

RUTH EMÍLIA NOGUEIRA LÓCH

**ESTRUTURAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS  
PARA A GESTÃO DE ÁREAS DEGRADADAS  
PELA MINERAÇÃO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais”.

Orientador: Prof. Ph. D. Flávio Felipe Kirchner

CURITIBA  
JANEIRO 2000



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pela candidata **RUTH EMILIA NOGUEIRA LOCH**, sob o título **“ESTRUTURAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS PARA A GESTÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO”**. para obtenção do grau de **Doutor** em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **MANEJO FLORESTAL**.

Após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Tese, com média final:(    ), correspondente ao conceito ( *A* ).

Curitiba, 11 de Janeiro de 2000.

Pesq. Dr. Nelson Frederico Seiffert  
Primeiro Examinador  
EMBRAPA - SC

Prof. Dr. Glaucio Roloff  
Segundo Examinador  
UFPR

Prof. Dra. Christel Lingnau  
Terceira Examinadora  
UFPR

Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan  
Quarto Examinador  
UFPR

Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner  
Orientador e Presidente da Banca  
UFPR

Para minha(s) mãe(s),

Maria

Para meus filhos,

Egon, Luisa e Günter

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Em especial à Deus, sábio, justo e bom.

Ao meu marido Carlos, companheiro, amigo e força marcante para o êxito desta pesquisa, pelo incentivo nas horas de desânimo, paciência em ouvir, e o carinho nos momentos de cansaço.

Ao Prof. Flávio Felipe Kirchner, por ter aceito orientar esta pesquisa, contribuindo com ensinamentos oportunos e confiança no êxito do estudo.

Aos professores do comitê orientador, Profa. Christel Lingnau e Prof. Miguel Seridiuk Milano, pelas suas contribuições para o desenvolvimento da tese.

Ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de aperfeiçoamento;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelos ensinamentos, e, aos colegas, pelo apoio, amizade e incentivo nesta empreitada em novas searas do conhecimento, que foi o curso de doutorado.

Às colegas e amigas Suely Costa e Danielle Pretto Kelm com quem partilhei venturas, aventuras, e informações adquiridas/produzidas na mesma área de pesquisa, meu muito obrigada pela amizade, apoio e incentivo.

Aos amigos e colegas de pesquisa no Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da UFSC, pelo apoio e distinta colaboração ao longo destes anos de pesquisa. Em especial gostaria de agradecer ao Prof. Carlos Loch, supervisor do laboratório, pela



disponibilização de equipamentos e softwares que viabilizaram a realização deste estudo; às acadêmicas Carolina da Silva Jardim, Jaqueline Antunes e Fernanda Simoni, pelo apoio na digitalização de dados, e aos colegas Luiz Ernesto Renuncio, Roque Sanchez Danlotto e Cezário de Oliveira Junior, pelo apoio técnico e pelas salutares discussões científicas no decorrer do trabalho.

À Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina, diretoria Regional de Criciúma, na pessoa do Engo. Adhyles Bortot, exemplo de otimismo e dedicação à conservação do meio ambiente, pela prestimosa e inestimável colaboração nos trabalhos de campo.

Às empresas de aerolevanteamento, Base Engenharia e Aerolevanteamentos S. A. e Aerocarta S. A. Engenharia de Aerolevanteamentos, pelo acesso gratuito aos dados originais de aerolevanteamento da área de estudo, e à Aerodata Aerolevanteamentos S.A., pelos dados do sensor CASI.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais, pela cessão das imagens Landsat TM.

À Capes pela concessão da bolsa de aperfeiçoamento.

À Universidade Federal de Santa Catarina pelo apoio ao meu aperfeiçoamento.

Aos colegas de Departamento de Geociências, principalmente aqueles da área de Cartografia, pela colaboração e o apoio necessário ao meu afastamento para aperfeiçoamento.

Aos membros da banca de exame, por terem aceito avaliar esta pesquisa.

Enfim, à todos amigos e familiares, que pela presença e companheirismo e outras diversas formas de colaboração tornaram possível a realização deste trabalho, especialmente os meus filhos, por todas as vezes que não conseguiram entender minha ausência.

## **BIOGRAFIA**

RUTH EMILIA NOGUEIRA LOCH, filha de Edy Nogueira e Maria das Dôres Lopes Nogueira, nasceu em 07 de janeiro de 1958, no município de Marmeleiro, Estado do Paraná.

