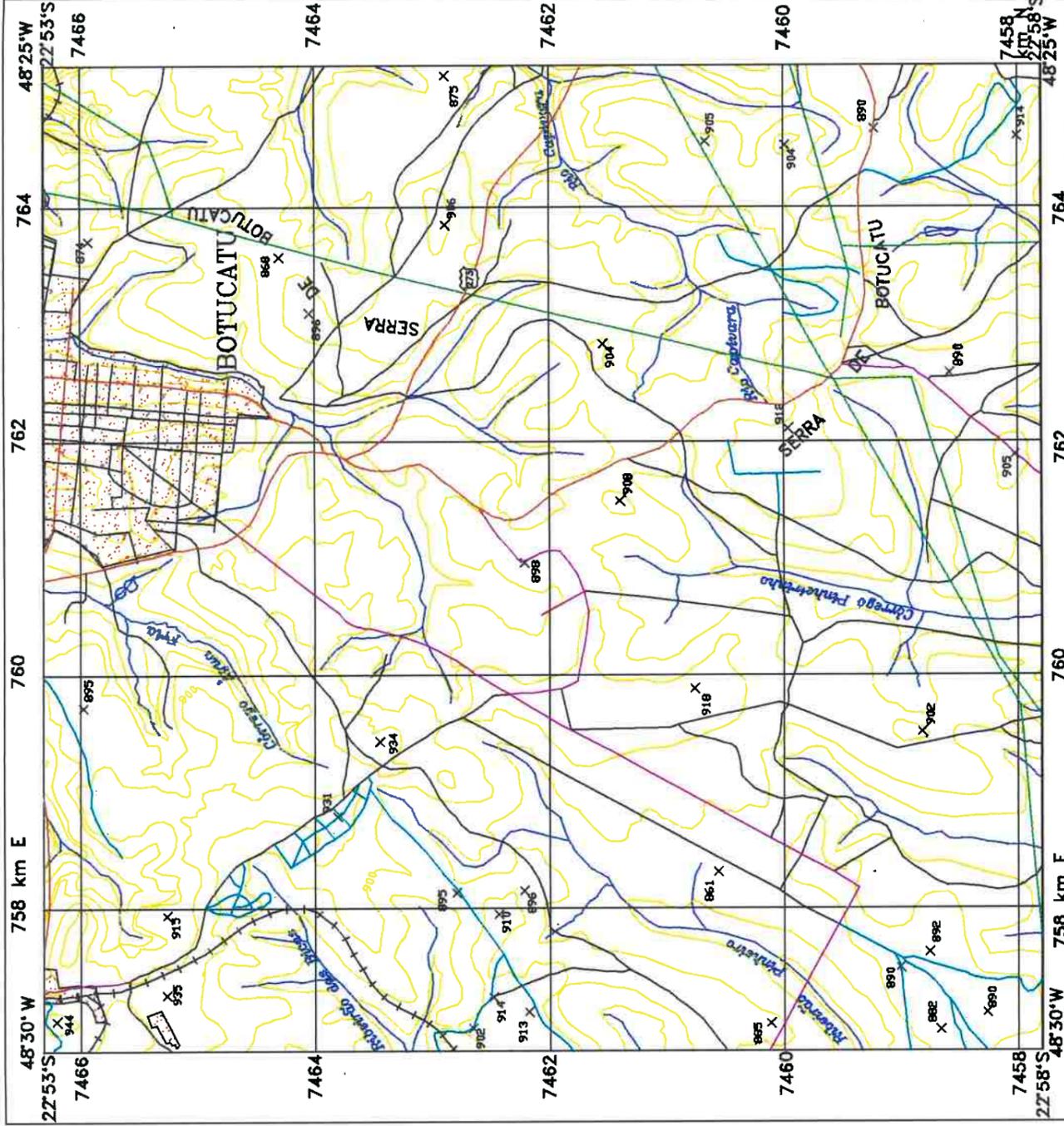
Sendo a etapa de digitalização dos dados algo fundamental além de muito demorado, cansativo e oneroso, adotou-se a estratégia de gerar um banco de dados no padrão DXF, por sua compatibilidade: é reconhecido e utilizado por programas como ARC-INFO, ReGIS, SPRING, dentre outros, sendo necessária uma conversão de dados. Nesta conversão está implícita a passagem de uma estrutura gráfico-geométrica (DXF, AutoCAD) para uma estrutura de banco de dados relacionais que é o cerne de qualquer Sistema de Informação Geográfica, como os três citados.

### 3.2.2. A carta topográfica digitalizada

O setor da Folha Botucatu utilizado neste trabalho apresenta-se na figura 3.1, e resultou da digitalização da carta topográfica - IBGE - SF-22-R-IV-3, Folha Botucatu original através do programa AutoCAD R12. Os valores resultantes dos cálculos de comprimento e área das feições de interesse da carta digitalizada são apresentados na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Número e comprimentos/área totais das feições de interesse na carta digitalizada.

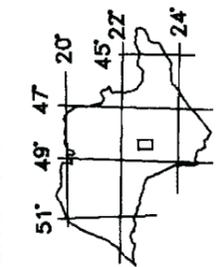
Carta Digitalizada SETOR DA FOLHA BOTUCATU	NÚMERO DE FEIÇÕES	COMPRIMENTO TOTAL DAS FEIÇÕES (m)	ÁREA TOTAL DAS FEIÇÕES (m <sup>2</sup> )
Áreas urbanas	3	-	2.901.747
Estradas pavimentadas	5	20.751	-
Estradas sem pavimentação com tráfego permanente	5	13.659	-
Estradas sem pavimentação com tráfego periódico	73	99.638	-
Caminhos	24	22.861	-
Ferrovias	3	5.368	-
Linhas transmissoras de energia	6	24.839	-
TOTAL	116	187.116	2.901.747



**LEGENDA**

- LOCALIDADES**  
**CIDADE** Localidades com mais de 100.000 habitantes  
 Mancha urbana
- ESTRADAS DE RODAGEM E ARRUAAMENTOS**  
 Pavimentados  
 Sem pavimentação com tráfego permanente  
 Sem pavimentação com tráfego periódico e arruamento sem pavimentação  
 Caminho
- IDENTIFICAÇÃO DE RODOVIAS**  
 federal
- ESTRADAS DE FERRO**  
 Bitola normal ou larga  
 Via simples  
 Duas ou mais vias
- LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA**  
 Alta tensão
- PONTOS DE CONTROLE**  
 Horizontal  
 Vertical  
 Horizontal e vertical  
 Altitude não comprovada
- REDE DE DRENAGEM**  
 Rio, ribeirão e córrego  
 Lago  
 Represa

**LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO DE SÃO PAULO**



**PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR**

**ESCALA 1:50.000**

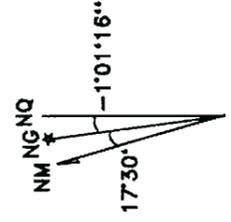


Equidistância das curvas de nível 20 metros  
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 51° W. Gr.  
 acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente.  
 Fuso 22, Esferóide Internacional.  
 Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC  
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Fonte: Digitalização realizada no AUTOCAD-R12 - 1995  
 Folha Botucatu, SF-22-R-IV-3, produzida através de levantamento estereofotogramétrico topográfico regular.  
 Aerofotografias de 1965. Reambulação, restituição e triangulação espacial executados pela VASP AEROFOTOGRAFIA S.A.

Desenho: MARIA ISABEL C.F. VIADANA  
 Arte final: Elen A.A. Prochnow

**DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1995 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA**



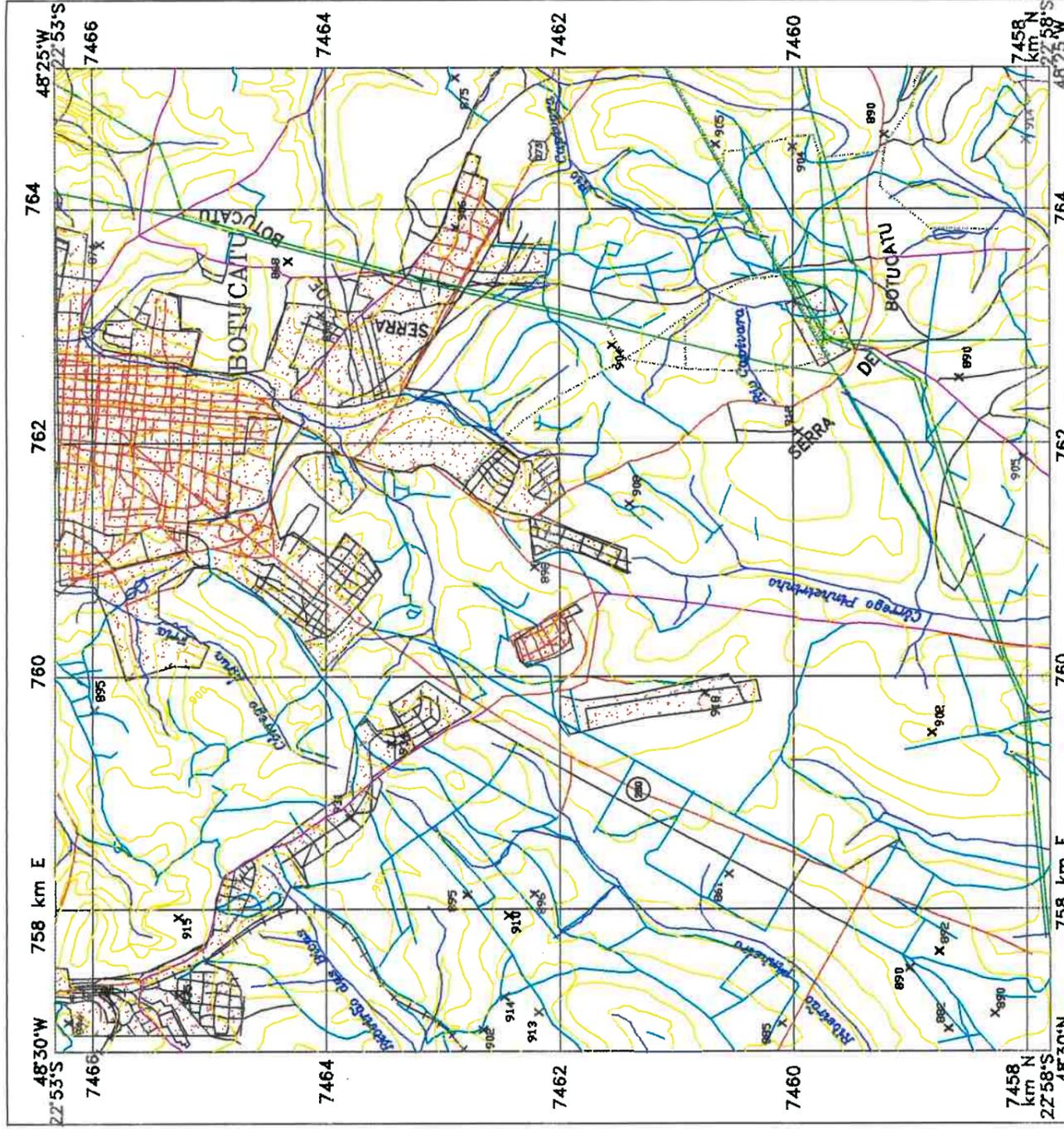
A declinação magnética cresce 8' anualmente  
 Usar exclusivamente os dados numéricos

Tabela 4.9: Comprimentos e área totais - Carta Atualizada através da Imagem Componente 3(ACP).

IMAGEM SPOT-P	Comprimento Total das Feições (m)	Área Total das Feições (m <sup>2</sup> )
Áreas Urbanas	-	11.317.177
Estradas e Arruamentos Pavimentados	99.479	-
Estradas sem Pavimentação com Tráfego Permanente	20.931	-
Estradas sem Pavimentação com Tráfego Periódico	92.513	-
Caminhos	119.502	-
Ferrovias	6.147	-
Linhas Transmissoras de Energia - Alta Tensão (AT)	37.336	-
Linhas Transmissoras de Energia - Baixa Tensão (BT)	13.190	-
<b>TOTAL</b>	<b>389.098</b>	<b>11.317.177</b>

#### 4.2.4. Resultados da Atualização das Feições Lineares Estudadas

Visando facilitar as análises a serem realizadas no próximo capítulo optou-se por apresentar os valores parciais dos comprimentos das feições lineares estudadas neste trabalho. Desta forma, foram montadas tabelas detalhando os comprimentos referentes às feições antigas detectadas e preservadas na atualização final e às feições novas preservadas resultantes da interpretação das imagens estudadas. A soma das feições antigas e novas preservadas gera um valor que corresponde à contribuição das imagens para a atualização cartográfica executada. A linha da tabela relativa à verificação de campo diz respeito, na verdade, ao resultado da verificação preliminar utilizando-se as cartas topográficas do IGC de 1978 combinado com a verificação de campo propriamente dita. Deve-se salientar que as feições antigas e novas detectadas que tiveram alteração na sua classificação, estão incluídas neste item. Isto significa que as feições com mudança de classificação foram transferidas dos seus itens originais ( feições antigas ou feições novas ) para o item verificação de campo. Portanto, é preciso ter cautela na análise dos valores



**LEGENDA**

- LOCALIDADES**  
 Localidades com mais de 100.000 habitantes  
 Mancha urbana
- CIDADE**
- ESTRADAS DE RODAGEM E ARRUAAMENTOS**  
 Pavimentados  
 Sem pavimentação com tráfego permanente  
 Sem pavimentação com tráfego periódico e arruamento sem pavimentação  
 Caminho
- IDENTIFICAÇÃO DE RODOVIAS**  
 federal  
 estadual
- ESTRADAS DE FERRO**  
 Bitola normal ou larga  
 Via simples  
 Duas ou mais vias
- LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA**  
 Alta tensão  
 Baixa tensão
- PONTOS DE CONTROLE**  
 Horizontal  
 Vertical  
 Horizontal e vertical  
 Altitude não comprovada
- REDE DE DRENAGEM**  
 Rio, ribeirão e córrego  
 Lago  
 Represa

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:50.000

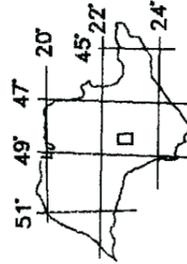


Equidistância das curvas de nível 20 metros  
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 51° W. Gr. acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente.  
 Fuso 22, Esferóide Internacional.

Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC  
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

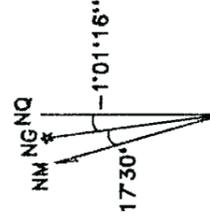
Digitalização realizada no AUTOCAD-R12 e IDRISI-4.1 em 1995.  
 Fonte: Carta topográfica do IBGE, 1:50.000, 1969,  
 Cartas topográficas do IGC, 1:10.000, 1978,  
 Imagem SPOT-P, 1991,  
 Imagem TM - Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, 1991,  
 Verificação de campo, 1995.

LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO DE SÃO PAULO



Desenho: MARIA ISABEL C.F. VIADANA  
 Arte final: Elen A.A. Prochnow

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1995  
 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA  
 DO CENTRO DA FOLHA



A declinação magnética cresce 8' anualmente  
 Usar exclusivamente os dados numéricos

correspondentes a verificação de campo pois estes incluem as feições antigas e novas com alteração na sua classificação.

As Tabelas 4.10 e 4.11 fornecem as contribuições das imagens e da verificação de campo para a atualização das estradas pavimentadas e sem pavimentação, respectivamente. Convém lembrar que na tabela 4.11 as estradas sem pavimentação englobam as estradas sem pavimentação com tráfego permanente, periódico e caminhos. As tabelas 4.12 e 4.13 fornecem a contribuição das imagens e da verificação de campo para a atualização das ferrovias e linhas transmissoras de energia, respectivamente.

Tabela 4.10: Contribuições da imagem e do campo para a atualização das estradas e arruamentos pavimentados.

ESTRADAS E ARRUAMENTOS PAVIMENTADOS	SPOT - P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições Antigas Detectadas	14.765	15.405	15.405
Feições Novas	14.304	61.745	62.423
SUB-TOTAL Contribuição da Imagem	29.069	77.150	77.828
Verificação de Campo	56.830	19.671	21.651
TOTAL	85.899	96.821	99.479

Analizando-se a tabela 4.10 observa-se que as imagens que mais contribuíram para a atualização das estradas e arruamentos pavimentados foram as resultantes das transformações IHS e ACP, necessitando portanto de menor trabalho de campo. O oposto ocorreu com a imagem SPOT que, tendo uma contribuição inferior da imagem na detecção das estradas e arruamentos pavimentados, necessitou de um trabalho mais intenso de campo.

Tabela 4.11: Contribuições da imagem e do campo para a atualização das estradas e arruamentos sem pavimentação.

ESTRADAS E ARRUAMENTOS SEM PAVIMENTAÇÃO	SPOT - P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições Antigas Detectadas	46.062	35.933	33.524
Feições Novas	95.665	79.440	143.119
SUB-TOTAL Contribuição da Imagem	141.727	115.373	178.643
Verificação de Campo	90.786	115.029	54.303
TOTAL	232.513	230.402	232.946

A tabela 4.11 mostra que a imagem resultante da ACP foi a que mais contribuiu para a atualização das estradas e arruamentos sem pavimentação, requisitando portanto de menos tempo dedicado ao campo. Depois desta veio a SPOT-P seguida da IHS que, das três imagens, é a que mais necessita de verificação de campo.

Tabela 4.12: Contribuições da imagem e do campo para a atualização das ferrovias.

FERROVIAS	SPOT - P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições Antigas Detectadas	5.368	4.831	5.368
Feições Novas	603	-	779
SUB-TOTAL Contribuição da Imagem	5.971	4.831	6.147
Verificação de Campo	-	537	-
TOTAL	5.971	5.368	6.147

Quanto aos resultados da tabela 4.12 é preciso salientar que o trecho de ferrovia não identificado na imagem resultante da transformação IHS encontra-se no canto superior direito da imagem, na borda da mesma e tem pequena dimensão. Se um trecho maior desta feição tivesse sido registrado, provavelmente seria detectado como ocorreu com as outros trechos de ferrovia da imagem IHS.

Tabela 4.13: Contribuições da imagem e do campo para a atualização das linhas transmissoras de energia.

LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA	SPOT - P (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições Antigas Detectadas	20.375	10.714	19.656
Feições Novas	3.996	2.672	3.430
<b>SUB-TOTAL Contribuição da Imagem</b>	<b>24.371</b>	<b>13.386</b>	<b>23.086</b>
Verificação de Campo	31.621	39.663	27.440
<b>TOTAL</b>	<b>55.992</b>	<b>53.049</b>	<b>50.526</b>

Os erros cometidos na interpretação e constatados através da verificação de preliminar e do trabalho de campo foram principalmente relativos às cercas interpretadas como caminhos, córregos interpretados como estradas sem pavimentação e caminhos e linhas de transmissão de energia confundidas com caminhos e vice-versa. Como a individualização destas alterações de classificação eram muito complexas e de difícil quantificação, optou-se por generaliza-las e engloba-las no item relativo a verificação de campo pois, somente através desta etapa foi possível realizar a classificação final.

#### 4.2.5. Resultados da classificação baseada na verificação de campo

A verificação preliminar das minutas de atualização, através das informações contidas nas cartas topográficas do IGC de 1978 combinadas com as viagens de campo, possibilitaram a classificação das feições relativas a estradas sem pavimentação, subdivididas em estradas sem pavimentação com tráfego permanente, periódico e caminhos. As tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 apresentam a quantidade de feições antigas e novas classificadas através da verificação de campo. Os arruamentos sem pavimentação foram classificados juntamente com as estradas sem pavimentação com tráfego periódico.

As linhas transmissoras de energia puderam ser subdivididas em Alta e Baixa Tensão, como se pode observar na tabela 4.17.

Tabela 4.14: Classificação das estradas sem pavimentação com tráfego permanente

ESTRADAS SEM PAVIMENTAÇÃO COM TRÁFEGO PERMANENTE	SPOT - P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições antigas	2.033	2.033	2.029
Feições novas	17.092	17.423	18.902
TOTAL	19.125	19.456	20.931

Tabela 4.15: Classificação das estradas e arruamentos sem pavimentação com tráfego periódico

Estradas e Arruamentos Sem Pavimentação com Tráfego Periódico	SPOT - P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições antigas	30.075	22.355	24.569
Feições novas	66.856	81.558	67.944
TOTAL	96.931	103.913	92.513

Tabela 4.16: Classificação dos caminhos

CAMINHOS	SPOT - P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições antigas	13.953	11.545	8.925
Feições novas	102.504	95.489	110.577
TOTAL	116.457	107.034	119.502

Observando-se as tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 nota-se que todas as classes foram muito enriquecidas com a atualização através das imagens orbitais embora algumas alterações tenham ocorrido com as feições originais como rebaixamento de classe (por exemplo estradas pavimentadas com tráfego permanente e periódico transformadas em caminhos) e a inexistência de feições relativas principalmente a caminhos.

Tabela 4.17: Classificação das linhas transmissoras de energia

LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA	SPOT - P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P - IHS - (m)	COMPONENTE 3 - ACP - (m)
Feições antigas - alta tensão	20.375	10.714	19.656
Feições novas - alta tensão	22.361	29.516	17.680
Feições novas - baixa tensão	13.256	12.819	13.190
TOTAL	55.992	53.049	50.526

As linhas transmissoras de energia também mantiveram um equilíbrio entre as quantidades totais correspondentes as 3 imagens orbitais.

#### 4.3. Resultados Relativos ao Teste de Dependência de Cena

Quanto aos resultados obtidos com o teste utilizando a área de controle, vizinha à área de estudo adotada na tese, deve-se salientar que :

- a imagem SPOT-P realçada para a área de controle apresentou-se semelhante a SPOT-P adotada na tese, destacando bastante o arruamento na área urbana e estradas sem pavimentação. Das três imagens geradas, esta é a que produziu resultados mais semelhantes aos da imagem da área inicial;

- a imagem híbrida apresentou-se com baixo contraste, saturada nos tons de vermelho e pouco apropriada para a interpretação das feições estudadas neste trabalho. Os arruamentos e as estradas sem pavimentação apresentaram razoável identificação. Certamente novos testes buscando a melhor composição IHS deveriam ser feitos para buscar uma nova composição visando a atualização;

- da análise por componentes principais, a imagem componente 3 apresentou-se como a melhor para a identificação de estradas e ferrovias. Da mesma forma que o obtido inicialmente, esta seria a escolhida para o trabalho de atualização.

O objetivo deste teste foi o de verificar a qualidade visual das imagens geradas para um setor vizinho ao estudado e, indiretamente, a dependência da cena para a composição TM-437 (IHS) escolhida. A experiência vivenciada mostrou bem

a dificuldade de padronizar metodologias de realce quando se trabalha com imagens orbitais. Em casos semelhantes portanto, o usuário deverá tratar de forma individualizada as imagens da região de interesse.