Em 1964 iniciou sua vida estudantil no Instituto Nossa Senhora da Consolação em Marmeleiro, onde permaneceu até completar a 5ª série. O ginásio foi cursado em Francisco Beltrão – PR, no Colégio Estadual Mário de Andrade. Os estudos secundários foram efetuados na Escola Normal Regina Mundi (o curso de Magistério) durante os anos de 1973 a 1975 e no Colégio Estadual Mário de Andrade (o curso Científico) de 1974 a 1977. Em 1978 ingressou no curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Paraná, onde graduou-se em 1983.

Atuou como engenheira cartógrafa na empresa de aerolevantamentos ESTEIO S. A., no período de 1983 a 1988.

Em março de 1989 iniciou o Mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina no curso de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração Desenvolvimento Regional e Urbano, tendo concluído sua dissertação em dezembro de 1991, intitulada “Influência da exploração do carvão nas atividades agrícolas e no desenvolvimento global de Criciúma – SC”.

Foi professora concursada da Universidade Estadual de Santa Catarina no período de 1991 a 1992, ministrando as disciplinas de Desenho Topográfico e Desenho Cartográfico.

Em agosto de 1992 ingressou na Universidade Federal de Santa Catarina através de concurso público para professor na área de Cartografia e Fotointerpretação, do Departamento de Geociências, onde atualmente está lotada.

Em março de 1996 iniciou o Doutorado na Universidade Federal do Paraná no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Manejo Florestal, tendo como linha de pesquisa a fotointerpretação florestal e o sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xv
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	xvii
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	xviii
<b>RESUMO</b> .....	xx
<b>ABSTRACT</b> .....	xxi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVOS .....	4
1.1.1 OBJETIVO GERAL .....	4
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>2 EMBASAMENTO TEÓRICO</b> .....	5
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	5
2.2 RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE .....	8
2.3 GESTÃO AMBIENTAL .....	9
2.4 INVENTÁRIO E BASE DE DADOS .....	11
2.5 ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO .....	13
2.6 IMPORTÂNCIA DOS DIFERENTES SENSORES PARA A GESTÃO AMBIENTAL .....	15
2.7 FOTOGRAFIA AÉREA .....	16
2.7.1 FOTOGRAFIAS AÉREAS E FOTOINTERPRETAÇÃO FLORESTAL .....	17
2.8 IMAGENS DE SATÉLITE .....	21
2.9 SISTEMA SCANNER EM AERONAVE .....	22
2.9.1 SENSOR CASI .....	22
2.10 ANÁLISE TEMPORAL UTILIZANDO IMAGENS DE SENSORES REMOTOS .....	24
2.11 MÉTODO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS SELETIVAS .....	27
2.12 CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS DE SATÉLITE .....	29
2.13 ANÁLISE DA TEXTURA .....	30
2.14 CORREÇÃO GEOMÉTRICA .....	32

2.15 CARTOGRAFIA TEMÁTICA COMO BASE PARA A GESTÃO AMBIENTAL .....	34
2.15.1 O QUE É UM MAPA TEMÁTICO .....	35
2.15.2 O USUÁRIO DO MAPA TEMÁTICO .....	37
2.16 OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG .....	38
<b>3 ÁREA DE ESTUDO: MICROBACIA DO RIO FIORITA .....</b>	<b>40</b>
3.1 ASPECTOS FÍSICO-TERRITORIAIS .....	42
3.1.1 CLIMA, GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA .....	42
3.1.2 HIDROLOGIA .....	43
3.1.3 VEGETAÇÃO .....	44
3.1.4 QUALIDADE AMBIENTAL .....	46
3.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS .....	47
3.3 BREVE HISTÓRICO DA MINERAÇÃO .....	48
<b>4 MATERIAIS E MÉTODO .....</b>	<b>50</b>
4.1 RECURSOS DE CARTOGRAFIA E DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADOS .....	50
4.2 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS UTILIZADOS .....	51
4.3 MÉTODO .....	52
4.3.1 CONFECÇÃO DOS MAPAS DE USO DA TERRA UTILIZANDO FOTOINTERPRETAÇÃO .....	52
4.3.2 USO DO CAD .....	55
4.3.3 ANÁLISE TEMPORAL NO SIG .....	59
4.3.4 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA .....	60
4.3.5 IMAGENS DE SATÉLITE .....	62
4.3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE TEMPORAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE .....	63
4.4 IMAGENS DO SENSOR AEROTRANSPORTÁVEL CASI .....	73
4.4.1 OBTENÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	73
4.4.2 PROCESSAMENTO E ANÁLISE .....	76
4.4.3 CORREÇÃO GEOMÉTRICA E MOSAICAGEM .....	77
4.4.4 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO CASI EM RELAÇÃO AO TM .....	80
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>81</b>
5.1 BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL .....	81
5.1.1 ESPECIFICAÇÕES SOLICITADAS PARA A BASE CARTOGRÁFICA .....	81
5.1.2 ANÁLISE DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL .....	83
5.2 FOTOINTERPRETAÇÃO .....	89

5.2.1 ANÁLISE DA QUALIDADE DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS.....	89
5.2.2 CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE COBERTURA DA TERRA.....	89
5.2.3 REAMBULAÇÃO .....	98
5.2.4 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS FOTOS AÉREAS E DOS OVERLAYS DA FOTOINTERPRETAÇÃO.....	99
5.2.5 RESULTADOS DA FOTOINTERPRETAÇÃO .....	109
5.3 ANÁLISE DAS MUDANÇAS TEMPORAIS NO USO DA TERRA UTILIZANDO SIG.....	118
5.3.1 ANÁLISE QUANTITATIVA.....	118
5.3.2 ANÁLISE ESPACIAL QUALITATIVA E QUANTITATIVA.....	119
5.4 IMAGENS LANDSAT-5 TM.....	137
5.4.1 CÁLCULO DO FATOR ÍNDICE ÓTIMO – FIO .....	139
5.4.2 RESULTADOS DA CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....	141
5.5 ANÁLISE TEMPORAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....	142
5.5.1 MÉTODO DA SUPERPOSIÇÃO DE IMAGENS .....	142
5.5.2 MÉTODO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS SELETIVAS .....	144
5.5.3 MÉTODO DA PÓS-CLASSIFICAÇÃO.....	150
5.5.4 COMPARAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS TEMPORAIS .....	162
5.6 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS DO CASI.....	163
5.6.1 COMPARAÇÃO DAS BANDAS ESPECTRAIS DO CASI COM TM.....	163
5.6.2 ANÁLISE DAS IMAGENS DAS FAIXAS 3 E 4 DO CASI.....	165
5.6.3 CLASSIFICAÇÃO DAS FAIXAS DO CASI .....	168
5.6.4 CORREÇÃO GEOMÉTRICA E MOSAICAGEM.....	177
5.6.5 COMPARAÇÃO DO NÍVEL DE INFORMAÇÃO OBTIDO NAS IMAGENS DOS TRÊS SENSORES REMOTOS .....	180
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>183</b>
6.1 SOBRE O BANCO DE DADOS .....	183
6.2 SOBRE OS RECURSOS DE GEOPROCESSAMENTO DISPONÍVEIS PARA ESTRUTURAR O BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	184
6.3 SOBRE A RETIFICAÇÃO DAS AEROFOTOS .....	184
6.4 SOBRE A CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO E A ANÁLISE TEMPORAL	

DAS AEROFOTOS NO SIG.....	185
6.5 SOBRE A ANÁLISE TEMPORAL DAS IMAGENS LANDSAT TM.....	186
6.6 SOBRE O SENSOR AEROTRANSPORTÁVEL CASI.....	186
<b>7 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>188</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>194</b>

## LISTA DE FIGURAS

1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	41
2. ETAPAS DA FOTOINTERPRETAÇÃO.....	56
3. ESTAPAS DA ANÁLISE DIGITAL PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS TEMPORAIS EM IMAGENS DE SATÉLITE.....	64
4. CONE HEXAGONAL DO MODELO DE COR HSV b) CUBO DE COR RGB E VISTA AO LONGO DA DIAGONAL PRINCIPAL.....	65
5. EIXO DE COORDENADAS USADOS NA TRANSFORMAÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS.....	67
6. OITO VIZINHOS PRÓXIMOS DO PIXEL X, DE ACORDO COM O ÂNGULO ESPACIAL USADO PARA CRIAR A MATRIZ DE CO- OCORRÊNCIA ESPACIAL PARA AS MEDIDAS DA TEXTURA DA IMAGEM.....	71
7. a) JANELA DE 3X3 PIXELS COM A DIMENSÃO DOS TONS DE CINZA DE 0 A 3.....	71
8. ETAPAS DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS CASI.....	75
9. BASE CARTOGRÁFICA.....	82
10. PREENCHIMENTO DE POLÍGONOS.....	83
11. ESPAÇAMENTO ENTRE PONTOS INADEQUADOS PARA O DELINEAMENTO DAS FEIÇÕES.....	84
12. NÍVEIS DE UNIFORMAÇÃO.....	84
13. SÍMBOLOS INADEQUADOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES.....	85
14. VETORES COM DIFERENTES COORDENADAS EM Z.....	86
15. PAISAGENS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO E ESPÉCIES VEGETAIS SOBRE ESTÉREIS DA MINERAÇÃO.....	95