O apêndice ao final do trabalho traz uma cópia das feições da carta original digitalizada, na escala 1:50.000, que poderá ser superposta aos produtos cartográficos gerados para auxiliar na análise das feições antigas alteradas e das novas feições resultantes da atualização. Também consta deste apêndice um conjunto de fotografias ilustrando as principais feições estudadas: estradas pavimentadas (Rodovia Marechal Rondon e Estrada Variante da Serra), caminho, ferrovia (Estação de Rubião Jr.), linha de alta tensão, linha de baixa tensão e loteamento com arruamentos sem pavimentação.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo realiza-se a análise dos resultados obtidos quanto à precisão e ao conteúdo informativo dos mapas atualizados, buscando avaliar o desempenho das três imagens utilizadas na atualização das feições planimétricas de carta topográfica 1:50.000.

Optou-se pelo desenvolvimento deste projeto de forma que o trabalho de campo fosse desenvolvido após a realização da atualização em escritório, visando a avaliação da porcentagem de acertos e erros num processo de atualização de cartas topográficas em escala média, tendo-se à disposição, num primeiro momento, somente as informações contidas nas imagens e na carta topográfica (1:50.000) utilizadas.

#### 5.1. Precisão do Geo-referenciamento

Quando da realização do geo-referenciamento das imagens orbitais SPOT e TM, adotou-se resolução espacial de 10 m, aplicando-se uma função linear com reamostragem pelo vizinho mais próximo e utilizando-se 22 pontos de controle, sendo encontrados os seguintes valores de Erro Médio Quadrático para os Pontos de Controle:

$$EMQ_{SPOT} = 1,77 \text{ m}$$

$$EMQ_{TM} = 2,03 \text{ m.}$$

Estes valores correspondem aos erros médios quadráticos do processo de geo-referenciamento, módulo RESAMPLE do IDRISI.

O procedimento adotado para uma avaliação prévia dos produtos gerados foi o de registrar as áreas interpretadas em poliéster terkron, através de uma traçadora de tambor para posteriormente superpô-las à carta original do IBGE, escala 1:50.000. As feições antigas não alteradas, interpretadas através do IDRISI, encaixaram-se de forma satisfatória às feições originais. Ocorreram pequenos deslocamentos (não

superiores a 1mm no papel tercron ou 50m no terreno), na posição das linhas de transmissão de energia que, em função da larga faixa de domínio, não têm seu traçado perfeitamente definido, podendo dar margem a deslocamentos e consequentemente a imprecisão nas medidas.

Para avaliar a precisão do geo-referenciamento, determinando-se o Erro Médio Quadrático (EMQ) dos produtos gerados, foram escolhidos 24 pontos de verificação diferentes dos iniciais e perfeitamente identificáveis nas imagens, cujas coordenadas de terreno eram conhecidas. Através de comparação destes com as coordenadas geo-referenciadas do sistema IDRISI, que correspondiam as coordenadas de tela dos pontos de verificação, pode-se obter o valor de  $EMQ_{E,N}$  dos produtos finais gerados para as imagens orbitais em estudo.

#### 5.1.1. Imagem SPOT-P

A precisão no geo-referenciamento da imagem SPOT-P foi avaliada através dos 24 pontos de verificação perfeitamente identificados e espalhados pela imagem e cartas topográficas do IGC, escala 1:10.000. A Tabela 5.1 apresenta as coordenadas de imagem ( $E_i, N_i$ ) e de carta ( $E_c, N_c$ ) dos pontos de verificação, bem como os módulos das diferenças das coordenadas de imagem e de carta. O Erro Médio Quadrático foi calculado pela expressão:

$$EMQ_E = \sqrt{\sum(E_c - E_i)^2/n};$$

$$EMQ_N = \sqrt{\sum(E_c - E_i)^2/n};$$

$$EMQ_{E,N} = \sqrt{(EMQ_E)^2 + (EMQ_N)^2}$$

Tabela 5.1: Coordenadas de imagem e de carta dos pontos de verificação para a imagem SPOT-P.

Ponto de Verificação	$E_i$ (m)	$N_i$ (m)	$E_c$ (m)	$N_c$ (m)	$\Delta E =  E_c - E_i $ (m)	$\Delta N =  N_c - N_i $ (m)
01	757.306	7.465.346	757.275	7.465.343	31	3
02	757.095	7.465.800	757.078	7.465.792	17	8
03	758.885	7.466.230	758.862	7.466.238	23	8
04	758.070	7.464.690	758.045	7.464.693	25	3
05	756.935	7.463.660	756.932	7.463.650	3	10
06	758.940	7.463.780	758.918	7.463.780	22	0
07	761.140	7.463.747	761.135	7.463.755	5	8
08	761.880	7.465.325	761.878	7.465.340	2	15
09	763.645	7.465.080	763.647	7.465.093	2	13
10	762.945	7.466.205	762.956	7.466.225	11	20
11	764.460	7.464.500	764.440	7.464.512	20	12
12	764.030	7.465.690	764.052	7.465.692	22	2
13	765.070	7.464.780	765.058	7.464.788	12	8
14	763.370	7.464.330	763.360	7.464.348	10	18
15	757.770	7.461.905	757.767	7.461.918	3	13
16	759.175	7.461.895	759.170	7.461.900	5	5
17	757.325	7.462.840	757.310	7.462.837	15	3
18	760.716	7.461.546	760.693	7.461.547	23	1
19	761.345	7.460.550	761.330	7.460.562	15	12
20	758.410	7.460.535	758.402	7.460.542	8	7
21	763.340	7.462.120	763.330	7.462.130	10	10
22	757.730	7.458.610	757.728	7.458.592	2	18
23	760.300	7.458.630	760.308	7.458.645	8	15
24	763.610	7.458.360	763.610	7.458.378	0	18
EMQ					15	11

Assim, os valores de EMQ obtidos para a imagem SPOT-P foram:

$$EMQ_E = 15 \text{ m};$$

$$EMQ_N = 11 \text{ m};$$

$$EMQ_{E,N} = 19 \text{ m}.$$

### 5.1.2. Imagem Híbrida

Procedimento similar foi adotado para a imagem híbrida resultante da transformação IHS. Adotando-se os mesmos pontos de verificação, obteve-se os seguintes valores de EMQ:

$$EMQ_E = 14 \text{ m};$$

$$EMQ_N = 11 \text{ m};$$

$$EMQ_{E,N} = 18 \text{ m}.$$

### 5.1.3. Imagem Componente 3 (ACP)

Da mesma forma obteve-se os valores de EMQ para a imagem resultante da Análise por Componentes Principais (ACP), os quais foram:

$$EMQ_E = 12 \text{ m};$$

$$EMQ_N = 13 \text{ m};$$

$$EMQ_{E,N} = 18 \text{ m}.$$

Nota-se que os valores de EMQ apresentaram-se próximos para as 3 imagens testadas, com a média dos EMQ's equivalente a 18m, valor que mostra que o geo-referenciamento foi bem sucedido.

### 5.1.4. Precisão do geo-referenciamento para a imagem SPOT-P com menos pontos de controle.

Um teste de geo-referenciamento utilizando-se 6 pontos de controle foi realizado para que se tivesse uma idéia das perdas e ganhos na precisão do geo-referenciamento utilizando menos pontos.

Aplicando-se uma função linear com reamostragem pelo vizinho mais próximo e utilizando somente 6 pontos de controle obteve-se o seguinte valor de Erro Médio Quadrático para os Pontos de Controle:

$$EMQ_{SPOT} = 1,85 \text{ m}.$$

Os mesmos 24 pontos de verificação foram utilizados para testar a qualidade da imagem SPOT-P geo-referenciada desta nova forma. Os resultados foram:

$$EMQ_E = 12 \text{ m};$$

$$EMQ_N = 13 \text{ m};$$

$$EMQ_{E,N} = 18 \text{ m}.$$

Observa-se que os resultados são equivalentes aos obtidos com a totalidade de pontos de controle (22 pontos), mostrando que não há necessidade de

tomar tantos pontos para que se preserve a qualidade do geo-referenciamento, fato que simplifica o processo e implica numa economia de tempo e de recursos.

## 5.2. Quantidade de Informação Atualizada

A análise quantitativa da informação atualizada deu-se de duas formas: a nível de minuta de atualização e a nível de carta topográfica atualizada. Esta apresentação dá possibilidade de comparação entre a informação obtida com e sem a verificação de campo.

### 5.2.1. Análise das Minutas de Atualização

De acordo com o que foi tratado no capítulo 4 observa-se que as imagens orbitais enriqueceram significativamente o conteúdo informativo da carta topográfica original em função da identificação de novas feições. Para realizar a comparação entre a quantidade de informação contida na carta topográfica original e nas minutas de atualização tomou-se como referência o comprimento ou área das feições na carta digitalizada e calculou-se os valores em percentagem. Neste momento, maior interesse tem as comparações relativas entre as minutas, tendo-se considerado como referência o valor de 100% para as feições da carta original (tabela 5.2).

Tabela 5.2: Comparação entre a quantidade de informação contida na carta digitalizada e nas minutas de atualização, em percentagem.

QUANTIDADE DE INFORMAÇÃO (%)	Carta Digitalizada	MINUTA SPOT-P	MINUTA IHS	MINUTA ACP
Área urbana total	100,00	398,92	398,67	390,01
Estradas e arruamentos pavimentados	100,00	147,16	562,52	358,30
Estradas e arruamentos sem pavimentação	100,00	196,88	149,22	207,40
Ferrovias	100,00	111,23	90,00	114,51
Linhas transmissoras de energia	100,00	121,86	117,48	164,98

Através da tabela 5.2 pode-se verificar que todas as imagens utilizadas cumpriram bem o papel de acrescentar informações à carta original sendo que, no aspecto quantitativo, a atualização através de qualquer uma das imagens possibilitou um grande aumento relativo da informação para feições como estradas, arruamentos e linhas de transmissão de energia, sendo ferrovia a única exceção, numa das minutas. Esse aumento ocorreu em função do desenvolvimento sócio-econômico da região e mostra que a atualização utilizando imagens orbitais consegue detectar muitas feições novas.

Com respeito a área urbana, que praticamente quadruplicou num período de 22 anos, observa-se que as 3 imagens forneceram porcentagens equivalentes. Deve-se considerar que incluiu-se na atualização o setor relativo ao aeroporto de Botucatu, a sub-estação de energia e o setor da área urbana de Rubião Júnior, que não eram considerados como áreas urbanas pela carta original digitalizada.

Quanto às estradas e arruamentos pavimentados verificou-se um considerável acréscimo, mais de 5 vezes a quantidade encontrada na carta original para a atualização realizada através da transformação IHS (562,52%). No caso da ACP o acréscimo foi de quase 4 vezes (398,92%). Estes valores referem-se principalmente ao arruamento urbano pavimentado.

As estradas sem pavimentação tiveram seus valores praticamente duplicados no caso das imagens ACP (207,40%) e SPOT-P (196,88%), apresentando a IHS 149,22%.

No caso das ferrovias, a imagem que acrescentou maior porcentagem de informação foi a resultante da ACP (114,51%), seguida da SPOT-P com 111,23%. Torna-se importante destacar que a atualização através da imagem IHS registrou 90% das feições referentes às ferrovias da carta original, não sendo possível a identificação de um pequeno trecho na borda da imagem.

As linhas transmissoras de energia tiveram aumento de 164,98% para ACP, seguida de 121,86% para SPOT-P e de 117,48% para IHS.

Observa-se que a dificuldade encontrada na interpretação de feições como ferrovias e linhas transmissoras de energia utilizando-se a imagem IHS foi refletida nos resultados da tabela 5.2. Por outro lado esta imagem apresentou a vantagem ser colorida, permitindo distinguir a maioria das estradas e arruamentos pavimentados, dos não pavimentados. Houve algumas estradas sem pavimentação que, pela resposta espectral do seu calçamento e entorno (especiais), foram classificadas como pavimentadas.

A atualização através da imagem ACP foi a que acrescentou a maior quantidade de estradas sem pavimentação. Este fato deve ser considerado com cautela pois, como se demonstrou pelos trabalhos de campo, dentre estas estradas aparecem feições referentes a cercas ou a pequenos córregos assoreados.

Já a imagem SPOT pancromática, mesmo com valores inferiores resultante da ACP, teve excelente desempenho ao acrescentar à carta original valores significativos de estradas sem pavimentação, área urbana, linhas transmissoras de energia e ferrovias, sendo a única deficiência a detecção de estradas e arruamentos pavimentados.

Como a atualização envolveu, além da introdução de novas feições, o registro das feições já existentes que puderam ser detectadas, assim como das alterações ocorridas, surgiram dois novos planos de informação (PI), um relativo às feições repetidas e outro relativo às feições alteradas ou não identificadas.

A tabela 5.3 ilustra as informações identificadas nas imagens, classificadas em estradas, ferrovias e linhas de transmissão de energia juntamente com a informação original contida na carta topográfica do IBGE.

Tabela 5.3: Comparação entre as informações originais e as identificadas nas imagens

FEIÇÕES ANTIGAS	ORIGINAL		Minuta SPOT-P		Minuta IHS		Minuta ACP	
	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)
ESTRADAS	156.909	100,00	76.762	48,92	81.365	51,85	91.138	58,08
FERROVIAS	5370	100,00	4.657	86,75	5.099	94,99	4.570	85,13
LINHAS DE TRANSMISSÃO	24.839	100,00	8.432	33,95	6.180	24,88	10.099	40,66

A análise da tabela 5.3 indica que, com respeito a estradas, todas as imagens possibilitaram a identificação de cerca da metade das feições existentes na carta original. A carta atualizada através da ACP foi a que mais identificou estradas antigas, sendo estas 58,08% do total registrado na carta original, seguida da IHS e da SPOT-P. Salienta-se que em todas as imagens houve maior dificuldade na identificação das estradas sem pavimentação com tráfego periódico e caminhos. As estradas pavimentadas e sem pavimentação com tráfego permanente não alteradas

foram todas identificadas. Além disso detectou-se alterações nos traçados de algumas estradas pavimentadas e sem pavimentação.

Comparativamente às estradas, as ferrovias foram muito bem identificadas, embora tenham surgido dificuldades relativas à continuidade da feição na interpretação de certos trechos da via férrea. A maior porcentagem correspondeu a atualização através da imagem IHS salientando-se que não foi possível detectar novas feições relativas a esta categoria nesta imagem.

As linhas transmissoras de energia, embora nitidamente perceptíveis em certos trechos devido à faixa de domínio, também apresentaram problemas quanto à continuidade. Esta dificuldade foi encontrada em todas as imagens testadas. Observa-se na tabela 5.3 que a maior porcentagem de linhas de transmissão foi a obtida da imagem resultante da ACP (40,66), o que mostra os valores relativamente baixos para estas feições.

Quanto às alterações ocorridas, predominou a dificuldade de identificação de algumas estradas sem pavimentação com tráfego periódico e caminhos, principalmente na região centro-sul da área de estudo, cuja posterior verificação de campo pode confirmar a inexistência. Nas linhas transmissoras de energia foram detectados trechos com descontinuidade, podendo-se supor a existência embora não se vejam partes intermediárias. A interpretação realizada foi rigorosa, sendo registrados somente os trechos de feições perfeitamente visíveis, embora se pudesse deduzir a presença das linhas de alta tensão. Supondo-se esta continuidade, as porcentagens seriam quase 100%.

O trabalho de campo mostrou imperfeições na carta original como por exemplo o traçado da linha transmissora de energia no setor nordeste da área de estudo. Parcela significativa dos caminhos e das estradas com tráfego periódico existentes nos originais também não foram identificados no campo, confirmando que as diferenças de porcentagem entre as informações originais e as identificadas nas imagens estão condizentes com a realidade.

### **5.2.2. Análise das Cartas Topográficas Atualizadas**

As cartas topográficas atualizadas foram comparadas à carta digitalizada e as quantidades de feições existentes nas mesmas são apresentadas na Tabela 5.4, sob a forma de porcentagem. De maneira similar a apresentação dada para a análise das

minutas de atualização, a referencia é a carta digitalizada e os valores são dados em porcentagem. Conforme já comentado anteriormente, as quantidades referentes à área urbana não foram verificadas e portanto não sofreram alteração.

Tabela 5.4: Comparação entre a quantidade de informação da carta digitalizada e das cartas topográficas atualizadas

QUANTIDADE DE INFORMAÇÃO (%)	Carta Digitalizada	Carta Atualizada SPOT-P	Carta Atualizada IHS	Carta Atualizada ACP
Área urbana total	100,00	398,92	398,67	390,01
Estradas e Arruamentos Pavimentados	100,00	413,95	466,58	479,39
Estradas sem Pavimentação com tráfego permanente	100,00	140,12	142,44	153,24
Estradas sem pavimentação com tráfego periódico	100,00	97,28	104,29	92,85
Caminhos	100,00	509,41	468,19	522,73
Ferrovias	100,00	111,23	100,00	114,51
Linhas de transmissão de energia	100,00	225,42	213,58	203,41

Analisando-se a tabela 5.4. e comparando-a com a 5.2 observa-se que a quantidade de informação relativa às estradas pavimentadas diminuiu na carta atualizada IHS (466,58%) quanto comparada com o valor obtido para a minuta (562,52%). Isto se deve ao fato de que a interpretação estimou como arruamentos pavimentados algumas áreas de loteamento nos arredores da cidade de Botucatu, que não possuem pavimentação. A verificação de campo levou a um significativo aumento nos valores correspondentes as estradas pavimentadas da SPOT-P e ACP.

Pelos trabalhos de campo as estradas sem pavimentação puderam ser subdivididas em: tráfego permanente, periódico e caminhos, o que não pode ser realizado nas minutas. Observa-se que os valores das de tráfego permanente cresceram cerca de 50% para as cartas, quando comparadas com a carta digitalizada (Tabela 5.4). O mesmo não ocorreu com as estradas sem pavimentação com tráfego periódico que só mostraram um pequeno aumento no caso da IHS (104,29%) e

tiveram uma pequena diminuição nas outras cartas atualizadas. Os caminhos foram as feições que maior aumento tiveram, cerca de 5 vezes a quantidade existente na carta digitalizada.

Vale destacar que todas as estradas antigas de tráfego permanente, que ainda existem, foram identificadas. Por outro lado, devido ao trabalho de campo e à existência das cartas 1:10.000, foram identificados e atualizados caminhos que, a rigor, não apareceriam na escala 1:50.000 por não serem muito significativos.

As ferrovias mantiveram os valores obtidos nas minutas no caso das cartas SPOT-P, ACP e IHS sendo a carta resultante da ACP a mais enriquecida de informações, pois apresenta os múltiplos trilhos existentes nas proximidades da estação de Rubião Jr.

As linhas transmissoras de energia elétrica puderam ser subdivididas em alta e baixa tensão e duplicaram suas quantidades em todas as cartas. Este fato deve-se principalmente a constatação em campo da presença de setores de alta tensão apresentados linhas paralelas entre si e a garantia de continuidade que já se imaginava ao ver trechos retos descontínuos. Deve-se também a mudança de classe de algumas das estradas sem pavimentação e caminhos que, na verdade correspondiam a linhas transmissoras de energia.

### 5.2.3. Análise do conteúdo informativo das cartas topográficas

Esta análise tem com objetivo o detalhamento do conteúdo das cartas topográficas atualizadas, procurando identificar a origem do conteúdo informativo. Para facilitar a análise, os dados das tabelas 4.10 a 4.13 (Capítulo 4) foram convertidos para porcentagem considerando-se que o comprimento total atualizado corresponde a 100% e apresentados nas tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 respectivamente.

Tabela 5.5: Contribuição das fontes de informação para a carta final - estradas e arruamentos pavimentados.

Estradas e arruamentos pavimentados	SPOT-P REALÇADA (%)	RGB-437 + SPOT-P -IHS- (%)	COMPONENTE 3 -ACP- (%)
Feições antigas detectadas	17,19	15,91	15,49
Feições novas	16,65	63,77	62,75
SUB-TOTAL Contribuição da imagem	33,84	79,68	78,24
Verificação de campo	66,16	20,32	21,76
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Com relação as estradas e arruamentos pavimentados (tabela 5.5) observa-se que o etapa referente à verificação preliminar e de campo contribuiu muito significativamente para a geração do conteúdo da carta final SPOT-P (66,16%) ou seja, esta imagem deixou dúvidas de interpretação quanto a serem pavimentadas ou não, gerando mais trabalho de campo. O mesmo não ocorre com as cartas obtidas a partir das imagens IHS e ACP que para este tema, tiveram o trabalho de campo reduzido devido a grande quantidade de informação extraída das imagens.

Tabela 5.6: Contribuição das fontes de informação para a carta final - estradas e arruamentos sem pavimentação.

Estradas e arruamentos sem pavimentação	SPOT-P REALÇADA (%)	RGB-437 + SPOT-P -IHS- (%)	COMPONENTE 3 -ACP- (%)
Feições antigas detectadas	19,81	15,60	14,39
Feições novas	41,14	34,48	61,44
SUB-TOTAL Contribuição da imagem	60,95	50,08	75,83
Verificação de campo	39,05	49,92	24,17
TOTAL	100,00	100,00	100,00

A Tabela 5.6 apresenta a contribuição das imagens e da verificação de campo para a atualização das estradas e arruamentos sem pavimentação. As porcentagens mostram que as imagens tiveram papel importante na atualização desse tema. Destaca-se a imagem resultante da ACP que possibilitou a atualização de 76% da informação atualizada na carta relativa às estradas e arruamentos sem pavimentação seguida da imagem SPOT-P com 61%, enquanto a transformação IHS correspondeu a 50% da informação final. A utilização da transformação IHS para a atualização das estradas sem pavimentação foi a que exigiu maior trabalho de campo. Como já foi salientado anteriormente, a interpretação detalhada executada neste trabalho teve o objetivo de extrair o máximo de informação das imagens. Desta forma, a interpretação dos caminhos levou a uma grande quantidade de feições que normalmente não constariam de uma carta na escala 1:50.000, o que aumentou o trabalho de verificação de campo.

Tabela 5.7: Contribuição das fontes de informação para a carta final - ferrovias.

FERROVIAS	SPOT-P REALÇADA (%)	RGB-437 + SPOT-P -IHS- (%)	COMPONENTE 3 -ACP- (%)
Feições antigas detectadas	89,90	90,00	87,33
Feições novas	10,10	-	12,67
SUB-TOTAL Contribuição da imagem	100,00	90,00	100,00
Verificação de campo	-	10,00	-
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Como as ferrovias que cortam o Estado de São Paulo não se encontram num processo de expansão, não foram detectadas alterações significativas entre o conteúdo da carta original e das cartas atualizadas (tabela 5.7). Os acréscimos foram no setor próximo a Estação de Rubião Jr. que apresenta múltiplas linhas paralelas (máximo de 8 linhas). Com relação a carta IHS, o trecho da ferrovia não identificado foi checado em campo e incluído com base no seu registro derivado da carta original digitalizada.

Tabela 5.8: Contribuição das fontes de informação para a carta final - linhas transmissoras de energia.

LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA	SPOT-P REALÇADA (%)	RGB-437 + SPOT-P -IHS- (%)	COMPONENTE 3 -ACP- (%)
Feições antigas detectadas	36,39	20,20	38,90
Feições novas	7,14	5,04	6,79
SUB-TOTAL Contribuição da imagem	43,53	25,24	45,69
Verificação de campo	56,47	74,76	54,31
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Observa-se na tabela 5.8 que a verificação preliminar e o trabalho de campo foram determinantes para a correta atualização das feições relativas às linhas transmissoras de energia sendo a imagem que mais exigiu verificação de campo a resultante da transformação IHS (75%). No caso das imagens SPOT-P e ACP, mais de 50% das informações finais dependeram da verificação de campo.

#### 5.2.4. A classificação das cartas topográficas atualizadas

A etapa de verificação de campo possibilitou a classificação das informações contidas nas cartas topográficas atualizadas relativas às estradas sem pavimentação e as linhas transmissoras de energia. As tabelas 5.9 e 5.10 apresentam uma comparação entre as quantidades existentes na carta original digitalizada e as cartas finais.

Tabela 5.9: Comparação entre a classificação da carta original digitalizada e das cartas finais - estradas sem pavimentação

ESTRADAS SEM PAVIMENTAÇÃO	Carta Original Digitalizada (m)	Carta Atualizada SPOT-P (m)	Carta Atualizada -IHS- (m)	Carta Atualizada -ACP- (m)
Com tráfego permanente	13.659	19.125	19.456	20.931
Com tráfego periódico	99.638	96.931	103.913	92.513
Caminhos	22.861	116.457	107.034	119.502
<b>TOTAL</b>	<b>136.158</b>	<b>232.513</b>	<b>230.402</b>	<b>232.946</b>

A classificação final das estradas sem pavimentação dá idéia do detalhamento alcançado com a interpretação das imagens orbitais, principalmente com respeito aos caminhos. Para este tema obteve-se uma quantidade de feições muito superior àquela necessária para a escala 1:50.000. Salienta-se que muitas das feições relativas a estradas sem pavimentação com tráfego periódico pertencentes a carta original digitalizada foram classificadas como caminhos devido ao péssimo estado em que se encontravam quando da verificação de campo. No total, as estradas sem pavimentação tiveram um aumento de quase 100%, quando são comparadas com a carta original digitalizada e, apesar dos valores próximos, ocorreu uma pequena superioridade da carta resultante da imagem ACP para estradas com tráfego permanente e caminhos. No caso das estradas sem pavimentação com tráfego periódico, a vantagem ficou com a carta resultante da imagem IHS.

Tabela 5.10: Classificação final das linhas transmissoras de energia

LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA	Carta Original Atualizada (m)	SPOT-P REALÇADA (m)	RGB-437 + SPOT-P -IHS- (m)	COMPONENTE 3 -ACP- (m)
Alta tensão	24.839	42.736	40.230	37.336
Baixa tensão	-	13.256	12.819	13.190
<b>TOTAL</b>	<b>24.839</b>	<b>55.992</b>	<b>53.049</b>	<b>50.526</b>

Uma contribuição da verificação de campo para a atualização final foi a subdivisão das linhas transmissoras de energia em baixa tensão e alta tensão.

Observa-se um equilíbrio entre os resultados parciais e finais de classificação quando são comparados os 3 produtos gerados. Com respeito a carta original o acréscimo de novas informações foi superior de 100% em todas as cartas atualizadas. Quando da comparação com a carta original digitalizada observa-se que a carta gerada através da imagem SPOT-P apresentou pequena superioridade na quantidade de informação relativa às linhas de transmissão de energia.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSÕES

#### 6.1. Conclusões

Neste capítulo são apresentadas as conclusões acerca do trabalho realizado. Considera-se que o objetivo geral apresentado no item 1.1 foi atingido já que foi possível realizar a detecção de alterações acompanhada da atualização de um setor da carta topográfica do IBGE, escala 1:50.000 através de metodologia alternativa, de baixo custo, fazendo uso de imagens orbitais.

Dentre os objetivos específicos propostos, destaca-se que foi possível testar uma metodologia de atualização através dos programas IDRISI e AutoCAD e, mesmo com as limitações impostas pelos sistemas envolvidos, os resultados foram satisfatórios. Com relação à qualidade do geo-referenciamento dos produtos gerados, constatou-se que os mesmos apresentaram EMQ por volta de 18 metros, o que se encontra dentro das expectativas, para o presente caso. Através de teste adicional, realizando o geo-referenciamento com 6 pontos de controle, comprovou-se que a diminuição dos pontos não comprometeu a qualidade do geo-referenciamento das imagens, sendo mantido o valor de EMQ = 18 m.

Foram testadas as imagens SPOT e Landsat e suas combinações para a geração de produtos atualizados, envolvendo feições relativas às estradas, linhas de transmissão de energia e áreas urbanas. As imagens acrescentaram significativa quantidade de informações à carta original, conforme mostrou a tabela 5.4, estando os 3 produtos testados bem acima das expectativas iniciais.

Na análise do conteúdo informativo das cartas finais observou-se que as imagens orbitais resultantes da transformação IHS e da ACP contribuíram para a

identificação de grande quantidade de estradas e arruamentos pavimentados, necessitando de pouco trabalho de campo (capítulo 5, tabela 5.5).

No caso das estradas e arruamentos sem pavimentação, a maior contribuição foi dada pela imagem resultante da ACP, seguida da SPOT-P. A utilização da transformação IHS implicou em maior trabalho de campo (capítulo 5, tabela 5.6).

As ferrovias foram melhor detectadas pela imagem resultante da ACP, seguida da SPOT-P. A imagem IHS não possibilitou o acréscimo de feições relativas a este tema e não permitiu a identificação de um pequeno trecho existente no setor nordeste, na borda da imagem (capítulo 5, tabela 5.7).

A maior contribuição para a atualização das linhas transmissoras de energia foi dada pela imagem resultante da ACP, seguida da SPOT-P. A resultante da transformação IHS exigiu mais da verificação de campo (capítulo 5, tabela 5.8).

Com base no que foi apresentado pode-se concluir que as 3 imagens atendem aos requisitos de atualização das feições abordadas neste trabalho, na escala 1:50.000. No caso da atualização baseada na minimização do trabalho de campo, a imagem resultante da transformação IHS seria a mais adequada no trabalho com estradas e arruamentos pavimentados. A imagem resultante da ACP seria a mais adequada para atualização de estradas sem pavimentação, ferrovias e linhas transmissoras de energia, seguida da imagem SPOT-P.

A etapa de verificação de campo possibilitou que as estradas sem pavimentação fossem classificadas em tráfego permanente, periódico e caminhos, o que complementou a atualização. As linhas transmissoras de energia e os caminhos tiveram um detalhamento muito superior ao exigido para cartas em escalas médias (1:50.000), comprovando o potencial das imagens orbitais estudadas para a detecção deste tipo de feição. A verificação preliminar utilizando-se as cartas do IGC de 1978 e o levantamento de campo foram importantes para a geração das cartas topográficas atualizadas.

A disponibilidade de cartas mais recentes, como as cartas do IGC, permitiu maior agilidade e economia na verificação de campo. Este fato não invalida a aplicação da metodologia em regiões desprovidas de informações complementares (como por exemplo as de cartas mais recentes, fotos aéreas, etc.). Somente deverá ser levado em conta o maior número de horas a ser dedicado ao trabalho de campo.

A escolha de uma área teste, vizinha à área de estudo da tese (nas mesmas imagens), para a aplicação do tratamento adotado neste trabalho, mostrou que uma determinada combinação de imagens pode ser adequada para uma dada região e inadequada para outra. A dependência de cena conduz o usuário a tratar de forma individualizada as imagens da região de interesse.

## 6.2. Considerações Finais

Com respeito ao desempenho da combinação AutoCAD/IDRISI deve-se considerar que:

1) a exportação de dados do IDRISI para o AutoCAD está bastante eficiente embora a importação esbarre no não reconhecimento das polilinhas geradas no AutoCAD. A alternativa utilizada foi a adoção do programa ROOTSPRO como caminho intermediário para a conversão de arquivos vetoriais do AutoCAD para o IDRISI;

2) o sistema IDRISI, embora com limitações nas funções de digitalização em tela, apresentou desempenho satisfatório;

3) a combinação da digitalização das novas feições no IDRISI e edição no AutoCAD, apesar de trabalhosa, apresentou bons resultados que vieram reforçar a viabilidade de alternativas como esta, em termos técnicos e econômicos.

Deve-se considerar também que a situação ideal para a aplicação da metodologia proposta neste trabalho, seria realizar os trabalhos de campo no mesmo período da tomada das imagens orbitais. Neste trabalho isso não foi possível, havendo uma diferença de quatro anos entre a data da passagem dos satélites (1991) e das viagens ao campo (1995).

Apesar de toda a evolução tecnológica da qual estamos participando, sente-se a necessidade de sistemas profissionais de custo menos elevado que possibilitem a comunicação com outros programas e equipamentos, para que os trabalhos possam ser conduzidos de forma mais objetiva e menos sacrificada para os usuários.

### 6.3. Recomendações para trabalhos futuros

Uma alternativa interessante encontrada neste trabalho foi tomar como fontes de informações auxiliares as cartas topográficas do IGC, escala 1:10.000, o que levou a resultados bastante satisfatórios com uma economia de tempo e de recursos. A busca de alternativas para diminuir o trabalho de campo através de outras fontes como as fotografias aéreas convencionais, as fotografias tomadas de pequenos aviões ou ultra-leves, o uso de filmadoras seriam algumas sugestões que poderiam ser testadas. Nas viagens de campo, o uso de um GPS de bolso poderia agilizar o trabalho e facilitar a orientação do pesquisador.

Outra recomendação seria a utilização de um único sistema, de preferência em ambiente Windows, de baixo custo, que executasse as tarefas realizadas neste trabalho, o que dispensaria tantas exportações e importações. Uma possibilidade a ser verificada seria o uso do próprio IDRISI FOR WINDOWS, que apresenta-se atualmente como uma das alternativas mais econômicas de Sistema de Informação Geográfica.

## ANEXO

### O Sistema IDRISI

O Sistema IDRISI, desenvolvido pela *Graduate School of Geography da Clark University (EUA)*, é um sistema matricial ou *raster* projetado para ser uma ferramenta de pesquisa geográfica de nível profissional, a baixo custo e sem fins lucrativos. A versão utilizada neste trabalho foi a 4.1, lançada em setembro de 1993.

É importante destacar que o programa IDRISI, embora no formato matricial, trabalha também com arquivos vetoriais, sendo imediata a visualização destes últimos em combinação com arquivos matriciais, o que viabilizou seu uso no tipo de aplicação que este trabalho propõe. A conversão vetorial/matricial e sua inversa também é bastante simples.

O IDRISI, conforme Eastman (1992), não é um simples programa computacional, mas uma coleção de mais de 100 módulos de programas que podem ser acionados através de uma tela de escolha (menu). Tais módulos dividem-se em cinco grandes grupos:

1) **Os Módulos Centrais:** reúnem as funções fundamentais de entrada, armazenamento, gerenciamento e apresentação de imagens matriciais e que por sua vez dividem-se em 5 sub-grupos que são:

- Módulos de Gerenciamento de Projeto;
- Módulos de Apresentação;
- Módulos de Entrada de Dados;
- Módulos de Gerenciamento de Dados Atributos;
- Módulos de Gerenciamento de Dados Espaciais.

2) **Os Módulos de Análise Geográfica:** fornecem a maioria das ferramentas para a análise de imagens matriciais e dividem-se em 4 sub-grupos:

- Exame do Banco de Dados;
- Álgebra de Mapeamento;
- Operadores de Distâncias;
- Operadores de Contexto.

3) Os **módulos de Processamento de Imagem**: fornecem as ferramentas necessárias para a análise de imagens orbitais. Compõem-se dos seguintes sub-grupos:

- Restauração de imagem;
- Realçamento de imagem;
- Classificação de imagem.

4) Os **Módulos de Análise Estatística** apresentam-se subdivididos em:

- Módulos de Análise Estatística e
- Módulos de Processamento de Imagens.

5) Os **Módulos Periféricos** estão associados com a conversão de dados entre IDRISI e outros programas que utilizam diferentes formatos de dados e que incluem:

- Exploração e Conversão de Arquivos e
- Importação e Exportação.

Neste trabalho foram explorados seletivamente os módulos de processamento de imagens e de análise geográfica, visando exclusivamente a atualização cartográfica. Destacam-se os seguintes:

#### a) Módulos Centrais

Nos Módulos Centrais trabalhou-se com os Módulos de Gerenciamento de Projetos como IDRISI, ENVIRON, LIST, LISTPAL, DESCRIBE, DOCUMENT e CONVERT; nos Módulos de Apresentação utilizou-se basicamente as funções COLOR A e COLOR 85 para a apresentação dos arquivos imagem (imagens orbitais) utilizando-se seus comandos interativos como visualização das coordenadas de imagem, digitalização de linhas e polígonos e ZOOM. As funções HISTO e STRETCH foram intensamente utilizadas para a avaliação do histograma das imagens e a realização de realces, respectivamente.

No Módulo de Entrada de Dados as funções LINERAS, POLYRAS, INITIAL e EDIT foram intensamente utilizadas para a adequação dos arquivos importados do AUTOCAD. Finalmente, nos Módulos de Gerenciamento de Dados Espaciais utilizaram-se os comandos RESAMPLE, EXPAND, CONCAT e WINDOW. Através destes foi possível o georeferenciamento e manuseio das imagens orbitais.

#### b) Módulos de Análise Geográfica

Dos módulos relativos a Análise Geográfica foram exploradas as funções RECLASS e OVERLAY, do Grupo Exame de Dados. Quanto a Álgebra de Mapeamento utilizou-se a função ESCALAR.

### **c) Módulos de Processamento de Imagens**

Foram utilizadas as funções COMPOSIT, VGACOMP, COLSPACE e PCA. Através de tais funções foi possível realizar hibridação das imagens SPOT e TM, realizar a análise por componentes principais, fazer composições e escolher as imagens mais adequadas para o trabalho de interpretação.

### **d) Módulos Periféricos**

Nos Módulos Periféricos realizaram-se operações de importação e exportação de dados. A digitalização dos dados bem como a edição dos arquivos atualizados foram realizadas no AUTOCAD - R.12. Por isso realizou-se a importação dos arquivos DXF para o IDRISI e vice-versa, através do comando DXFIDRI.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASP (American Society of Photogrametry). **Manual of Remote Sensing**. Falls Church, ASP, v. 2. 1983.
- Andrade, L.A. Possibilidades de obtenção de produtos cartográficos com utilização de imagens do satélite SPOT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, V. Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988. pp.245-252.
- Chavez, P.S.; Sides, S.C.; Anderson, J.A. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 57, nº 3, pp.295-303. 1991.
- Cintra, J. P. CAD, GIS, DBMS ou Cartografia Digital? CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XV. São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, USP, 1991. (2):343-348.
- Crosta, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, UNICAMP, 1992. 170p.
- D'Alge, J.C.L.; Ferreira, N.A. Perspectivas de atualização do mapeamento sistemático através de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, V. Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988. pp.240-244.
- Ehlers, M.; Edwards, G; Bédard, Y. Integration of Remote Sensing with Geographic Information Systems: A Necessary Evolution. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.55, nº 11, pp.1619-1627, 1989.
- Eastman, J.R. **IDRISI 4.0 User's Guide**. Wiscosin, Clark University, 1992. 391p.
- Eastman, J.R. **IDRISI 4.1 Updated Manual**. Wiscosin, Clark University, 1993. 211p.
- Graça, L.M.A. O projeto de GIS sob o ponto de vista da qualidade. In: GIS BRASIL 94 - CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO. Curitiba, 1994. **Anais**. Curitiba, Sagres Editora, 1994. pp.01-04
- IBGE. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Mapeamento Geral do Brasil**. s.l., 1991. Escalas diversas. Mapas-índice.

- Jacobsen, K. Advantages and disadvantages of different space images for mapping. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. Washington, 1992. **Proceedings**. Washington, ISPRS, 1992. Commission II, pp.162-168.
- Keates, J.S. **Understanding Maps**. New York, John Wiley & Sons Inc, 1982. 139p.
- Kennie, T.J.M.; Petrie, G. **Engineering Surveying Technology**. London, Blackie, 1990.
- Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2. New York, John Wiley & Sons, 1987. 721p.
- Lugnani, J.B. **Aprimoramento para a atualização cartográfica**. Curitiba, 1985. 84p. Tese (Concurso de Professor Titular) - Departamento de Geociências, UFPr.
- Martinelli, M. O ensino da cartografia temática como alfabetização da linguagem de representação gráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XV. São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, USP, 1991. (3):479-482.
- Mather, P.M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**. Chichester, John Wiley & Sons Inc., 1987. 352p.
- Meneguette, A.A.C. **Cartographic accuracy and information content of space imagery for digital map compilation and map revision**. London, 1987. 464p. Ph. D. Thesis - University College London.
- , A.A.C. Exatidão cartográfica e conteúdo informativo de imagens de satélite para compilação e revisão de mapas digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, V. Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988. pp.232-235.
- Meneguette, A.A.C.; Silva, E.A.S. Atualização de cartas na escala 1:250.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XV. São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, USP, 1991. (2):331-342.
- Moffitt, F.H.; Mikhail, E.M. **Photogrammetry**. 3. New York, Harper & Row Publ., 1980. 648p.
- Moik, J.G. **Digital Processing of Remotely Sensed Images**. Washington, NASA, 1980. 325p.
- Muller, J.C. Cartographic agenda of the 1990s: updates and prospects. **ITC Journal**, v.2, pp.55-62, 1991.
- Pinto, S.A.F. **Sensoriamento Remoto e Integração de Dados Aplicados no Estudo da Erosão dos solos: Contribuição Metodológica**. São Paulo, 1991. 130p. Tese (

- Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- Pozo, M.E. Actualización de base cartográfica escala 1:50.000 mediante S.I.G. y procesamiento digital de imagenes Embalse Rapel - Chile Central. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, III. Vina del Mar, 1991. Anais. Vina del Mar, 1991. pp.225-233.
- Sanchez, R.D. Image mapping of the Viedma area, Argentina at 1:50.000-scale using merged Landsat TM and SPOT P data. *Revista Cartográfica*. v.51/52, pp.123-131. 1987.
- Santos, J.N. Metodologia para atualização planimétrica de cartas a partir de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Cartografia*. v.43, pp.63-66, 1989.
- Schowengerdt, R.A. *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*. Orlando, Academic Press. Inc., 1983. 245p.
- Swain, P.H.; Davis, S.M. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York, MacGraw-Hill, 1978. 395p.
- Vergara, O.R. *Avaliação do desempenho de produtos de sensoriamento remoto para fins de atualização cartográfica com ênfase em áreas urbanas*. São José dos Campos, 1991. 68p. Dissertação Preliminar (Mestrado) - INPE.
- Vergara, O. R. *Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto para fins de atualização cartográfica*. São José dos Campos, 1994. 137p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).
- Vergara, O.R.; Kurkdjian, M.L.N.; Pereira, M.N. Contribuição dos dados SPOT analógicos para a atualização de cartas topográficas na escala 1:50.000. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, VII. Curitiba, 1993. Anais. São José dos Campos, INPE, 1993. pp.390-399.
- Viadana, M.I.C.F. *Refinamento de Imagens TM utilizando-se Feições Retas como Controle*. Curitiba, 1989. 105p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná.
- Welch, R., Image quality requeriments for mapping from satellite data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. v.24, nº1, pp.50-54, 1982.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Kuae, L.K.N.; Bonesio, M.C.M.; Villela, M.C.O. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses.** São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1991. 50p.
- Libault, A. **Geocartografia.** São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1975. 388p.
- Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações. 2.** São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda., 1992. 308p.
- Pezzotti, A. A. et al. **Proposta metodológica para a elaboração de uma base cartográfica digital para utilização em SIG.** Projeto Final do Curso de Engenharia Cartográfica. Presidente Prudente, 1994. 109p. Departamento de Cartografia - FCT - UNESP.

### 3.2.3. Criação da Base de Dados Geo-Referenciada

Uma prática comum em sensoriamento remoto é a localização visual de pontos de controle em duas imagens ou em imagem e mapa para se efetuar o registro da imagem. No caso de pontos de controle cuidadosamente selecionados, registros com exatidão (*accuracy*) dentro de um pixel são possíveis. Uma das limitações encontradas no emprego desta aproximação é a dificuldade na determinação de pontos de controle bem distribuídos pela área da imagem a ser registrada (Schowengerdt, 1983).

O registro imagem - mapa consiste em referenciar a base de dados a um sistema de projeção plana (por exemplo UTM) ou geográfica (latitude, longitude). Trata-se de uma operação de fundamental importância quando se pretende trabalhar com dados espaciais em um Sistema de Informação Geográfica. Uma vez geo-referenciado, consegue-se determinar as coordenadas na projeção escolhida para cada pixel da tela. A precisão da locação é função do tamanho da área mapeada e da resolução adotada para a imagem. No caso em questão adotou-se uma resolução de 10m (resolução espacial da imagem SPOT Pancromática), valor que para a escala de trabalho 1:50.000 é considerado excelente já que o convencional na geração de cartas topográficas é o valor de 0,5 mm na escala da carta, o que neste caso corresponde a 25m.

A função do IDRISI que permite geo-referenciar os dados cartográficos digitais ou uma imagem no formato digital denomina-se RESAMPLE. Optou-se, para este trabalho, referenciar as imagens à projeção da carta topográfica:UTM com o datum horizontal Córrego Alegre.

Buscando um aumento na qualidade do geo-referenciamento foram coletadas coordenadas das cartas topográficas IGC na escala 1:10.000 de 1978, para o setor da folha Botucatu em estudo. As coordenadas de imagem foram obtidas através do *mouse*, em tela, diretamente das imagens orbitais.

Para a realização desta operação a função RESAMPLE exige um arquivo de correspondência entre imagem e carta que foi obtido através da função EDIT (extensão .COR). Este arquivo continha o número de pontos de controle e as coordenadas de cada ponto na imagem e na carta. Os pontos de controle escolhidos encontravam-se bem distribuídos pela imagem, adotando-se para a transformação um polinômio do 1º grau.

Eastman (1992) indica que, em geral, pode-se utilizar polinômios de baixa ordem com resultados de qualidade razoável. Considera ainda que um polinômio de 1º grau, embora necessite de um mínimo de 3 pontos de controle

para a solução do problema, necessitará na prática de, no mínimo, duas vezes esse valor para que os resultados sejam aceitáveis. Destaca ainda que os pontos de controle devem estar muito bem distribuídos ao longo da área de estudo. Por isso e também pelos resultados da dissertação de mestrado da autora em Viadana (1989) não houve dúvida na adoção de um polinômio de 1º grau.

A tabela 3.2 apresenta os 27 pontos perfeitamente identificados nas imagens Landsat-TM, banda 4, SPOT-P e nas cartas topográficas, acompanhados de suas coordenadas UTM (E,N). Vinte e dois pontos correspondem a pontos de controle utilizados no geo-referenciamento das imagens SPOT e TM sendo que desses, 5 pontos correspondem a pontos identificados somente em uma das duas imagens, isto devido a tais imagens apresentarem resoluções diferentes e canais espectrais não coincidentes. A figura 3.2 ilustra a distribuição dos pontos de controle na área de estudo.

Devido a relativa facilidade na determinação dos pontos de controle nas imagens orbitais optou-se por trabalhar com uma grande quantidade de pontos para que se garantisse ao máximo a rigidez do produto gerado. Tomando por referência o trabalho de Sanchez (1987), apresentado no item 2.7.2, optou-se por 22 pontos de controle para realizar o geo-referenciamento da imagem SPOT e 19 para a imagem TM.

Tabela 3.2: Coordenadas UTM dos pontos de controle utilizados no georeferenciamento das imagens SPOT e TM.

Pontos de Controle	E (km)	N (km)	Imagem SPOT	Imagem TM
01	757.325	7.466.495	X	
02	758.644	7.466.186	X	
03	762.570	7.466.155	X	X
04	764.600	7.464.990	X	X
05	757.867	7.464.247	X	X
06	759.398	7.464.298	X	X
07	761.945	7.463.904	X	
08	762.149	7.463.913	X	X
09	764.852	7.463.922	X	X
10	758.544	7.462.420	X	
11	764.398	7.461.860	X	X
12	764.769	7.461.939	X	X
13	757.825	7.460.713	X	X
14	758.680	7.461.038	X	X
15	760.882	7.460.838	X	X
16	762.032	7.460.960	X	
17	757.563	7.459.055	X	X
18	758.830	7.459.170	X	X
19	760.345	7.458.932	X	X
20	763.542	7.459.300	X	X
21	763.968	7.458.032	X	X
22	757.462	7.461.570	X	X
23	764.302	7.465.927		X
24	757.060	7.459.238		X
25	760.318	7.460.469		X
26	764.481	7.465.395		X
27	762.262	7.459.770		X

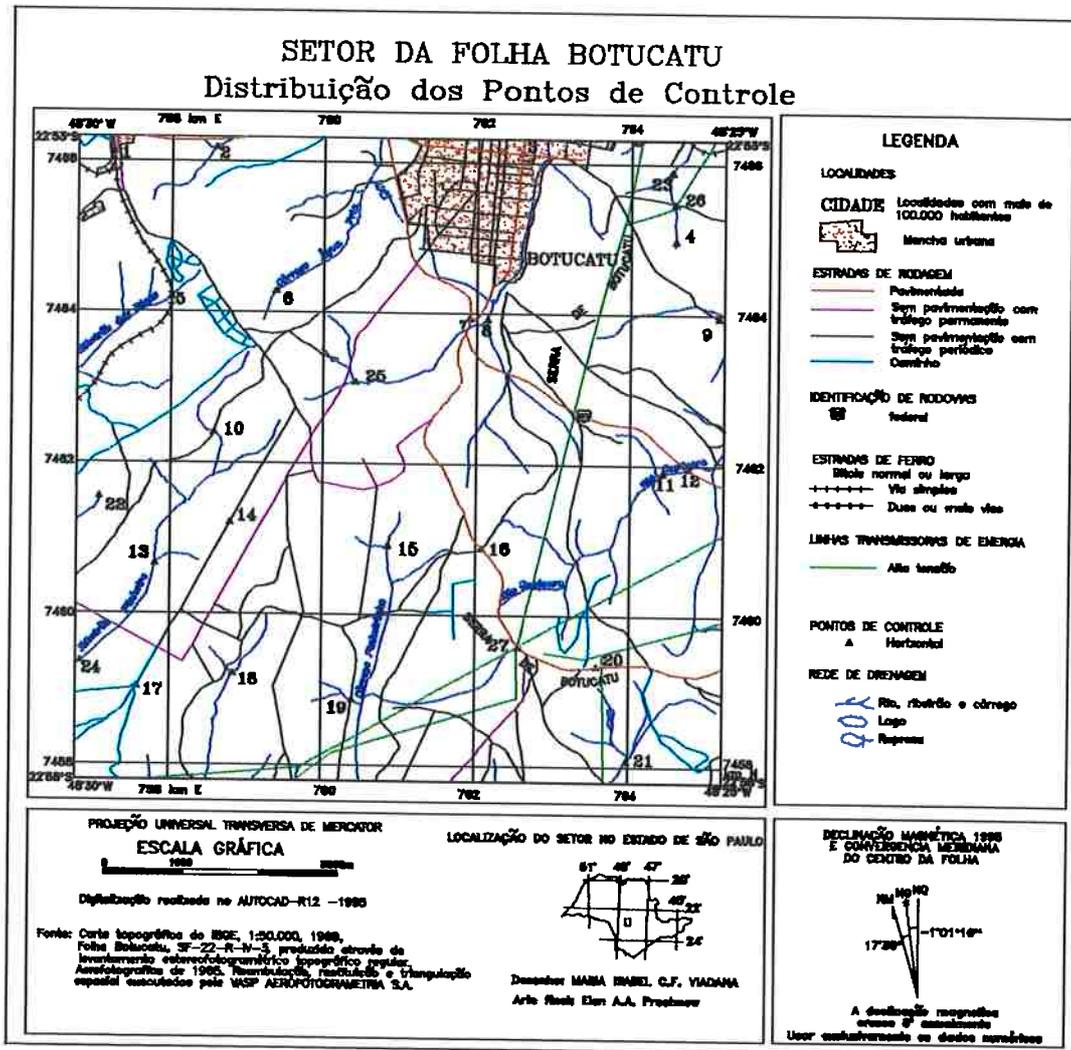


Figura 3.2: Distribuição dos pontos de controle na área de estudo.

Como atividade complementar realizou-se um teste utilizando seis pontos de controle no geo-referenciamento da imagem SPOT-P, o mínimo recomendado por Eastman (1993). Tomou-se por base a experiência de Meneguette (1987), que utilizou 4 pontos de controle no referenciamento das fotos e imagens orbitais obtendo excelentes resultados na análise da qualidade geométrica dos produtos gerados em seu trabalho. Para este teste foram escolhidos 6 pontos de controle distribuídos na imagem, cujas coordenadas de imagem e de tela são apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Coordenadas de imagem (SPOT-P) e de carta para o geo-referenciamento complementar

Pontos de controle	$x_{\text{imagem}}$ (mm)	$y_{\text{imagem}}$ (mm)	E (m)	N (m)
01	676,69	1555,33	757.290	7.466.395
02	1.411,35	1.584,32	764.619	7.465.468
03	1410,35	958,59	763.545	7.459.295
04	717,67	928,60	756.710	7.460.130
05	886,59	1.233,47	758.840	7.462.870
06	1435,34	1.264,46	764.310	7.462.255

Os resultados obtidos relativos à qualidade geométrica do geo-referenciamento através de 22 pontos e 6 pontos de controle são apresentados no capítulo 5. Pode-se adiantar que ambos são satisfatórios.

### 3.2.4. Realce e Escolha das Melhores Imagens

Como o objetivo deste trabalho é a atualização de feições lineares correspondentes às vias de transporte e linhas de transmissão e à mancha urbana, o tratamento e a escolha das imagens buscou destacar ao máximo estes objetos. De acordo com as obras consultadas e com o material disponível para a realização deste trabalho, optou-se por analisar três imagens sendo a primeira delas a SPOT-HRV, modo pancromático. Esta escolha deveu-se à sua alta resolução espacial e à sua qualidade geométrica que permitem excelente identificação de feições construídas pelo homem. Sequencialmente, realizaram-se testes de atualização através de imagem híbrida obtida da transformação IHS e de imagens resultantes

da Análise por Componentes Principais, ambas envolvendo as imagens SPOT e TM.

Como a identificação de feições é tarefa difícil e o nível de integridade de conteúdo para a escala 1:50.000 é exigente em função do que se pode extrair das imagens de satélite, considera-se importante estudar técnicas que melhorem o conteúdo informativo identificável visualmente.

#### **a) Imagem SPOT Pancromática (SPOT-P)**

Inicialmente analisou-se o histograma de frequência de níveis de cinza da Imagem SPOT pancromática bruta, figura 3.3, cujos valores de média, desvio-padrão são 36,98 e 9,68 respectivamente.

Observando-se a figura 3.3 e considerando-se os 256 níveis de cinza disponíveis, nota-se que a cena apresenta baixo contraste. Através de um realce linear de contraste, com os valores de corte inferior e superior em 15 e 76 pode-se elevar valores de nível de cinza das estradas não pavimentadas sem saturar a área urbana. Para realizar a escolha destes limites foram analisados os valores de nível de cinza de uma amostra de pontos de controle correspondentes às feições de interesse. As figuras 3.3 e 3.4 apresentam as fotos das imagens SPOT-P bruta e realçada acompanhadas dos histogramas, respectivamente.

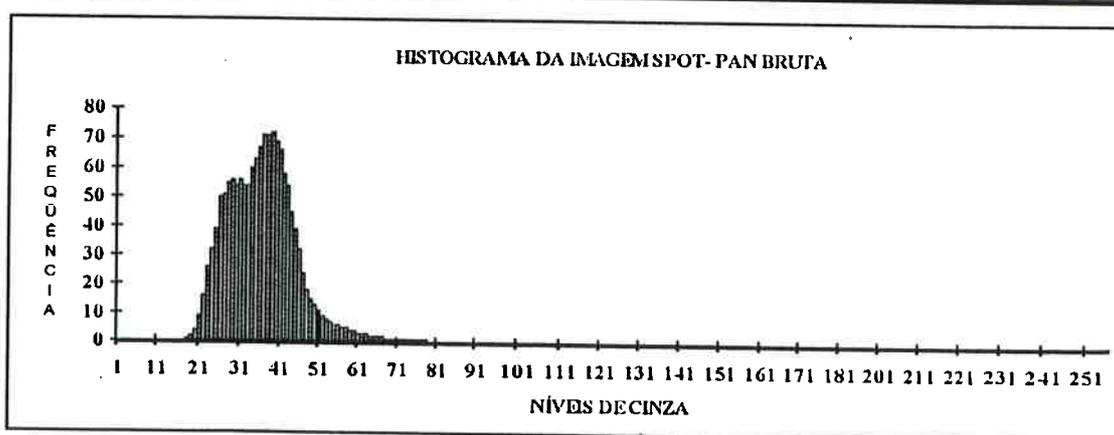
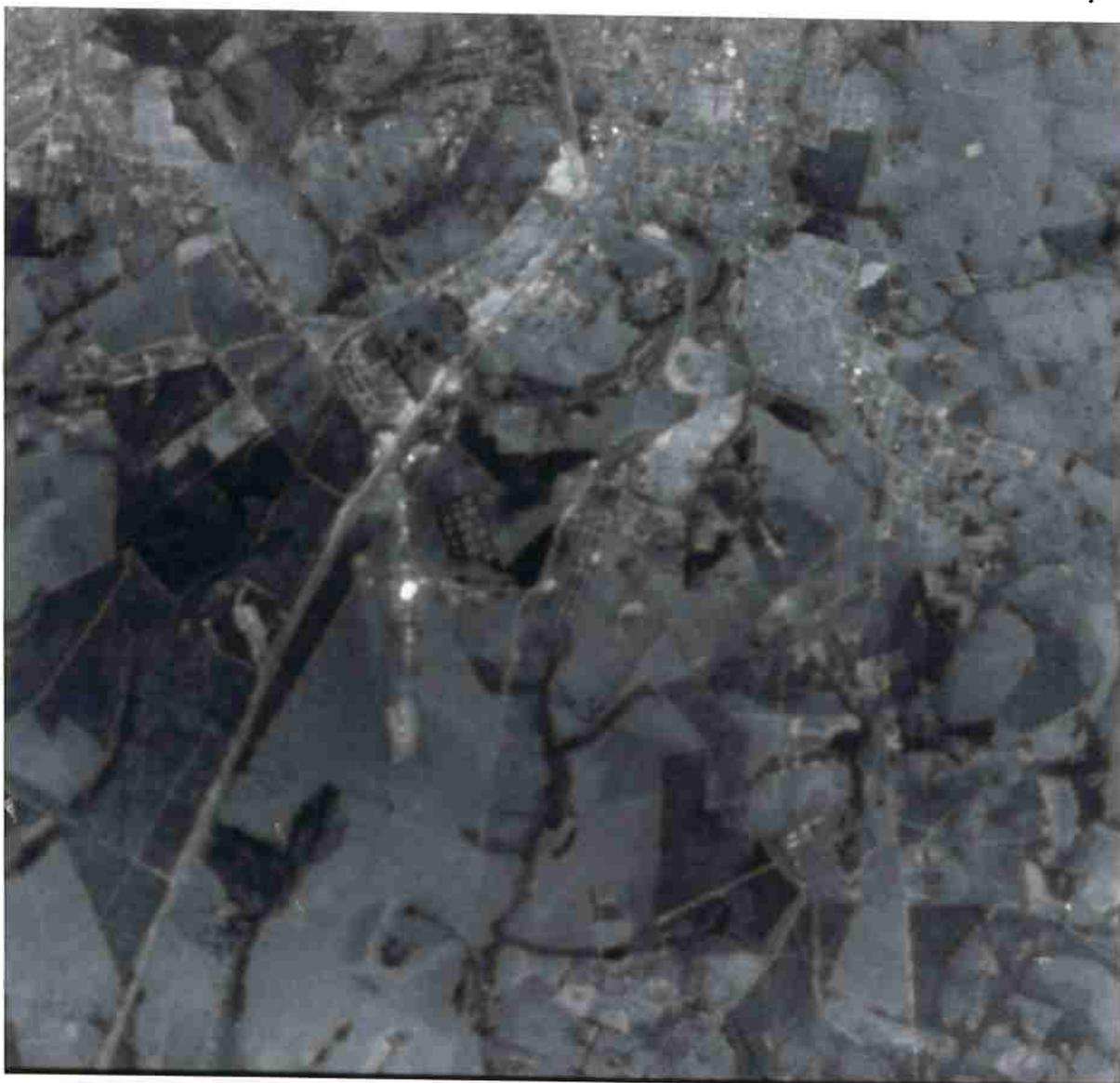


Figura 3.3: Imagem SPOT-P bruta e histograma de frequência

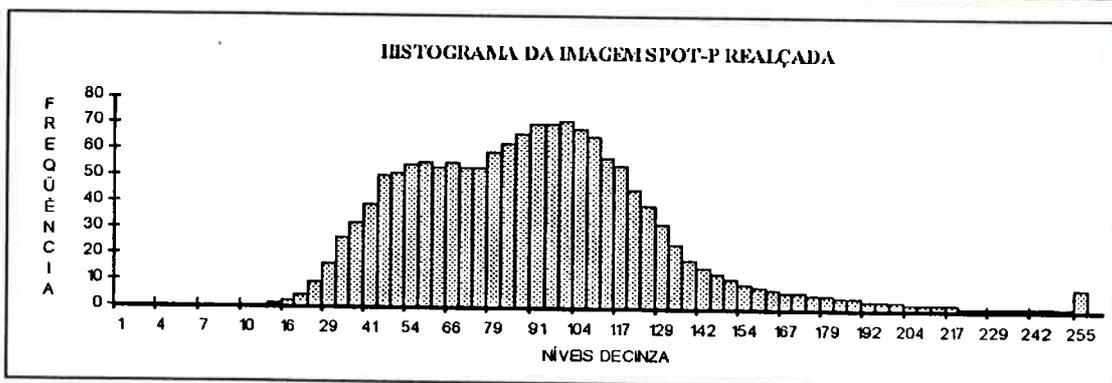


Figura 3.4: Imagem SPOT-Pan realçada e histograma de freqüência.

### b) Imagem resultante da Hibridação das Landsat TM e SPOT-P

A técnica de hibridação de imagens produzidas por diferentes sensores visa gerar uma imagem de melhor resolução espacial, associada a uma maior resolução espectral. A transformação IHS (*Intensity, Hue, Saturation*) foi a técnica escolhida para realizar a hibridação da Imagem SPOT-P com bandas da imagem TM tomando por referência os trabalhos de Sanchez (1987), Pinto (1991) e Chavez (1991).

O procedimento adotado corresponde, inicialmente, à determinação da matriz de correlação entre as bandas SPOT e TM (Tabela 3.4), acompanhada de análise visual das imagens, as quais possibilitaram a escolha das três melhores bandas TM para a aplicação da transformação para o espaço IHS. Posteriormente, efetuou-se a transformação inversa, do espaço IHS para o espaço original RGB (*Red, Blue, Green*) substituindo a componente I (Intensidade) pela banda SPOT-P, resultando portanto numa composição colorida com resolução espectral correspondente às 3 bandas TM e com resolução espacial equivalente a SPOT-pancromática, de 10 metros no terreno.

Adotou-se como primeira etapa da preparação das imagens a uniformização da resolução espacial das imagens envolvidas realizando ampliação por replicação de pixels. Assim, as imagens Landsat-TM, que apresentam uma resolução espacial de 30m (1 pixel = 30m x 30m) foram alteradas para apresentarem resolução de 10m (resolução da imagem SPOT-pancromática). No IDRISI, esta operação foi realizada através da função EXPAND, que possibilita a geração de uma nova imagem expandida através de um fator de expansão que, neste caso, é de 3 vezes.

Tabela 3.4: Matriz de correlação entre as bandas SPOT-P e TM 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Matriz de correlação	PAN	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-7
PAN	1,0	0,756061	0,779660	0,759571	0,366640	0,639727	0,703442
TM-1	0,756061	1,0	0,948932	0,932391	0,364807	0,815407	0,887682
TM-2	0,779660	0,948932	1,0	0,957676	0,452608	0,843334	0,902872
TM-3	0,759571	0,932391	0,957676	1,0	0,299717	0,802118	0,915567
TM-4	0,366640	0,364807	0,452608	0,299717	1,0	0,485893	0,336812
TM-5	0,639727	0,815407	0,843334	0,802118	0,485893	1,0	0,912652
TM-7	0,703442	0,887682	0,902872	0,915567	0,336812	0,912652	1,0

Observando-se os valores da matriz de correlação entre a imagem SPOT e as seis bandas TM notou-se que a banda 4 do sensor TM foi a que apresentou menor correlação com as demais bandas, considerando-se assim que esta banda deveria ser incluída na transformação IHS. Todas as demais bandas, apresentaram grande correlação entre si.

Considerando-se que em função da data da tomada, época do ano, topografia do local imageado e das condições do sensor no momento do imageamento respostas diferentes podem ser obtidas e levando-se também em conta que a escolha de uma melhor imagem pode variar em função da experiência do intérprete e do objetivo da interpretação, optou-se por realizar testes com as bandas TM em busca da melhor imagem resultante da Transformação IHS. Visando atender aos objetivos de atualização propostos neste trabalho optou-se por aplicar a transformação para as composições mais usuais das bandas do sensor TM, dentre as quais encontram-se as adotadas por Meneguette (1987) e por Sanchez (1987) e, através de um conjunto único de feições de controle, procedeu-se a avaliação visual das imagens. Esta considerou os principais elementos de interpretação: cor ou tonalidade, textura e forma. As feições de controle corresponderam a objetos facilmente identificados nas imagens que, embora não discriminados, podem ser observados na figura 3.5, apresentada mais adiante neste capítulo. As vinte feições de controle são divididas em classes:

- a) Área Urbana: - área urbana densamente edificada;  
- área urbana com ocupação esparsa;
- b) Ferrovia: - ferrovia em setor urbanizado;  
- ferrovia sobre extenso viaduto;  
- ferrovia em ponte sobre rio;
- c) Estrada Pavimentada: - trecho da rodovia Castelinho;  
- trecho da rodovia Marechal Rondon;  
- trecho de estrada Variante da Serra de Botucatu;
- d) Estrada Sem Pavimentação: - trecho da estrada Mandacarú;  
- trecho de estrada próxima ao loteamento e ferrovia;
- e) Caminho: - trecho de caminho próximo a estrada Mandacarú;  
- trecho de caminho ao lado da rodovia Castelinho;  
- trecho de caminho próximo a loteamento e ferrovia;
- f) Linha de Transmissão de energia: - alta tensão ao lado da sub-estação;  
- alta tensão ao lado da estrada Aracatu;

- g) Rede de Drenagem: - trecho do Córrego Pinheirinho;
  - trecho do Córrego Aracatu;
  - trecho de drenagem na folha Botucatu III;
- h) Represa: - represa em afluente do Córrego Pinheirinho;
  - represa no Clube dos Bancários, próxima à ferrovia.

As composições escolhidas para a realização da transformação IHS, com as bandas introduzidas na seqüência Vermelho, Verde e Azul (RGB) foram TM-321, TM-432, TM-543, TM-743, TM-435 e TM-437.

Antes de aplicar as transformações realizou-se a equalização dos histogramas fazendo com que, em cada transformação, todas as bandas envolvidas tivessem a mesma média. Desta forma, de acordo com Pinto (1991), realizou-se um nivelamento do balanço dos níveis de cinza, buscando um maior equilíbrio entre as cores a elas associadas no espaço RGB. Como a tarefa de igualar as médias de todas as imagens pelo maior valor só poderia ser realizada de forma manual, utilizou-se a função SCALAR do IDRISI para proceder a adição de um valor constante à todos níveis de cinza das imagens que apresentassem médias menores.

Estando as imagens correspondentes a cada transformação com as mesmas médias, executou-se a transformação do espaço RGB para o espaço IHS (no IDRISI através da função COLSPACE) para as várias composições. Para cada uma das transformações surgiram três novas bandas correspondentes às componentes I, H e S respectivamente. Foram realizadas tentativas de realçar tais imagens para posterior aplicação da transformação inversa, conforme sugestão de Pinto (1991) e Crosta (1992) mas estas não geraram, ao final, composições coloridas RGB superiores às obtidas sem manipulação de contraste das imagens H e S. Devido a este fato optou-se por realizar a transformação inversa sem realce de tais bandas. A imagem SPOT-P, utilizada nas transformações inversas em substituição da banda I, sofreu o realce linear de contraste descrito em 3.2.3.a.

As tabelas 3.5 a 3.10 apresentam um resumo da avaliação das imagens híbridas resultantes da transformação IHS, considerando as classes das feições de controle.

Algumas considerações valem para todas as imagens avaliadas como:

a) só foi possível identificar as linhas de transmissão de energia em função da identificação da faixa de domínio, que normalmente aparece coberta com vegetação rasteira ou de médio porte;

b) a identificação dos caminhos estava diretamente vinculada a sua vizinhança sendo, na maioria das vezes, possível identificá-los devido ao contraste da vegetação que os circunda;

c) a rede de drenagem estava sempre associada a vegetação que a compunha, não sendo possível encontrar entre estas imagens, uma que possibilitasse excelente interpretação de rios e córregos;

d) nas tabelas que são apresentadas a seguir o ítem cor correspondeu a cor predominante da feição e não necessariamente a única, aparecendo algumas variações, principalmente nas feições que foram identificadas em função da vizinhança. Nestas mesmas tabelas não foi considerado o elemento textura para feições lineares, exceção feita para as linhas de transmissão de energia por serem identificadas pela faixa de domínio.

Tabela 3.5: Avaliação da imagem híbrida resultante das TM-321 e SPOT-P.

TM-321 + SPOT-P	Cor	Textura	Forma	Identificação
Áreas urbanas	cinza médio	rugosa	regular	boa
Ferrovias	cinza escuro	-	regular	ruim
Estradas pavimentadas	cinza claro	-	regular	média
Estradas sem pavimentação	cinza escuro	-	regular/irregular	ruim
Caminhos	cinza escuro	-	regular/irregular	ruim
Linhas transmissoras de energia	cinza claro	lisa	regular	ruim
Rede de drenagem	cinza escuro	rugosa	irregular	ruim
Represas e lagos	cinza escuro	lisa	irregular	péssima

Esta imagem apresenta-se muito próxima a SPOT-P, com predomínio de tons de cinza e pouco contraste entre as feições de interesse neste estudo. Grandes dificuldades ocorreram na identificação de ferrovia, caminhos, linhas de alta tensão e rede de drenagem sendo que esta imagem mostrou-se péssima para a identificação de corpos d'água como represas e lagoas. Destaca-se a dificuldade em diferenciar as estradas, todas em tons de cinza, o que dificultou a classificação das mesmas e a detecção dos caminhos.

Tabela 3.6: Avaliação da imagem híbrida resultante das TM-432 e SPOT-P.

TM-432 + SPOT-P	Cor	Textura	Forma	Identificação
Áreas urbanas	verde	rugosa	regular	boa
Ferrovias	cinza	-	regular	ruim
Estradas pavimentadas	ciano	-	regular	boa
Estradas sem pavimentação	cinza claro	-	regular	boa
Caminhos	cinza/vermelho	-	regular	média
Linhas transmissoras de energia	cinza	lisa	regular/irregular	média
Rede de drenagem	vermelho	rugosa	irregular	média
Represas	azul	lisa	irregular	excelente

A Tabela 3.6 apresenta a análise da imagem TM-432 que se mostrou superior a primeira imagem analisada (TM-321), com maior contraste entre as feições de interesse. A área urbana apareceu em tons de verde, possibilitando boa identificação. O mesmo aconteceu com as estradas pavimentadas e sem pavimentação. Apresentou dificuldades na identificação de caminhos, dificuldades essas que aumentaram quando da identificação da ferrovia. Destacou-se a excelente diferenciação dos corpos d'água nesta composição.

Tabela 3.7: Avaliação da imagem híbrida resultante das TM-543 e SPOT-P.

TM-543 + SPOT-P	Cor	Textura	Forma	Identificação
Áreas urbanas	lilás	rugosa	regular	boa
Ferrovias	lilás	-	regular	média
Estradas pavimentadas	azul	-	regular	média
Estradas sem pavimentação	cinza claro	-	regular	média
Caminhos	cinza/verde	-	regular/irregular	ruim
Linhas transmissoras de energia	cinza/verde	lisa	regular	média
Rede de drenagem	verde escuro	rugosa	irregular	ruim
Represas	azul	lisa	irregular	média

A tabela 3.7 apresenta a análise da imagem TM-543 que genericamente mostrou predominância de tons entre lilás e azul, o que dificultou a interpretação. Gerou confusão a delimitação e perfeita identificação de feições como estradas pavimentadas e represas sendo ainda considerada inadequada para a identificação da rede de drenagem e caminhos.

A imagem TM-435, tabela 3.8, mostra-se adequada para diferenciação de vegetação, dando portanto boas condições de interpretação da rede de drenagem. Ocorreu dificuldade na diferenciação entre represas e áreas urbanas e entre represas e estradas pavimentadas devido a todas estas feições apresentarem o verde como cor predominante.

Tabela 3.8: Avaliação da imagem híbrida resultante das TM-435 e SPOT-P.

TM-435 + SPOT-P	Cor	Textura	Forma	Identificação
Áreas urbanas	verde	rugosa	regular	boa
Ferrovias	cinza	-	regular	média
Estradas pavimentadas	verde	-	regular	média
Estradas sem pavimentação	cinza claro	-	regular	boa
Caminhos	cinza/azul	-	regular/irregular	média
Linhas transmissoras de energia	cinza/vermelho	lisa	regular	média
Rede de drenagem	vermelho	rugosa	irregular	boa
Represas	verde	média	irregular	média

Tabela 3.9: Avaliação da imagem híbrida resultante das TM-743 e SPOT-P.

TM-743 + SPOT-P	Cor	Textura	Forma	Identificação
Áreas urbanas	rosa	rugosa	regular	excelente
Ferrovias	rosa	-	regular	média
Estradas pavimentadas	lilás	-	regular	média
Estradas sem pavimentação	cinza claro	-	regular	boa
Caminhos	cinza/verde	-	irregular	ruim
Linhas transmissoras de energia	cinza/verde	lisa	regular	média
Rede de drenagem	verde escuro	rugosa	irregular	ruim
Represas	azul	lisa	irregular	boa

A imagem TM-743 (tabela 3.9) apresentou-se muito próxima a imagem TM-543, descrita anteriormente. A troca da banda 5 pela banda 7 do sensor TM solucionou o problema da delimitação de estradas pavimentadas e represas as quais, na última composição, apareceram com cores distintas. Notou-se ainda na imagem o predomínio das cores lilás e rosa, o que não prejudicou a identificação das áreas urbanas. Esta imagem não se mostrou adequada para a interpretação de caminhos e rede de drenagem.

Tabela 3.10: Avaliação da imagem híbrida resultante das TM-437 e SPOT-P.

TM-437 + SPOT-P	Cor	Textura	Forma	Identificação
Áreas urbanas	ciano	rugosa	regular	excelente
Ferrovias	cinza médio	-	regular	boa
Estradas pavimentadas	verde	-	regular	boa
Estradas sem pavimentação	cinza claro	-	regular	boa
Caminhos	cinza/rosa	-	regular/irregular	boa/média
Linhas transmissoras de energia	cinza/vermelho	lisa	regular	boa/média
Rede de drenagem	vermelho	rugosa	irregular	boa
Represas	verde	rugosa	irregular	boa

A imagem TM-437 (tabela 3.10) apresentou melhor distribuição de cores que as anteriores, possibilitando uma boa identificação e interpretação da maioria das feições de interesse. Mostrou-se excelente para a detecção das feições urbanas. Quanto aos caminhos e linhas de transmissão de energia, estes puderam ser identificados de forma boa a média.

Conforme as considerações acerca das imagens resultantes da transformação IHS, obtidas através de análise visual comparativa pode-se concluir que para os propósitos de atualização deste trabalho a imagem mais adequada foi a TM-437 que aparece na Figura 3.5. Após esta, a imagem TM-435 seria a escolhida para a realização do trabalho de atualização.

Torna-se importante destacar que houve dificuldade na identificação das feições relativas às ferrovias e linhas de transmissão de energia em praticamente todas as composições. Embora alguns trechos destas feições pudessem ser precisamente identificados, a dificuldade maior deveu-se à falta de continuidade das mesmas, limitação compreensível pois sabe-se que a identificação destas feições, nesta escala, ocorre somente através da interpretação do entorno das mesmas ou da faixa de domínio. Esta tarefa pode ser facilitada quando se dispõe da carta, ainda que desatualizada, em meio magnético. A superposição das imagens induz e facilita a percepção. Neste caso poder-se-ia considerar a carta topográfica em meio digital como ferramenta auxiliar da interpretação visual de imagens para fins de atualização.

### c) Imagem resultante da Análise por Componentes Principais (ACP)

Realizou-se neste trabalho a Análise por Componentes Principais com base na imagem SPOT-P e nas 6 bandas Landsat-TM disponíveis. Para realizar esta transformação imagens brutas foram utilizadas aplicando-se manualmente a equalização dos níveis de cinza, conforme descrito anteriormente. A matriz de correlação entre as bandas, obtida através da ACP, foi apresentada anteriormente na tabela 3.4 do item 3.2.4.b) e que serviu de base para uma primeira análise das bandas a serem escolhidas para a realização da transformação IHS. A tabela 3.11 apresenta a matriz variância/covariância para as bandas originais e a tabela 3.12 as porcentagens de variância, os auto-valores e os auto-vetores dos componentes principais.

Tabela 3.11: Matriz variância-covariância das imagens originais.

Var/Cov.	PAN	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-7
PAN	93,72	49,12	46,88	95,70	32,74	164,46	108,67
TM-1	49,12	46,29	40,59	82,77	23,37	150,31	97,69
TM-2	46,88	40,59	39,65	79,35	27,05	145,08	92,77
TM-3	95,70	82,77	79,35	173,51	39,49	287,94	196,45
TM-4	32,74	23,37	27,05	39,49	88,53	127,64	53,13
TM-5	164,46	150,31	145,08	287,94	127,64	759,43	411,63
TM-7	108,67	97,69	92,77	196,45	53,13	411,63	268,30

Tabela 3.12: Porcentagem de variância, auto-valores e auto-vetores dos componentes principais.

ACP	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
% Var.	76,67	11,89	6,18	3,06	1,21	0,65	0,35
auto-valor.	5,37	0,83	0,43	0,21	0,08	0,05	0,02
auto-vet. 1	0,351135	-0,062241	-0,823597	0,440478	-0,015653	-0,012041	-0,010352
auto-vet. 2	0,409326	-0,142933	-0,12009	-0,407596	-0,709903	-0,319503	-0,199244
auto-vet. 3	0,421350	-0,042027	-0,014779	-0,339009	0,052766	0,423090	0,723715
auto-vet. 4	0,410480	-0,209631	0,003658	-0,338485	0,534802	0,224772	-0,580034
auto-vet. 5	0,213172	0,948285	-0,057928	-0,146067	0,094719	-0,129508	-0,069842
auto-vet. 6	0,389136	0,102624	0,464100	0,569915	-0,277124	0,435049	-0,178283
auto-vet. 7	0,407747	-0,142157	0,320261	0,253390	0,348174	-0,679857	0,251653

Os auto-vetores, segundo Eastman (1992), correspondem às equações de transformação da análise por componentes principais. Os auto-valores expressam a média de variância apresentada por cada componente e aparecem em porcentagem na segunda linha da tabela 3.12. Observando-se estes valores nota-se que o 1º componente apresentou 76,67% da variância total enquanto o 2º componente apresentou 11,89% e o 3º apresentou 6,18%. O somatório das variâncias dos 3 primeiros componentes equivaleu a 94,74%, o que correspondeu a quase totalidade de informação das 7 bandas originais.

A tabela 3.13 apresenta o grau de correlação entre os novos componentes e as bandas originais.

Tabela 3.13: Correlação entre os componentes principais e as bandas originais

Grau de Correlação	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
PAN	0,813449	-0,056783	-0,541795	0,203725	-0,004552	-0,002567	-0,001610
TM-1	0,948257	-0,130400	-0,007900	-0,188417	-0,206453	-0,068126	-0,030992
TM-2	0,976113	-0,038341	-0,009722	-0,156795	0,015345	0,090213	0,112571
TM-3	0,950931	-0,191250	0,002406	-0,156552	0,155530	0,047927	-0,090222
TM-4	0,493842	0,865135	-0,038107	-0,067557	0,027546	-0,027614	-0,010864
TM-5	0,901484	0,093625	0,305304	0,263591	-0,080593	0,092763	-0,027731
TM-7	0,944599	-0,129693	0,210680	0,117195	0,101256	-0,144963	0,039413

Analisando-se os valores de correlação entre os componentes principais e as bandas originais notou-se que o 1º componente principal (CP1) apresentou alta correlação com a quase totalidade de bandas originais, com exceção somente da TM-4. A maior correlação encontrou-se entre o 1º componente principal (CP1) e a imagem original TM-2, esta última equivalente à porção verde do espectro. Já o 2º componente principal (CP2) apresentou-se altamente correlacionado com a banda TM-4, equivalente ao infra-vermelho próximo e o 3º componente (CP3) mostrou-se mais correlacionado com a imagem SPOT pancromática. Nota-se que a correlação no caso do CP3 e SPOT-PAN, apresentou valor negativo, indicando que as imagens envolvidas apresentaram uma significativa correlação inversa, isto é, quando o valor do pixel de uma é positivo, o da outra é proporcionalmente negativo. O 4º componente principal (CP4) assim como os demais apresentam valores baixos de correlação com as imagens originais. As figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 apresentam as imagens correspondentes aos componentes principais 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

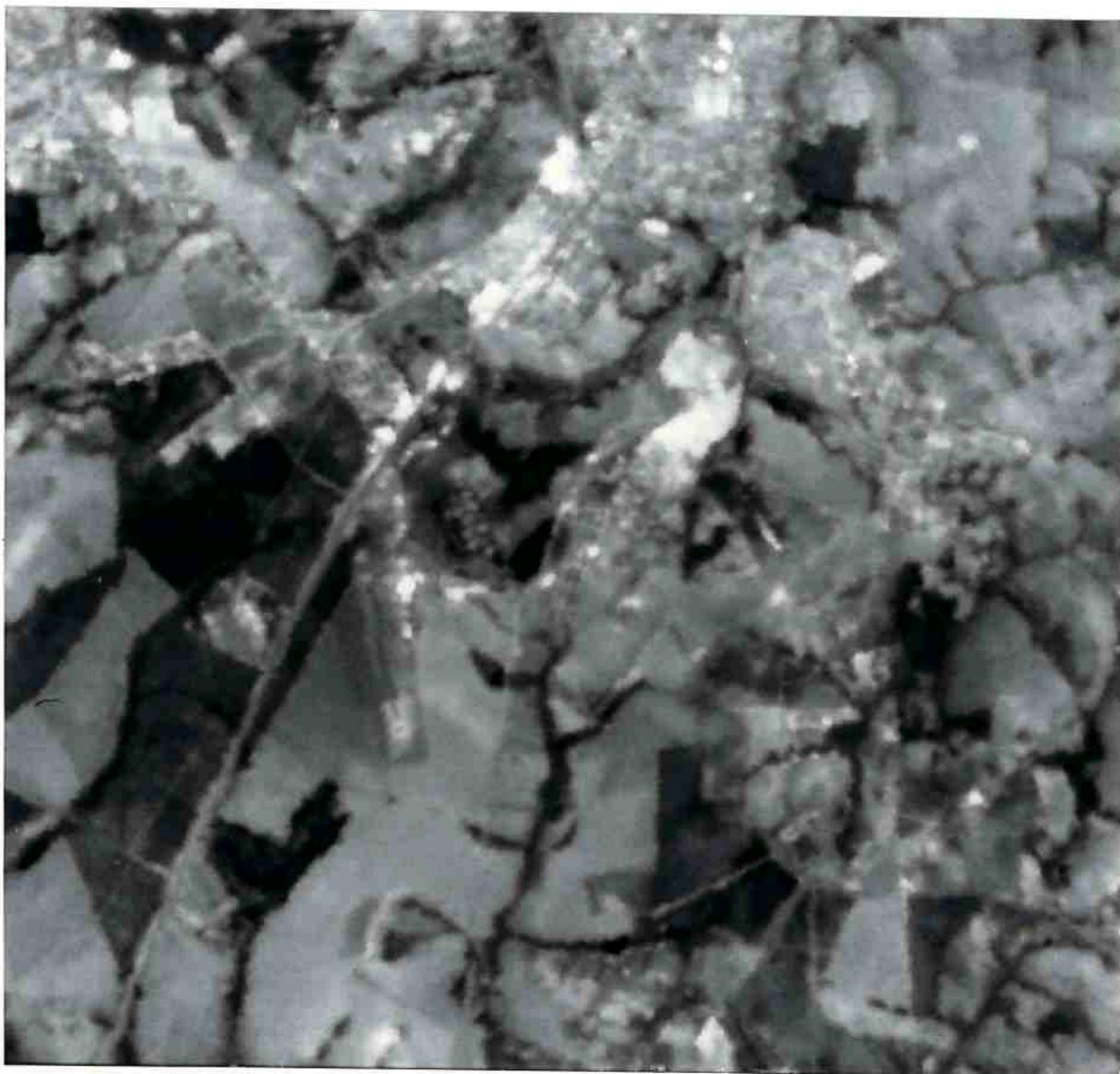


Figura 3.6: 1<sup>º</sup> Componente Principal.

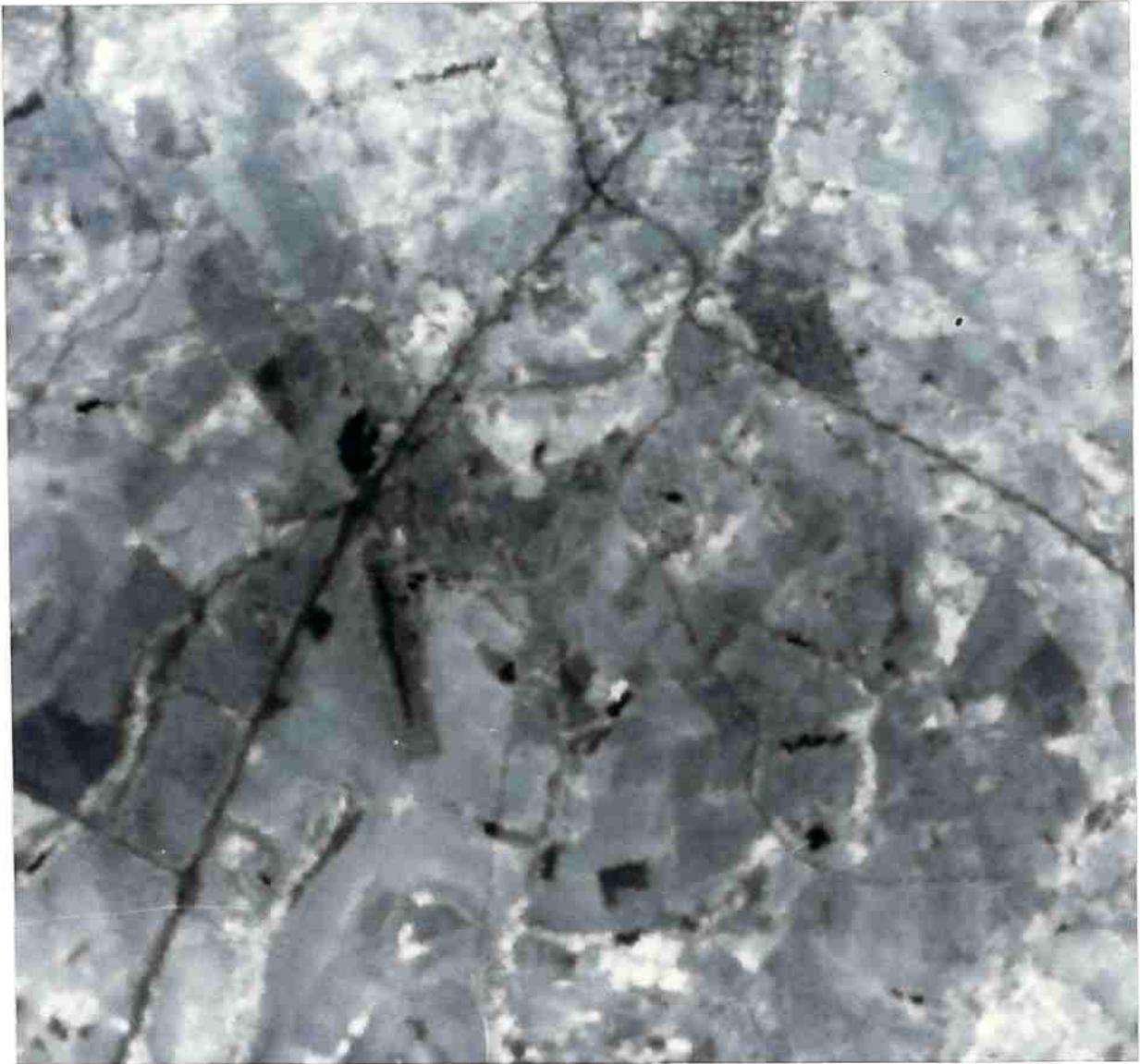


Figura 3.7: 2<sup>a</sup> Componente Principal.



Figura 3.8: 3<sup>o</sup> Componente Principal.

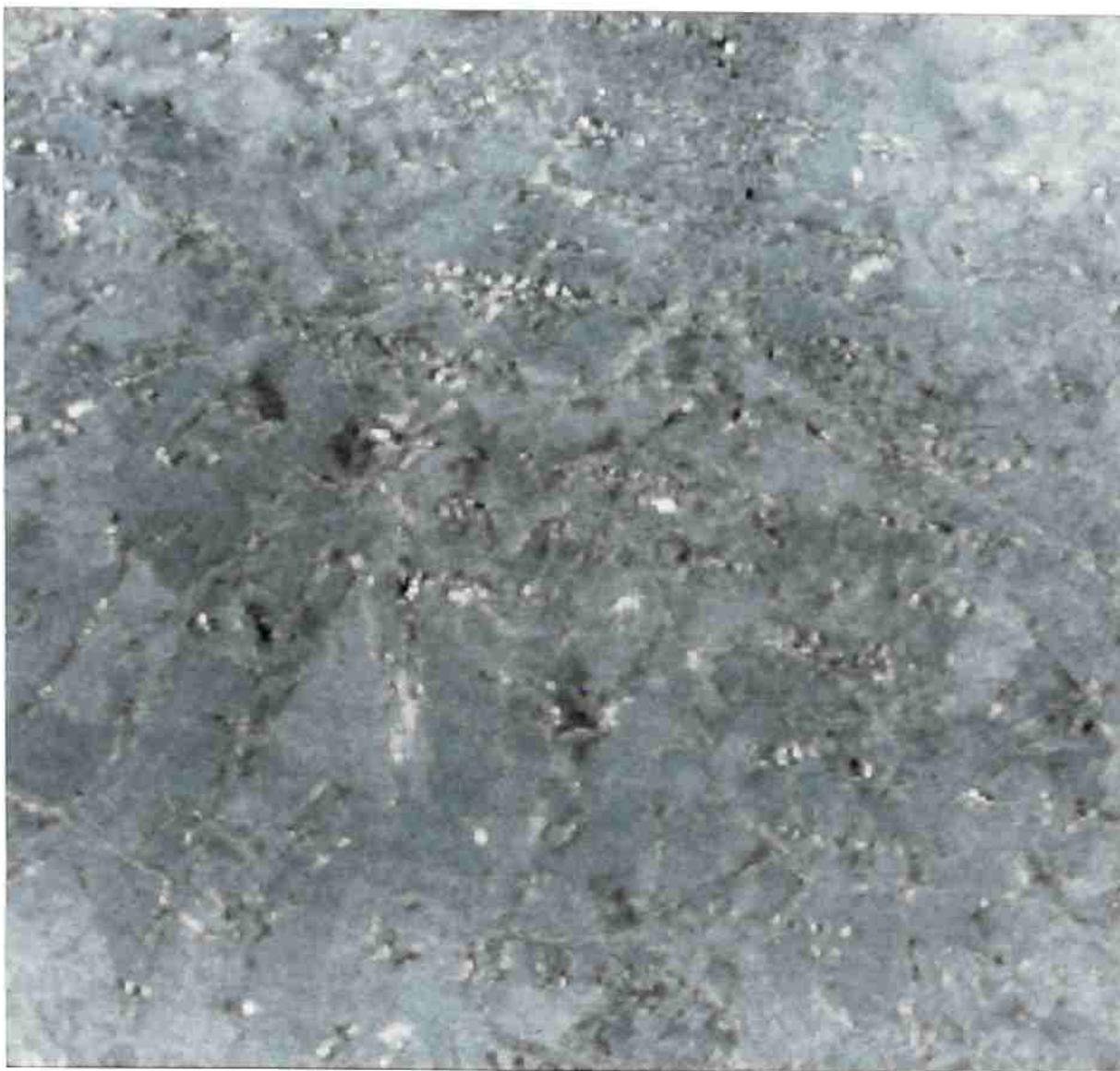


Figura 3.9: 4<sup>o</sup> Componente Principal.

A figura 3.6 corresponde ao 1<sup>o</sup> componente principal que detem a quase totalidade de informação distribuída pelas imagens originais, mas sua observação e análise atenta conclui que para os objetivos deste trabalho, nada de novo acrescentou ao já obtido com a imagem SPOT-P ou com a imagem híbrida

(IHS). Tanto este componente quanto o 2º apresentam imagens pouco nítidas, o que dificulta a identificação visual de detalhes da malha viária e da rede de drenagem. Em função destes fatores optou-se por não utilizá-los diretamente na interpretação visando a atualização cartográfica.

A figura 3.7 apresenta o 2º componente com destaque para as vias pavimentadas e a ferrovia (canto esquerdo) em tons de cinza escuro, contrastando com a vizinhança que aparece em cinza claro. Esta imagem sofreu realce linear de contraste nos limites -380 e 380 respectivamente. Tal imagem foi utilizada somente na diferenciação das estradas pavimentadas e ferrovia para a elaboração da legenda definitiva.

A figura 3.8 apresenta o 3º componente principal, que aparece quase como um negativo da imagem SPOT pancromática e que possibilitou a identificação das estradas e arruamentos, permitindo assim que a atualização destas feições fosse bastante enriquecida. Antes de efetuar a atualização aplicou-se um aumento linear de contraste desta imagem com limites -400 e 300 respectivamente. Após realizar a atualização de todas as feições de interesse, utilizou-se o 2º componente principal (CP2) para classificar estradas pavimentadas e a ferrovia.

O 4º componente principal (CP4), apresentado na figura 3.9 ilustra a perda de qualidade dos componentes de maior valor para fins de detecção das feições de interesse neste trabalho. Ruídos e informações não correlacionadas são mais freqüentes para os últimos componentes.

Tentou-se gerar composições coloridas utilizando-se os três primeiros componentes principais sem que se alcançasse resultado superior ao obtido interpretando-se individualmente o 3º componente, descrito anteriormente. Em função deste fato optou-se por descartar o uso de tais composições.

Em resumo, adotou-se para a tarefa de atualização o 3º componente principal (CP3) sendo as informações classificatórias relativas a ferrovia, estradas e arruamentos pavimentados extraídos do 2º componente principal (CP2).

### 3.2.5. Digitalização em Tela e Edição das Minutas de Atualização

Realizou-se a digitalização das feições de interesse através do módulo de digitalização que consta da função COLOR A do IDRISI. Deste modo, visualizava-se a imagem geo-referenciada e acionava-se o módulo de digitalização, opção LINE, para o registro das novas feições. Um valioso recurso adicional era a possibilidade de visualizar sobre a imagem, o arquivo vetorial correspondente à

carta original, repetindo-se a operação de ligar e desligar a carta original. Este recurso facilitou e em certos casos induziu a detecção das feições antigas. Ao final da operação o sistema solicitava o nome do novo arquivo vetorial gerado.

A digitalização de todas as feições identificáveis foi realizada utilizando as imagens orbitais como pano de fundo. Através da visualização simultânea da imagem em estudo e das feições da carta topográfica original procedeu-se à eliminação das feições antigas não identificadas quando da atualização. Esta eliminação foi feita com o intuito de analisar comparativamente o desempenho de cada imagem na execução da atualização. A verificação da existência ou não destas feições só aconteceu com o trabalho de campo.

Os arquivos vetoriais gerados foram exportados para o Autocad R.12, depois de conversão para o formato DXF. No Autocad foram inseridos em arquivo DWG já existente, contendo as feições correspondentes à carta digitalizada. Estas feições exportadas apresentaram-se no AutoCAD como entidades linhas, sendo necessária a transformação para polilinhas. Esta transformação foi necessária porque no Autocad as medidas automáticas de comprimento e área, dados importantes para a análise dos resultados, só são possíveis quando o objeto é uma polilinha. Esta operação é bastante demorada e os critérios para a atribuição das polilinhas são na maioria das vezes subjetivos, baseando-se na experiência do intérprete com a área de estudo e com este tipo de trabalho.

Além disso, foram feitas as devidas correções como o fechamento de figuras e conexões através do prolongamento de polilinhas e eliminação de trechos excedentes, problemas muito comuns. Isto se deve ao fato do sistema IDRISI apresentar um módulo de digitalização em tela bastante limitado, não apresentando maiores recursos de edição de dados.

Desta forma foram geradas novas cartas denominadas Minutas de Atualização que apresentam exclusivamente a informação de escritório, sem verificação de campo. Estas minutas, além dos planos de informação (PI) originais já apresentados no item 3.2.1., possuem os dados atualizados contidos nos seguintes PI's:

ATUALCID - feições novas correspondentes à área urbana;

ATUALESTR - feições novas correspondentes às estradas pavimentadas e arruamentos pavimentados;

ATUALNPAV - feições novas correspondentes às estradas não pavimentadas, incluindo nestas as estradas com tráfego permanente, periódico e caminhos;

ATUALFER - feições novas relativas às ferrovias;

ATUALTEN - feições novas relativas às linhas de transmissão de energia;

REPETIDAS - feições identificadas na imagem e que já existiam na carta topográfica original. Este plano contém as feições digitalizadas no IDRISI, que possuem uma correspondente idêntica na carta digitalizada;

ALTERADAS - feições da carta original que foram substituídas por novas identificadas na imagem como por exemplo uma estrada que tenha seu traçado alterado em determinado trecho. Também aparece neste plano de informação as feições da carta original que não puderam ser identificadas. Estas últimas só puderam ser consideradas inexistentes após verificação de campo. É importante destacar que feições que tiveram alteração na classificação não foram consideradas neste PI. Assim, uma estrada originalmente sem pavimentação que foi interpretada como pavimentada foi transferida do PI correspondente a estradas não pavimentadas (NAOPAVIM, TRAFPERIO ou CAMINHOS) para o PI correspondente a estradas pavimentadas atualizadas (ATUALESTR).

Esta distribuição em planos de informação facilita muito a análise dos resultados obtidos conforme se poderá observar no capítulo 5. As minutas de atualização foram complementadas e alteradas em função das informações extraídas das cartas topográficas do IGC (1978) e da verificação de campo, conforme se apresenta nos próximos itens.

### 3.2.6. Verificação Preliminar das Minutas de Atualização

A verificação preliminar das Minutas de Atualização fazendo uso das cartas topográficas do IGC, escala 1:10.000, datadas de 1978, foi uma alternativa encontrada para diminuir e otimizar a tarefa posterior de verificação de campo. Sendo as jornadas de campo demoradas e onerosas, buscou-se com esta alternativa a diminuição do trabalho de campo através de uma verificação prévia, em gabinete, das informações contidas nas minutas. Para que isso fosse possível buscou-se cartas topográficas mais recentes que a carta original. As cartas topográficas do IGC, baseada em fotografias aéreas de 1977, com reambulação em 1977 e 1978 apresentaram uma atualização de cerca de 12 anos com relação a carta topográfica do IBGE (a carta original em 1:50.000 basearam-se em

fotografias aéreas de 1965). Além disso, a escala 1:10.000 possibilitou maior detalhamento das feições de interesse, fazendo com que estas cartas se tornassem importantes fontes de informação para a verificação das minutas. Esta etapa enriqueceu significativamente a análise do potencial das imagens orbitais utilizadas com respeito ao conteúdo informativo, conforme mostra o capítulo 5 mas, caso não estivessem disponíveis, a metodologia continuaria válida somente requisitando maior quantidade de viagens ao campo.

O procedimento adotado para a verificação preliminar das minutas envolveu primeiramente a montagem de um mosaico de fotocópias reduzidas das 6 cartas topográficas do IGC que cobrem a área de estudo. Através de lápis colorido foram destacadas todas as feições de interesse que compunham a legenda das cartas topográficas (estradas pavimentadas, estradas sem pavimentação, ferrovias, etc). A escala aproximada adotada para o mosaico foi 1:30.000.

Paralelamente realizou-se a ampliação das minutas de atualização (originalmente na escala 1:50.000) para a escala 1:30.000. As minutas ampliadas foram impressas em material transparente (acetato), de forma que estas pudessem ser superpostas ao mosaico das cartas do IGC.

Tendo-se em mãos o mosaico das cartas e as minutas em material transparente pode-se verificar as feições atualizadas e as alterações ocorridas registradas nas cartas de 1978, assim como, com o apoio desses dados, incluir nas minutas de atualização as feições não detectadas previamente. Com este procedimento pode-se verificar trechos de rios interpretados como estradas sem pavimentação, trechos de cercas interpretados como caminhos e a diferenciação das linhas de alta e baixa tensão. As feições não detectadas foram incluídas nas minutas em material transparente, através de caneta hidrográfica colorida. Obviamente, tratou-se de uma verificação preliminar, cujo conteúdo foi anotado no próprio material transparente para posterior verificação em campo.

Caso cartas desse tipo, relativamente recentes e em escala maior, não estiverem disponíveis será necessário buscar alternativas como fotos aéreas mais recentes porventura existentes, a encomenda de fotos aéreas (por exemplo fotos tiradas de ultraleve), etc. Se nenhuma dessas alternativas for viável, o trabalho de campo será maior, mas a metodologia continua válida.

### 3.2.7. A Verificação de Campo

De posse das minutas em material transparente (na escala 1:30.000) previamente verificadas com respeito às cartas de 1978 e com as cartas topográficas do IGC, partiu-se para a verificação de campo. A verificação preliminar descrita no item anterior facilitou em muito o trabalho de campo pois uma porção significativa das feições que geravam dúvidas tiveram uma solução preliminar, sujeita a checagem de campo. Desta forma o trabalho de campo tornou-se mais ágil e objetivo.

Foram realizados ao todo seis sessões de trabalho de campo em dias diferentes. A primeira considerou as feições antigas, tendo seido checadas estradas, ferrovias e redes de transmissão de energia. As viagens posteriores trataram da verificação das feições que apresentaram interpretação conflitante entre as cartas de 1978 e as minutas de atualização bem como a confirmação de feições coincidentes em ambas as fontes.

Nestes trabalhos de campo verificou-se também a classificação das estradas sem pavimentação, subdividindo as novas estradas em estradas sem pavimentação com tráfego permanente, periódico e caminhos. Quanto à diferenciação entre estradas pavimentadas com tráfego permanente e periódico considerou-se como fatores determinantes a conservação das vias, a presença de acostamento, de canais de escoamento de água, de cascalho, o movimento de carros e caminhões nas vias e possíveis sinais de uma manutenção periódica. Os arruamentos urbanos sem pavimentação foram classificados juntamente com as estradas sem pavimentação com tráfego periódico. Para a classificação dos caminhos considerou-se a dificuldade ou impossibilidade de trânsito de carros, a presença de erosão nas vias e a falta de manutenção das mesmas. Quanto às linhas transmissoras de energia, pode-se através do trabalho de campo, confirmar a diferenciação já presente nas cartas topográficas do IGC, entre linhas de alta e baixa tensão. As feições não identificadas na minuta, principalmente pequenos caminhos, foram checadas no campo para posterior busca na imagem orbital.

### 3.2.8. A Interpretação Final

De posse da verdade de campo registrada nas minutas em transparência, partiu-se para a visualização, no IDRISI, das imagens orbitais sobre

as quais superpuseram-se as minutas de atualização, sob a forma de arquivos vetoriais importados do AutoCAD.

O objetivo desta fase do trabalho foi o de complementar a interpretação inicialmente realizada tendo-se agora o conhecimento da verdade de campo. Esta poderia ser chamada de atualização induzida na qual o intérprete, tendo o conhecimento de campo da existência da feição no terreno, busca sua identificação na imagem. A técnica foi aplicada com significativo sucesso, fazendo com que se aumentasse muito o conteúdo informativo da minuta atualizada. O conteúdo relativo à todas as feições, mas principalmente aos caminhos, teve uma super-ambudância de informação quando se propõem uma atualização na escala 1:50.000, como é o caso deste trabalho. Este nível de detalhamento foi mantido nas cartas atualizadas finais para que se pudesse avaliar o potencial das imagens estudadas para a tarefa de detecção de alterações e atualização.

Desta interpretação final surgiram as cartas topográficas atualizadas contendo, além dos níveis de informação já apresentados, os seguintes referentes as verificações preliminar e de campo:

PAVFIM: Estradas e arruamentos pavimentados finais;

NAOPAVFIM: Estradas sem pavimentação com tráfego permanente finais;

TRAFPERFIM: Estradas sem pavimentação com tráfego periódico finais;

CAMINHOFIM: Caminhos finais;

TENSAOFIM: Linhas de alta tensão finais;

BAIXATEN: Linhas de baixa tensão;

NAOESTRADAS: Outras feições como rios e cercas interpretadas como estradas ou caminhos.

NAOTENSÃO: Outras feições interpretadas como linhas de transmissão de energia.

### 3.3. Teste relativo à Dependência de Cena

Quando da realização das etapas deste trabalho relativas a escolha e realce das imagens orbitais para a realização da atualização, levantou-se uma questão referente à escolha das imagens. A questão era: Mudando-se a área de estudo as imagens escolhidas (por apresentarem os melhores resultados) seriam estas mesmas? Ou ainda, escolhendo-se outro setor das mesmas imagens originais e submetendo-o às mesmas técnicas de realce, a qualidade visual obtida seria a mesma?

Tentando responder a estas questões introduziu-se este teste preliminar escolhendo um setor vizinho ao estudado, de menor dimensão, cobrindo parte do setor nordeste da cidade de Botucatu e uma área dos arredores da cidade contendo predominantemente pastagem, um pouco de cultivo de cana-de-açúcar, reflorestamento e restos de vegetação natural alterada. Embora em menor quantidade, este setor possuía a maioria dos tipos de feição que compunham o setor escolhido para o desenvolvimento da tese (com exceção das estradas pavimentadas).

A dimensão da área teste era de aproximadamente 6.000m x 4.000m sendo o setor original de aproximadamente 8.500m x 8.400m. A área teste apresentava algumas nuvens que mascaravam pequenos setores da imagem.

O procedimento adotado foi exatamente o mesmo já descrito anteriormente neste capítulo. Escolhido o setor da imagem, aplicou-se o georeferenciamento utilizando-se 6 pontos de controle bem distribuídos pela cena. Realizou-se o recorte definitivo uniformizando as dimensões das imagens SPOT e TM e efetuou-se o realce das imagens.

Para realizar o realce da imagem SPOT-P optou-se pela análise prévia de seu histograma e aplicou-se o realce linear de contraste com limites de corte nos níveis de cinza 15 e 70. A figura 3.10 apresenta a imagem SPOT-P realçada para o setor equivalente à área teste.

Para a realização da transformação IHS foram escolhidas as bandas TM 4, 3 e 7, expandidas por replicação de pixels para que atingissem a mesma resolução da imagem SPOT-P. Posteriormente foram submetidas à equalização dos níveis de cinza, tendo como referência a maior média (TM-4 com média = 71,62). Aplicou-se então a transformação IHS e quando da operação inversa substituiu-se o Componente 1 pela imagem SPOT-P realçada, obtendo-se a imagem resultante conforme mostra a figura 3.11.

No caso da Análise por Componentes Principais realizou-se também a expansão de todas as bandas TM por replicação de pixels, seguida da equalização dos níveis de cinza tendo como referência a maior média (117,08). As Tabelas 3.14 e 3.15. apresentam respectivamente a Matriz Variância-Covariância e a Matriz de Correlação referentes à Análise por Componentes Principais.

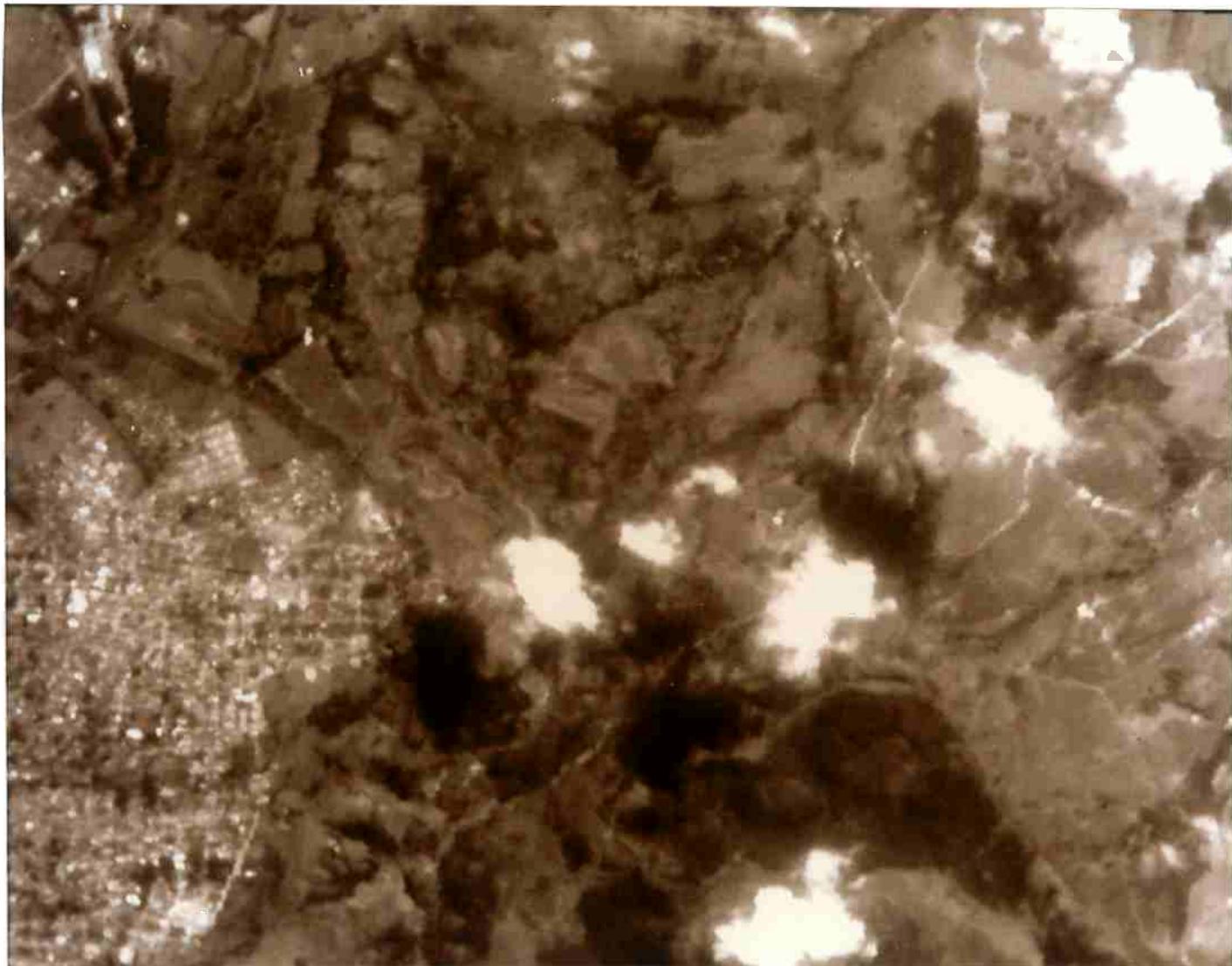


Figura 3.10: Imagem SPOT-P realçada para a área teste.

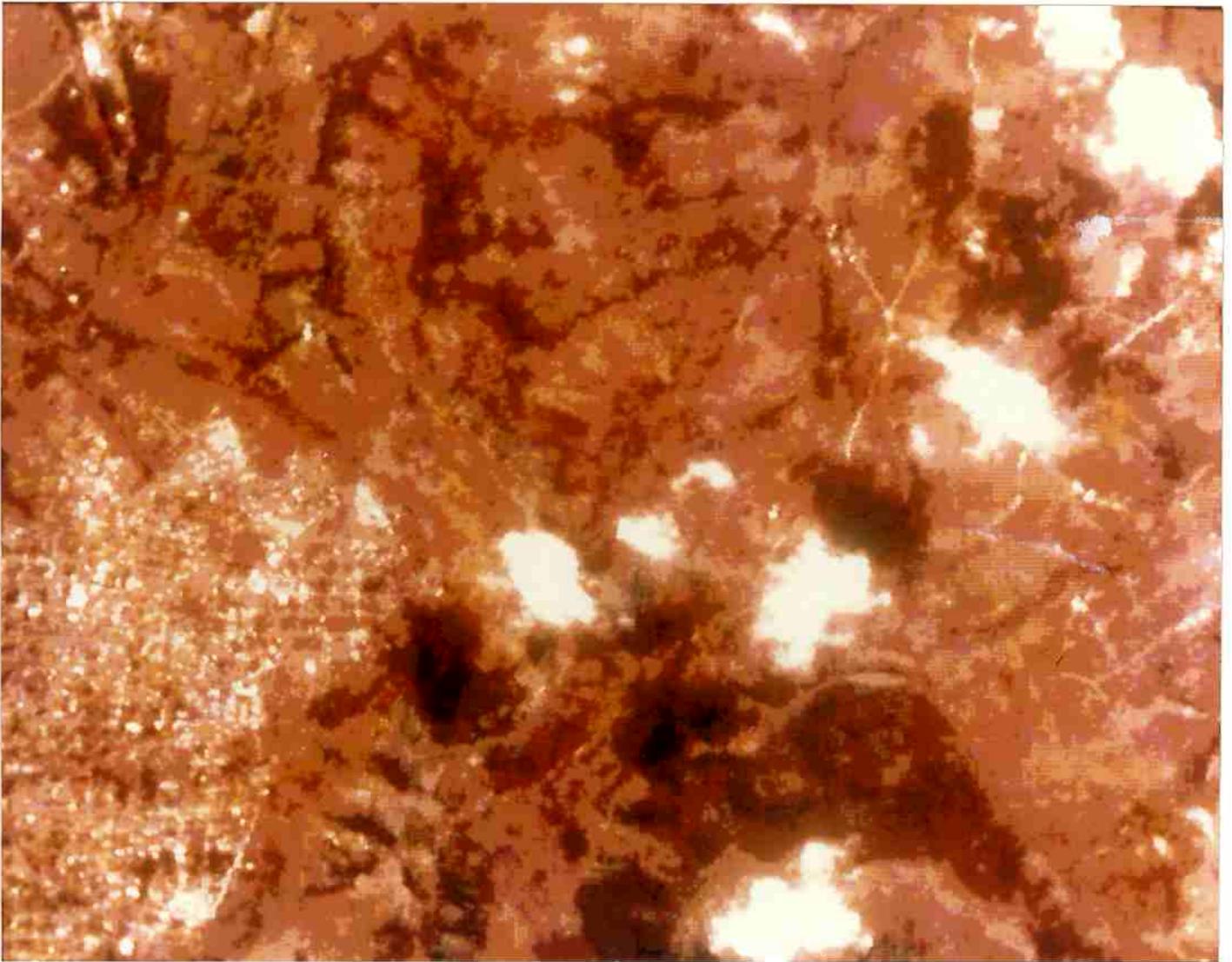


Figura 3.11: Imagem RGB-437 + SPOT-P resultante da Transformação IHS para a área teste

Tabela 3.14: Matriz Variância-Covariância da área teste

VAR/C OV	SPOT-P	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-7
SPOT-P	1.343,38	65,84	60,47	139,52	19,88	256,26	181,11
TM-1	65,84	33,31	26,78	55,30	11,63	113,67	68,96
TM-2	60,47	26,78	25,94	52,82	14,25	103,66	64,12
TM-3	139,52	55,30	52,82	128,55	1,32	195,28	147,78
TM-4	19,88	11,63	14,25	1,32	107,66	105,72	12,47
TM-5	256,26	113,67	103,66	195,28	105,72	633,47	299,82
TM-7	181,11	68,96	64,12	147,78	12,47	299,82	209,43

Tabela 3.15: Matriz de Correlação da área teste

VAR/ COV	SPOT-P	TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-7
SPOT-P	1,0	0,311236	0,323940	0,335736	0,052273	0,277785	0,341453
TM-1	0,311236	1,0	0,911008	0,845005	0,194225	0,782489	0,825604
TM-2	0,323940	0,911008	1,0	0,914841	0,269593	0,808742	0,869988
TM-3	0,335736	0,845005	0,914841	1,0	0,011203	0,684313	0,900631
TM-4	0,052273	0,194225	0,269593	0,011203	1,0	0,404827	0,083018
TM-5	0,277785	0,782489	0,808742	0,684313	0,404827	1,0	0,823162
TM-7	0,341453	0,825604	0,869988	0,900631	0,083018	0,823162	1,0

Seguem a Tabela 3.16 referentes às porcentagens de variância, auto-valores e auto-vetores e a Tabela 3.17 referente à correlação entre os componentes principais e as bandas originais.

Tabela 3.16: Porcentagem de variância, auto-valores e auto-vetores dos componentes principais para a área teste.

ACP	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
% Var.	64,96	15,48	12,11	3,64	2,36	0,97	0,47
auto-valor.	4,55	1,08	0,85	0,26	0,17	0,07	0,03
auto-vet. 1	0,197023	-0,202275	-0,958683	0,008959	-0,029311	-0,015792	0,002216
auto-vet. 2	0,436624	-0,024569	0,108107	-0,289735	-0,739244	0,390133	-0,120156
auto-vet. 3	0,452790	0,023961	0,093700	-0,331505	0,036106	-0,510974	0,642910
auto-vet. 4	0,431376	-0,245601	0,125391	-0,336806	0,430643	-0,164771	-0,641741
auto-vet. 5	0,120124	0,903084	-0,177718	-0,231713	0,213949	0,180150	-0,080670
auto-vet. 6	0,413993	0,245904	0,052017	0,725569	-0,205162	-0,381796	-0,226109
auto-vet. 7	0,440020	-0,146828	0,102216	0,335408	0,421945	0,617318	0,320560

Observando-se a tabela 3.16 notou-se que a porcentagem de variância do 1º componente é a mais alta (64,96%) mas não supera a obtida para a área de estudo original da tese (76,67%). Os componentes 2 e 3 apresentaram respectivamente 15,28% e 12,11% enquanto para a área original eram 11,89% e 6,18%. Somando-se as porcentagens de variância para os 3 primeiros componentes para a área teste obteve-se o valor de 92,55% o que correspondeu a quase totalidade da variância das 7 bandas utilizadas

Tabela 3.17: Correlação entre os componentes principais e as bandas originais para a área teste.

Grau de Correlação	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
PAN	0,420146	-0,210585	-0,882583	0,004524	-0,011917	-0,004107	0,000404
TM-1	0,931087	-0,025578	0,099525	-0,146321	-0,300563	0,101465	-0,021891
TM-2	0,965561	0,024945	0,086263	-0,167415	0,014680	-0,132892	0,117133
TM-3	0,919896	-0,255690	0,115437	-0,170092	0,175092	-0,042853	-0,116920
TM-4	0,256160	0,940184	-0,163610	-0,117018	0,086988	0,046853	-0,014697
TM-5	0,882827	0,256007	0,047888	0,366423	-0,083415	-0,099296	-0,041195
TM-7	0,938330	-0,152860	0,094102	0,169386	0,171556	0,160550	0,058403

Na análise da tabela 3.17 nota-se que o 1º componente principal só não tem alta correlação com as imagens SPOT-P e TM-4. A maior correlação deste

componente é com a banda 2 da imagem TM, correspondente a porção verde do espectro-eletromagnético. O 2º componente apresentou-se altamente correlacionado com a banda 4 da imagem TM, equivalente ao infra-vermelho próximo enquanto o 3º componente apresentou maior correlação com respeito a SPOT-P, o que corresponde a uma alta correlação inversa. Os demais componentes apresentam valores baixos de correlação com as imagens originais. De maneira geral, a correlação entre os componentes e as imagens originais para a área teste foram muito semelhantes a obtida com a área original do trabalho e no caso de atualização das feições de interesse, os mesmos componentes seriam os escolhidos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS OBTIDOS

Com base no que foi apresentado no capítulo anterior, seguem os resultados da atualização cartográfica, que são apresentados sob a forma gráfica e tabular, dos testes efetuados com as imagens orbitais. Nos sub-ítem correspondentes aparecem as feições novas e o setor da carta topográfica atualizada contendo todas as informações obtidas, inclusive os resultados da verificação de campo. Apresentam-se inicialmente os resultados parciais, obtidos do trabalho em gabinete e portanto sem verificação de campo, denominados **minutas de atualização**. No ítem subsequente são apresentadas as cartas topográficas atualizadas finais, com as complementações de campo.

#### 4.1. Minutas de Atualização

As Minutas de Atualização resultaram do trabalho de interpretação das imagens orbitais através do programa IDRISI 4.1, completando as informações existentes na carta original. A quantificação correspondente a medida de comprimentos e áreas foi realizada no AUTOCAD R12.

A legenda original da carta topográfica foi generalizada no caso da atualização das estradas não pavimentadas, que aqui englobam as feições relativas a estradas sem pavimentação com tráfego permanente, periódico e caminhos. Isto porque a interpretação das imagens não permitiu o detalhamento desta informação, procedimento este que posteriormente pode ser viabilizado com o trabalho de campo. Uma outra alteração importante foi realizada com respeito ao arruamento urbano. Como em algumas das imagens testadas foi possível a detecção do pavimento asfáltico, optou-se por alterar a legenda da carta original incluindo-se os arruamentos na categoria de estradas pavimentadas. Na carta original estes aparecem classificados como estradas sem pavimentação com tráfego periódico. Assim a

classe das estradas pavimentadas aparece na carta final como estradas e arruamentos pavimentados. De forma similar as estradas sem pavimentação com tráfego periódico englobam os arruamentos sem pavimentação.

A minuta de atualização compõe-se das feições novas somadas à feições antigas não alteradas. Da carta original foram extraídas as feições não identificadas e aquelas que sofreram alterações, seja na forma ou na classificação. Relacionando-se os itens da legenda com os planos de informação têm-se:

- Área urbana : ATUALCID;
- Estrada pavimentada: ESTRADAS + ATUALESTR;
- Estrada sem pavimentação: NAOPAVIM+TRAFPERIO+CAMINHOS+ ATUALNPAV;
- Estrada de ferro: FERROVIA + ATUALFER;
- Linha transmissoras de energia elétrica: TENSÃO + ATUALTEN.

Algumas considerações devem ser feitas com respeito a apresentação destes resultados:

a) o item correspondente ao número de feições apenas ilustra o número de polilinhas criadas para definir as feições estudadas. Como o critério para individualizar uma estrada (com continuidade ou não) foi subjetivo, uma vez que se baseou na experiência desta intérprete, as análises quantitativas não devem ser realizadas sobre estes valores numéricos. O objetivo de colocá-los aqui é o de ilustrar a magnitude da desatualização dos diferentes itens da legenda, devendo-se preferir os comprimentos totais como índice mais significativo;

b) a minuta de atualização é o resultado da soma das feições detectadas na carta topográfica digitalizada (figura 3.1) com as novas feições obtidas da atualização, excluindo-se as feições que não puderam ser identificadas. Assim:

$$\begin{aligned}
 \text{Minuta de Atualização} &= \text{Feições originais digitalizadas} \\
 &+ \\
 &\text{Feições Novas} \\
 &- \\
 &\text{Feições não identificadas}
 \end{aligned}$$

#### 4.1.1. Minuta de Atualização da Imagem SPOT Pancromática

Através da interpretação da imagem SPOT-P realçada foi possível a inclusão, na minuta de atualização, das feições novas que completaram um total de 345 feições entre as classes pré-estabelecidas conforme mostra a tabela 4.1, que relaciona o número de feições e os comprimentos ou área totais das mesmas.

Tabela 4.1: Número e comprimento/área totais das feições novas para SPOT-P.

SPOT-P	NÚMERO DE FEIÇÕES	COMPRIMENTO TOTAL DAS FEIÇÕES (m)	ÁREA TOTAL DAS FEIÇÕES (m <sup>2</sup> )
Áreas Urbanas	4	-	11.575.731
Estradas e Arruamentos Pavimentados	4	14.466	-
Estradas sem pavimentação	227	157.260	-
Ferrovias	1	603	-
Linhas transmissoras de energia	5	7.157	-
TOTAL	241	179.486	11.575.731

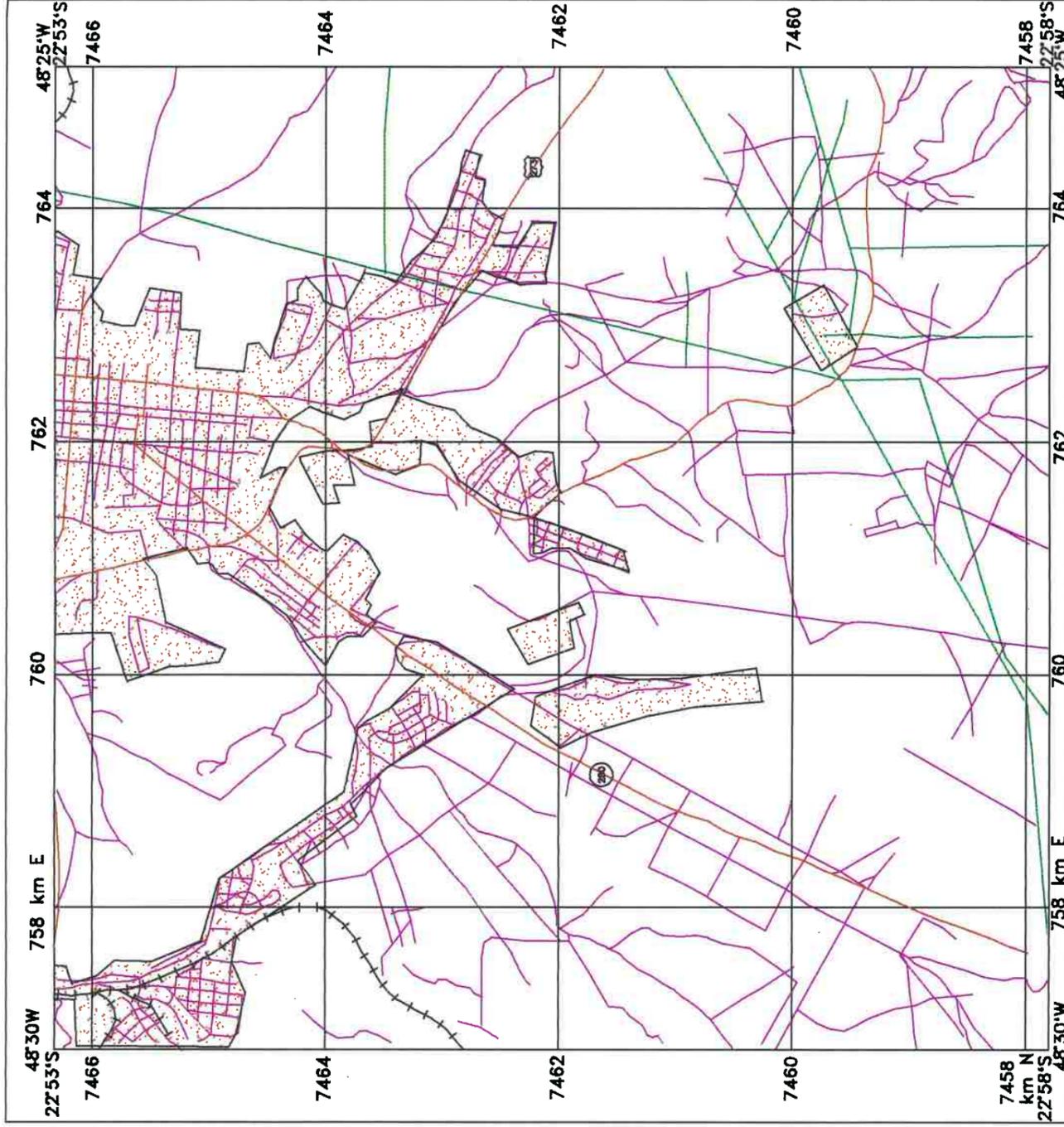
A minuta de atualização gerada através da imagem SPOT pancromática é apresentada na figura 4.1. A tabela 4.2 apresenta os valores de número e comprimentos/área do totais de feições da minuta de atualização.

Tabela 4.2: Número e comprimentos/área totais - Minuta de Atualização SPOT-P.

MINUTA DE ATUALIZAÇÃO SPOT-P	NÚMERO TOTAL DE FEIÇÕES	COMPRIMENTO TOTAL DAS FEIÇÕES (m)	ÁREA TOTAL DAS FEIÇÕES (m <sup>2</sup> )
Áreas Urbanas	4	-	11.575.731
Estradas e Arruamentos Pavimentados	8	30.538	-
Estradas sem pavimentação	319	268.075	-
Ferrovias	4	5.971	-
Linhas transmissoras de energia	10	30.270	-
TOTAL	345	334.854	11.575.731

# SETOR DA FOLHA BOTUCATU

Minuta de Atualização da Imagem SPOT - P



## LEGENDA

LOCALIDADES



Mancha urbana

ESTRADAS DE RODAGEM E ARRUAMENTOS

Pavimentados

Sem pavimentação

IDENTIFICAÇÃO DE RODOVIAS



federal



estadual

ESTRADAS DE FERRO

Bitola normal ou larga

Via simples

LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA

Alta tensão

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

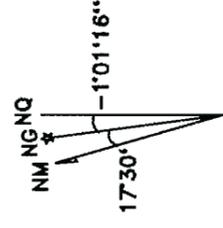
ESCALA 1:50.000



Digitalização realizada no AUTOCAD-R12 e IDRISI-4.1 em 1995.

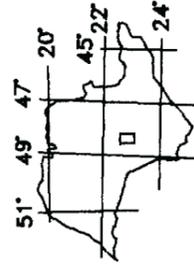
Fonte: Carta topográfica do IBGE, 1:50.000, 1969,  
Cartas topográficas do IGC, 1:10.000, 1978,  
Imagem SPOT-P, 1991

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1995  
E CONVERGÊNCIA MERIDIANA  
DO CENTRO DA FOLHA



A declinação magnética  
cresce 8' anualmente  
Usar exclusivamente os dados numéricos

LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO DE SÃO PAULO



Desenho: MARIA ISABEL C.F. VIADANA  
Arte final: Elen A.A. Prochnow

#### 4.1.2. Minuta de Atualização da Imagem Híbrida (IHS)

Através da interpretação da imagem resultante da fusão de imagens ou imagem híbrida obtida da transformação IHS aplicada a TM-437, bandas 3, 4 e 7 do sensor TM, cuja transformação inversa conteve a SPOT-P em substituição à banda I, juntamente com as bandas H e S.

Estas feições novas completam um total de 325 feições distribuídas entre as classes pré-estabelecidas conforme mostra a tabela 4.3, que relaciona o número de feições e os comprimentos ou área das mesmas.

Tabela 4.3: Número e comprimentos/área totais das feições novas para a imagem híbrida.

IMAGEM HÍBRIDA (IHS) TM-437+SPOT-P	NÚMERO DE FEIÇÕES	COMPRIMENTO TOTAL DAS FEIÇÕES (m)	ÁREA TOTAL DAS FEIÇÕES (m <sup>2</sup> )
Áreas urbanas	5	-	11.568.291
Estradas e Arruamentos Pavimentados	124	100.016	-
Estradas sem pavimentação	188	111.715	-
Ferrovias	não detectada	não detectada	-
Linhas transmissoras de energia	8	16.791	-
<b>TOTAL</b>	<b>325</b>	<b>228.522</b>	<b>11.568.291</b>

A tabela 4.4 apresenta os valores de número e comprimentos do totais das feições enquanto a minuta de atualização da imagem híbrida IHS é apresentada na figura 4.2.

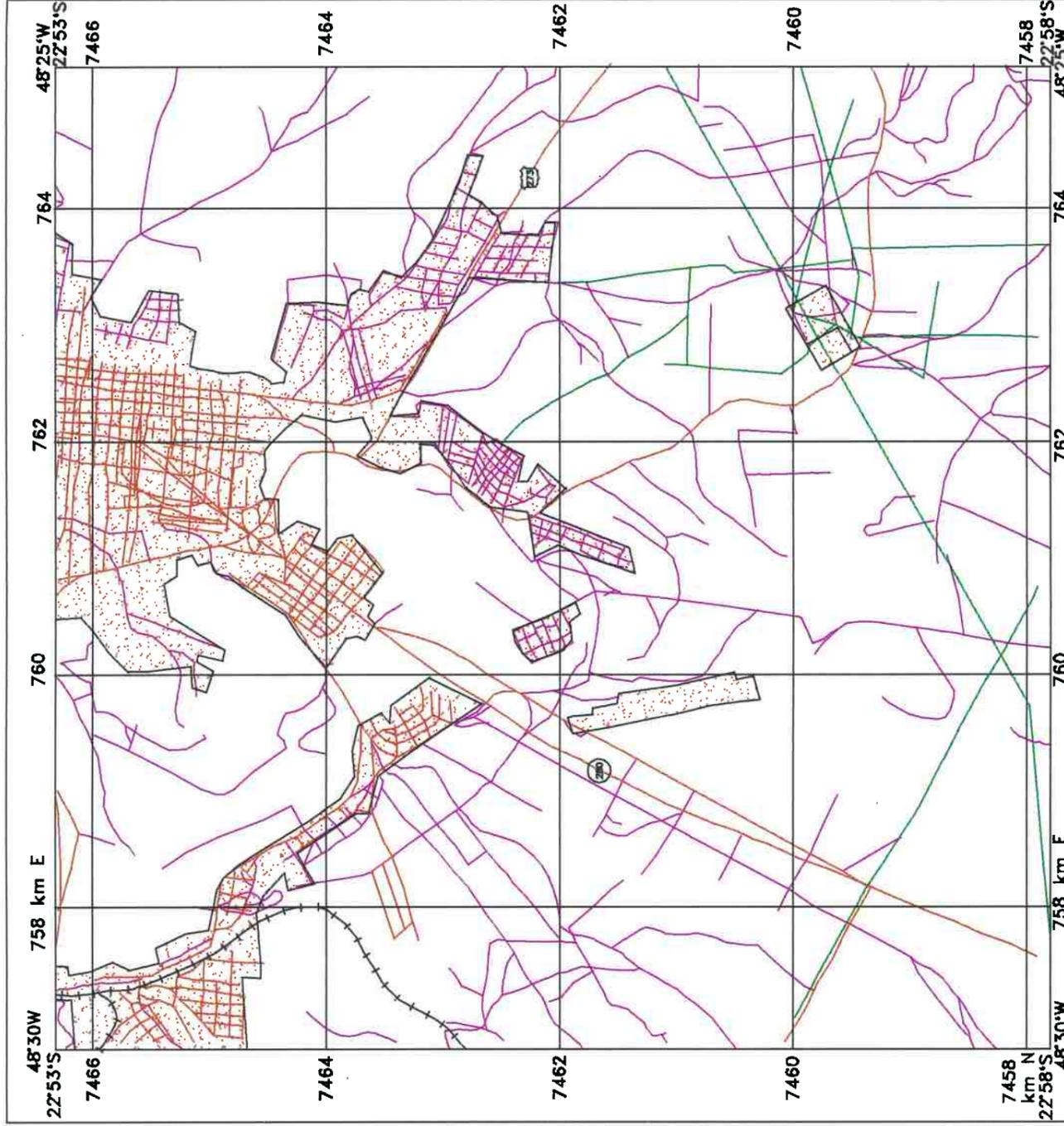
Tabela 4.4: Número e comprimentos/área totais - Minuta de Atualização IHS.

IMAGEM HÍBRIDA (IHS) TM-734 + SPOT-P	NÚMERO DE FEIÇÕES	COMPRIMENTO TOTAL DAS FEIÇÕES (m)	ÁREA TOTAL DAS FEIÇÕES (m <sup>2</sup> )
Áreas urbanas	5	-	11.568.291
Estradas e arruamentos pavimentadas	129	116.728	-
Estradas sem pavimentação	262	203.176	-
Ferrovias	2	4.831	-
Linhas transmissoras de energia	10	29.180	-
<b>TOTAL</b>	<b>408</b>	<b>353.915</b>	<b>11.568.291</b>

# SETOR DA FOLHA BOTUCATU

Minuta de Atualização da Imagem Híbrida

— IHS —



## LEGENDA

LOCALIDADES



Mancha urbana

ESTRADAS DE RODAGEM E ARRUAMENTOS

— Pavimentados

— Sem pavimentação

IDENTIFICAÇÃO DE RODOVIAS



federal



estadual

ESTRADAS DE FERRO

Bitola normal ou larga



Via simples

LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA

— Alta tensão

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

ESCALA 1:50.000

Digitalização realizada no AUTOCAD-R12 e IDRISI-4.1 em 1995.

Fonte: Carta topográfica do IBGE, 1:50.000, 1969,  
Cartas topográficas do IGC, 1:10.000, 1978,  
Imagem SPOT-P, 1991  
Imagem TM-Bandas 3, 4 e 7, 1991.

LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO DE SÃO PAULO

Desenho: MARIA ISABEL C.F. VIADANA  
Arte final: Elen A.A. Prochnow

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1995  
E CONVERGÊNCIA MERIDIANA  
DO CENTRO DA FOLHA

A declinação magnética  
cresce 8 anualmente

Usar exclusivamente os dados numéricos

#### 4.1.3. Minuta de Atualização da Análise por Componentes Principais

Das imagens resultantes da Análise por Componentes Principais (ACP), interpretou-se o 3º Componente Principal e realizou-se a complementação das informações relativas a estradas pavimentadas, arruamentos e ferrovias através do 2º Componente Principal. Deve-se lembrar que participaram da Análise por Componentes Principais a imagem SPOT-P e as seis bandas disponíveis Landsat-TM.

As feições novas completam um total de 351 feições distribuídas entre as classes pré-estabelecidas conforme mostra a tabela 4.5, que relaciona o número de feições e os comprimentos ou área totais das mesmas.

Tabela 4.5: Número e comprimentos/área totais das feições novas para ACP.

IMAGEM ACP	NÚMERO DE FEIÇÕES	COMPRIMENTO TOTAL DAS FEIÇÕES (m)	ÁREA TOTAL DAS FEIÇÕES (m <sup>2</sup> )
Áreas Urbanas	5	-	11.317.177
Estradas e Arruamentos Pavimentadas	64	57.639	-
Estradas sem pavimentação	270	186.246	-
Ferrovias	2	779	-
Linhas transmissoras de energia	10	16.140	-
TOTAL	351	260.804	11.317.177

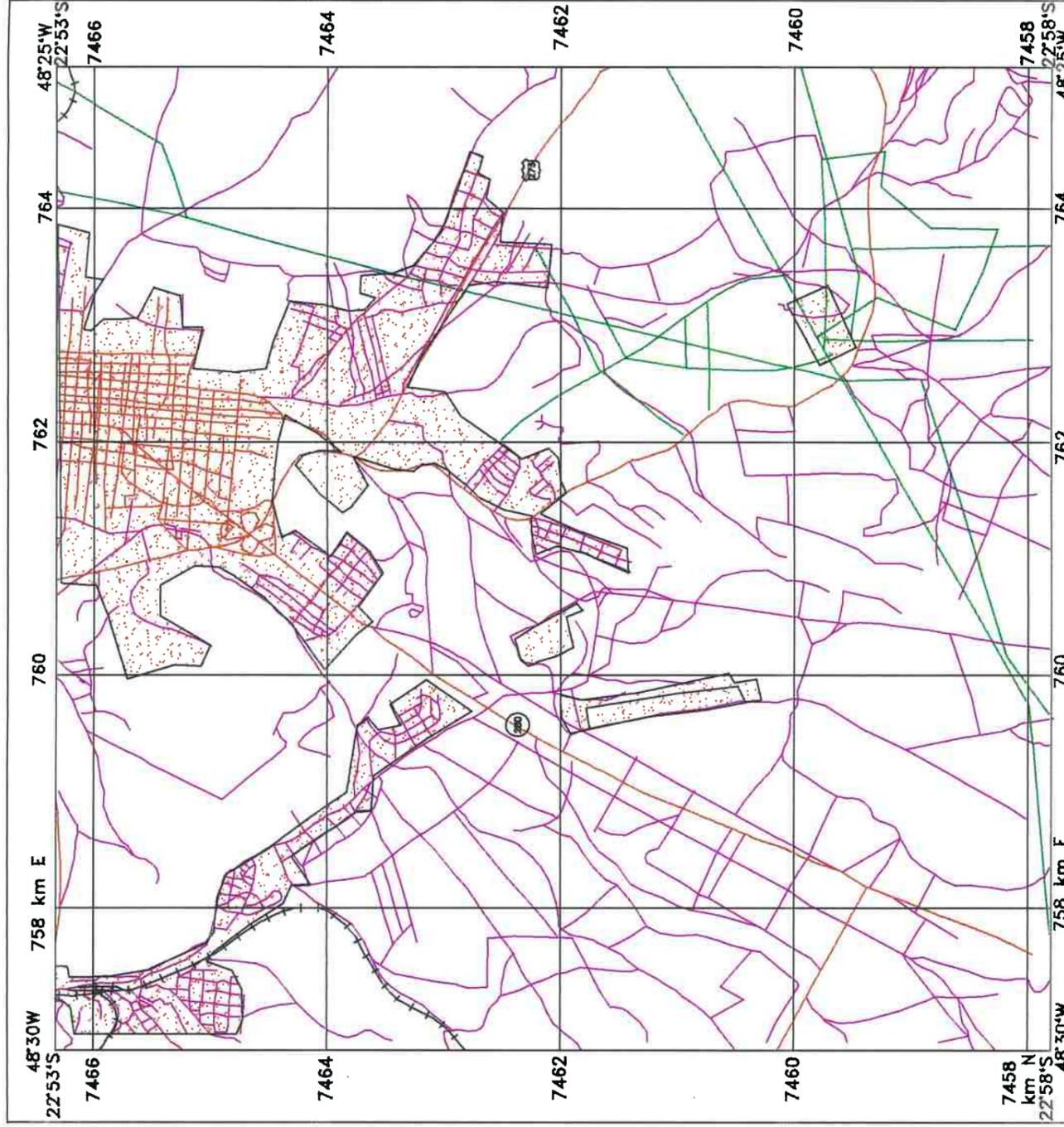
A minuta de atualização da imagem resultante da ACP é apresentada na figura 4.3.

A tabela 4.6 apresenta os valores de número e comprimentos do totais das feições da carta atualizada através da imagem resultante da Análise por Componentes Principais (ACP).

# SETOR DA FOLHA BOTUCATU

Minuta de Atualização da Imagem Componente 3

— ACP —



## LEGENDA

- LOCALIDADES**  
 Mancha urbana
- ESTRADAS DE RODAGEM E ARRUAMENTOS**  
 Pavimentados  
 Sem pavimentação
- IDENTIFICAÇÃO DE RODOVIAS**  
 federal  
 estadual
- ESTRADAS DE FERRO**  
 Bitola normal ou larga  
 Via simples
- LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA**  
 Alta tensão

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

**ESCALA 1:50.000**

Digitalização realizada no AUTOCAD-R12 e IDRISI-4.1 em 1995.

Fonte: Carta topográfica do IBGE, 1:50.000, 1969,  
 Cartas topográficas do IGC, 1:10.000, 1978,  
 Imagem SPOT-P, 1991  
 Imagem TM-Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, 1991.

LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO DE SÃO PAULO

Desenho: MARIA ISABEL C.F. VIADANA  
 Arte final: Elen A.A. Prochnow

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1995  
 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA  
 DO CENTRO DA FOLHA

A declinação magnética cresce 8' anualmente  
 Usar exclusivamente os dados numéricos

Tabela 4.6: Número e comprimentos/área totais - Minuta de Atualização ACP.

IMAGEM COMPONENTE 3 (ACP)	NÚMERO DE FEIÇÕES	COMPRIMENTO TOTAL DAS FEIÇÕES (m)	ÁREA TOTAL DAS FEIÇÕES (m <sup>2</sup> )
Áreas urbanas	5	-	11.317.177
Estradas e Arruamentos Pavimentadas	69	74.350	-
Estradas sem pavimentação	347	282.386	-
Ferrovias	5	6.147	-
Linhas transmissoras de energia	16	40.980	-
<b>TOTAL</b>	<b>442</b>	<b>403.863</b>	<b>11.317.177</b>

## 4.2. Cartas Topográficas Atualizadas

As Cartas Finais atualizadas resultaram da combinação das informações contidas nas minutas de atualização, das verificações através das cartas topográficas do IGC e dos trabalhos de campo.

### 4.2.1. Carta Topográfica Atualizada através da Imagem SPOT-P

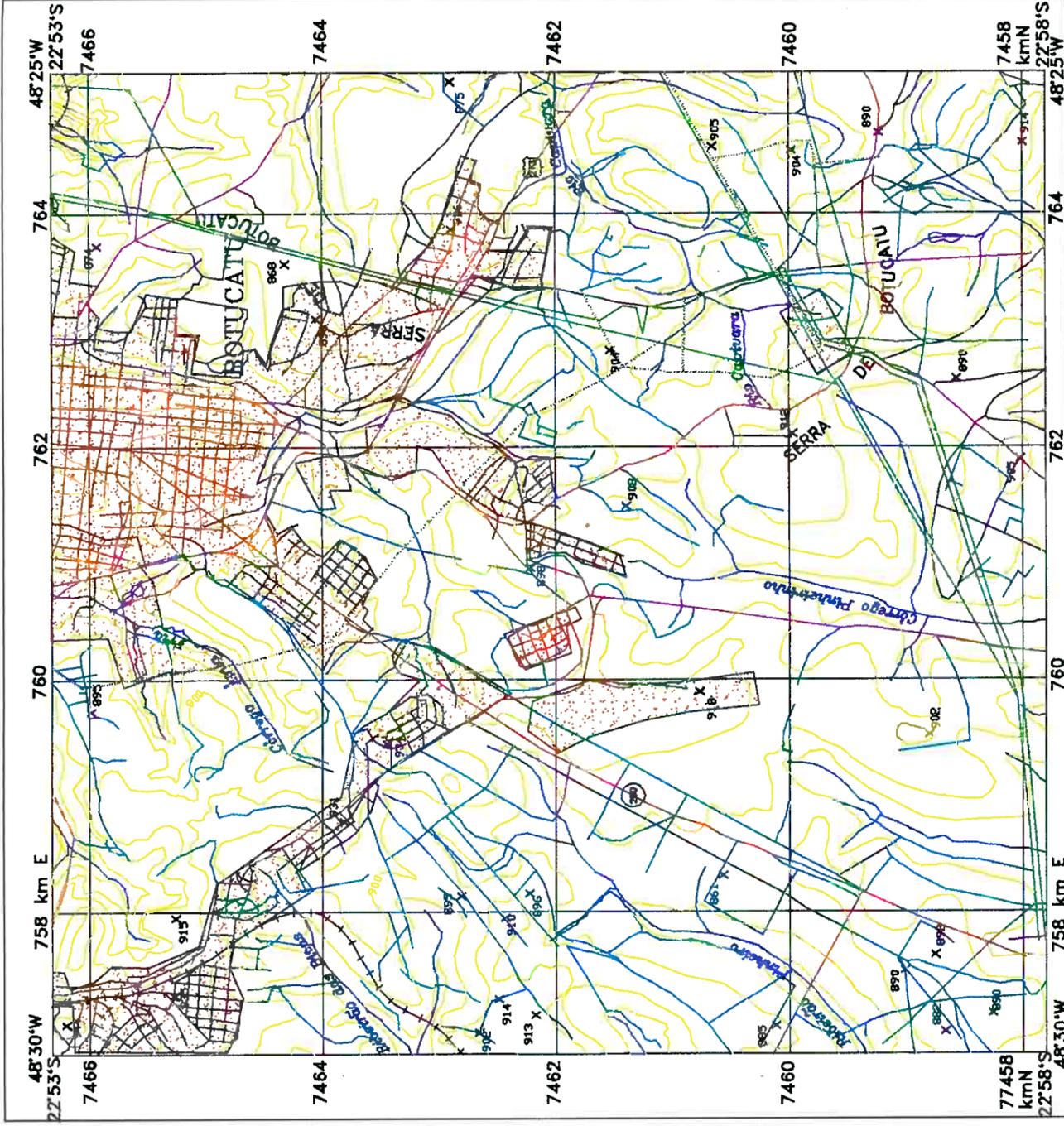
A carta topográfica atualizada com base na interpretação da imagem SPOT-P realçada, verificação preliminar e trabalho de campo é apresentada na Figura 4.4. A tabela 4.7. apresenta os valores de comprimentos e áreas finais medidos no AutoCAD R.12. Os valores de área das manchas urbanas não puderam ser verificados, repetindo-se os valores obtidos da interpretação preliminar. Estes valores, dessa forma, ilustram o crescimento da área urbana na região no período estudado.

Tabela 4.7: Comprimentos e área totais - Carta Atualizada SPOT-P.

IMAGEM SPOT-P	Comprimento Total das Feições (m)	Área Total das Feições (m <sup>2</sup> )
Áreas Urbanas	-	11.575.731
Estradas e Arruamentos Pavimentados	85.899	-
Estradas sem Pavimentação com Tráfego Permanente	19.125	-
Estradas sem Pavimentação com Tráfego Periódico	96.931	-
Caminhos	116.457	-
Ferrovias	5.971	-
Linhas Transmissoras de Energia - Alta Tensão (AT)	42.736	-
Linhas Transmissoras de Energia - Baixa Tensão (BT)	13.256	-
TOTAL	380.375	11.575.731

#### 4.2.2. Carta Topográfica Atualizada através da Imagem Híbrida (IHS)

Através da Minuta de Atualização da Imagem Híbrida, da verificação preliminar e da verificação de campo obteve-se a Carta Topográfica Atualizada da Imagem Híbrida apresentada na Figura 4.5. A Tabela 4.8. mostra os comprimentos e área totais para as feições que compõem a carta atualizada.



**LEGENDA**

- LOCALIDADES**  
**CIDADE** Localidades com mais de 100.000 habitantes  
 Mancha urbana
- ESTRADAS DE RODAGEM E ARRUAAMENTOS**  
 Pavimentados  
 Sem pavimentação com tráfego permanente  
 Sem pavimentação com tráfego periódico e arruamento sem pavimentação  
 Caminho
- IDENTIFICAÇÃO DE RODOVIAS**  
 federal  
 estadual
- ESTRADAS DE FERRO**  
 Bitola normal ou larga  
 Via simples  
 Duas ou mais vias
- LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA**  
 Alta tensão  
 Baixa tensão
- PONTOS DE CONTROLE**  
 ▲ Horizontal  
 X Vertical  
 ▲ 975 Horizontal e vertical  
 X 782 Altitude não comprovada
- REDE DE DRENAGEM**  
 Rio, ribeirão e córrego  
 Lago  
 Represa

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

**ESCALA 1:50.000**

0 1000 3000m

Equidistância das curvas de nível 20 metros  
 Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 51° W. Gr. acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente.  
 Fuso 22, Esferóide Internacional.  
 Datum vertical: mareógrafo Imbituba, SC  
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG  
 Digitalização realizada no AUTOCAD-R12 e IDRISI-4.1 em 1995.

Fonte: Carta topográfica do IBGE, 1:50.000, 1969.  
 Cartas topográficas do IGC, 1:10.000, 1978.  
 Imagem SPOT-P, 1991.  
 Verificação de campo, 1995.

LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO DE SÃO PAULO

51° 49' 47" 20"  
 45° 22'  
 24'

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1995 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA

A declinação magnética cresce 8' anualmente  
 Usar exclusivamente os dados numéricos

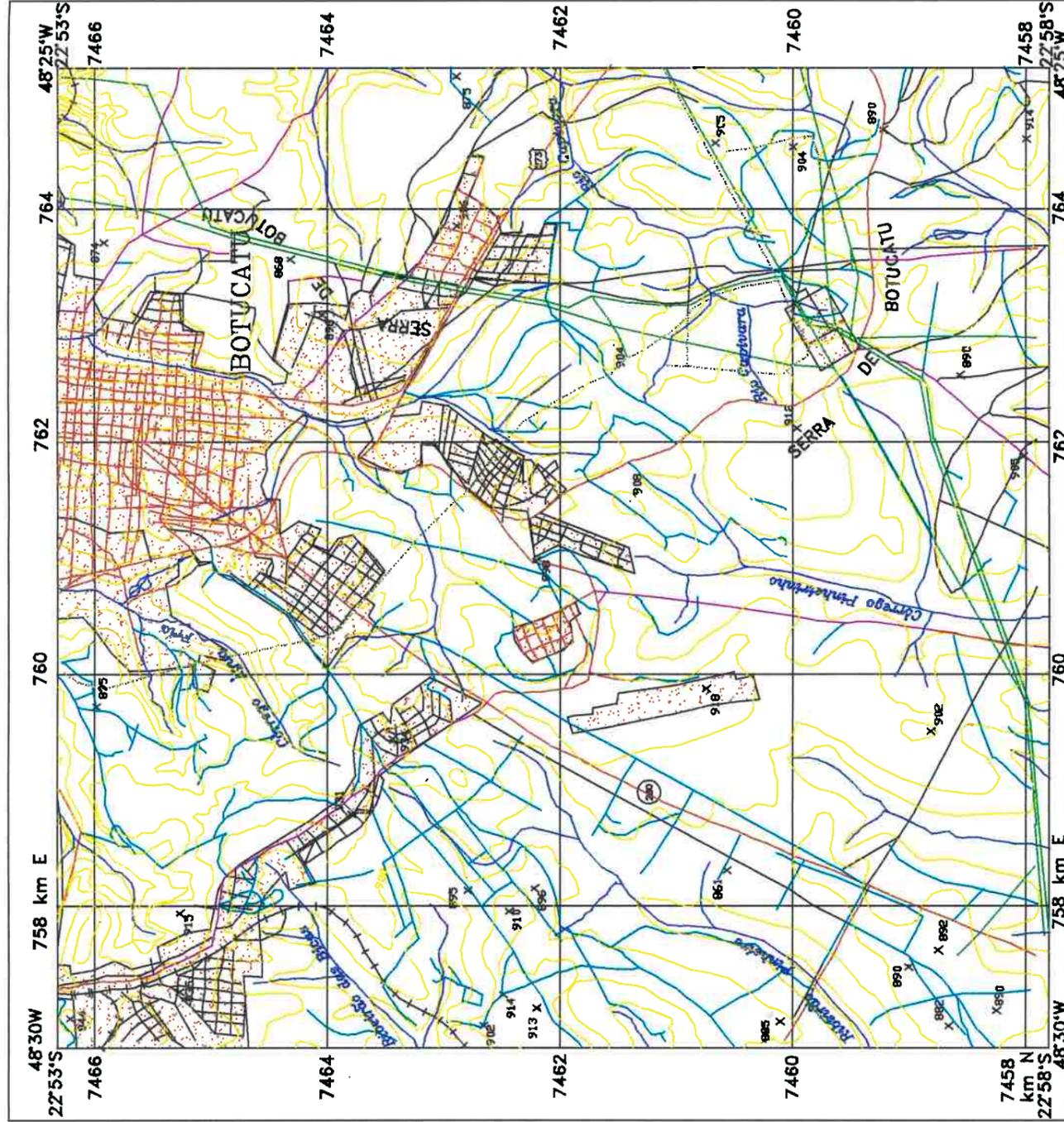
Desenho: MARIA ISABEL C.F. VIADANA  
 Arte final: Elen A.A. Prochnow

Tabela 4.8: Comprimentos e área totais - Carta Atualizada da Imagem Híbrida (IHS).

IMAGEM SPOT-P	Comprimento Total das Feições (m)	Área Total das Feições (m <sup>2</sup> )
Áreas Urbanas	-	11.568.291
Estradas e Arruamentos Pavimentados	96.821	-
Estradas sem Pavimentação com Tráfego Permanente	19.456	-
Estradas sem Pavimentação com Tráfego Periódico	103.912	-
Caminhos	107.034	-
Ferrovias	5.368	-
Linhas Transmissoras de Energia - Alta Tensão (AT)	40.230	-
Linhas Transmissoras de Energia - Baixa Tensão (BT)	12.819	-
<b>TOTAL</b>	<b>385.640</b>	<b>11.568.291</b>

#### 4.2.3. Carta Topográfica Atualizada através da Imagem Componente 3 (ACP)

A associação da Minuta de Atualização da Imagem Componente 3 (ACP), das informações da verificação preliminar através das cartas do IGC e da verificação de campo possibilitou a elaboração da Carta Atualizada final apresentada pela Figura 4.6. Os valores das medições de área e comprimentos de feições encontram-se na Tabela 4.9.



**LEGENDA**

**LOCALIDADES**

Localidades com mais de 100.000 habitantes



Mancha urbana

**ESTRADAS DE RODAGEM E ARRUAAMENTOS**

- Pavimentados
- Sem pavimentação com tráfego permanente
- Sem pavimentação com tráfego periódico e arruamento sem pavimentação
- Caminho

**IDENTIFICAÇÃO DE RODOVIAS**

- federal
- estadual

**ESTRADAS DE FERRO**

- Bitola normal ou larga
- Via simples
- Duas ou mais vias

**LINHAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA**

- Alta tensão
- Baixa tensão

**PONTOS DE CONTROLE**

- ▲ Horizontal
- × Vertical
- ▲ 975 Horizontal e vertical
- × 782 Altitude não comprovada

**REDE DE DRENAGEM**

- Rio, ribeirão e córrego
- Lago
- Represa

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

**ESCALA 1:50.000**



Equidistância das curvas de nível 20 metros

Origem da quilometragem: Equador e Meridiano 51° W. Gr. acrescidas as constantes 10.000km e 500km, respectivamente.

Fuso 22, Esferóide Internacional.

Datum vertical: mareógrafo Imbituba, SC

Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Digitalização realizada no AUTOCAD-R12 e IDRISI-4.1 em 1995.

Fonte: Carta topográfica do IBGE, 1:50.000, 1969.

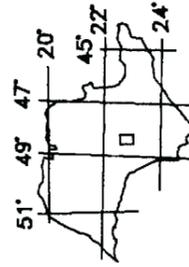
Cartas topográficas do IGC, 1:10.000, 1978.

Imagem SPOT-P, 1991

Imagem TM-Bandas 3, 4 e 7, 1991.

Verificação de campo, 1995.

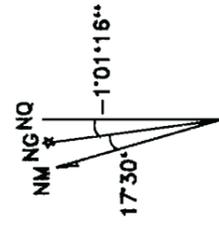
LOCALIZAÇÃO DO SETOR NO ESTADO DE SÃO PAULO



Desenho: MARIA ISABEL C.F. VIADANA

Arte final: Elen A.A. Prochnow

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA 1995 E CONVERGÊNCIA MERIDIANA DO CENTRO DA FOLHA



A declinação magnética cresce 8' anualmente

Usar exclusivamente os dados numéricos