16. PAISAGENS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO.....	96
17. DETALHES DA VEGETAÇÃO DAS ÁREAS MINERADAS E PAISAGEM RURAL DAS ÁREAS CONFRONTANTES.....	97
18. QUALIDADE DA INTERPRETAÇÃO DE 1996 EM RELAÇÃO A BASE CARTOGRÁFICA.....	102
19. QUALIDADE GEOMÉTRICA DA CARTOGRAFIA DE 1978 EM RELAÇÃO A BASE CARTOGRÁFICA.....	104
20. QUALIDADE GEOMÉTRICA DA CARTOGRAFIA DE 1956 EM RELAÇÃO A BASE CARTOGRÁFICA.....	108
21. EVOLUÇÃO DA MINERAÇÃO NO PERÍODO DE 1956 A 1996.....	111
22. EVOLUÇÃO DAS ÁREAS AGROPECUÁRIA E URBANA NO PERÍODO DE 1956 A 1996.....	113
23. EVOLUÇÃO DO REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO NO PERÍODO DE 1956 A 1996.....	115
24. EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA NO PERÍODO DE 1956 A 1996.....	117
25. COMPARAÇÃO DA ÁREA OCUPADA POR CATEGORIA DE USO/COBERTURA DA TERRA.....	118
26. MUDANÇAS TEMPORAIS NA MINERAÇÃO.....	122
27. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE MINERAÇÃO, 1956/1978.....	123
28. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE MINERAÇÃO, 1978/1996.....	124
29. MUDANÇAS TEMPORAIS NA ÁREA URBANA.....	125
30. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA URBANA, 1956/1978.....	126
31. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA URBANA, 1978/1996.....	127
32. MUDANÇAS TEMPORAIS NA ÁREA AGROPECUÁRIA.....	128
33. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA AGROPECUÁRIA, 1956/1978.....	129
34. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA AGROPECUÁRIA, 1978/1996.....	130
35. MUDANÇAS TEMPORAIS NA ÁREA DE REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO.....	131
36. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO, 1956/1978.....	132



37. MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO, 1978/1996.....	133
38. MUDANÇAS NA ÁREA DE VEGETAÇÃO NATIVA.....	134
39. MUDANÇAS OBSERVADAS NA VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA, 1956/1978.....	135
40. MUDANÇAS OBSERVADAS NA VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA, 1978/1996.....	136
41. COMPOSIÇÃO COLORIDA NAS BANDAS 5 (R), 4 (R), 2 (B) DA IMAGEM LANDSAT – 5 DE 1986.....	140
42. COMPOSIÇÃO COLORIDA NAS BANDAS 5 (R), 4 (R), 2 (B) DA IMAGEM LANDSAT – 5 DE 1996.....	140
43. ANÁLISE TEMPORAL, MÉTODO DA SUPERPOSIÇÃO DE IMAGENS.....	143
44. IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO NDVI NA IMAGEM TM DE 1986.....	145
45. IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO NDVI NA IMAGEM TM DE 1996.....	145
46. IMAGEM DA SEGUNDA COMPONENTE PRINCIPAL OBTIDA A PARTIR DAS IMAGENS NDVI DE 1986/1996.....	147
47. MUDANÇAS TEMPORAIS REALÇADAS PELA TÉCNICA “DENSITY SLICING”.....	147
48. DETALHES DAS TRANSFORMAÇÕES TEMPORAIS NAS IMAGENS.....	149
49. ASSINATURA ESPECTRAL DAS ÁREAS AMOSTRAIS DA IMAGEM TM DE 1996.....	150
50. ASSINATURA ESPECTRAL DAS ÁREAS AMOSTRAIS DA IMAGEM TM DE 1986.....	156
51. CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DE 1986.....	158
52. CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DE 1996.....	159
53. MUDANÇAS TEMPORAIS, MÉTODO DA PÓS-CLASSIFICAÇÃO.....	161
54. COMPARAÇÃO DAS BANDAS DO LANDSAT-5 TM COM AS BANDAS DETERMINADAS PARA IMAGEAMENTO DO CASI.....	164

55. ESQUEMATIZAÇÃO GRÁFICA DAS MÉDIAS, DOS DESVIOS DOS VALORES DE BRILHO E VALOR MÁXIMO E MÍNIMO PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 3 DO CASI.....	165
56. ESQUEMATIZAÇÃO GRÁFICA DAS MÉDIAS, DOS DESVIOS DOS VALORES DE BRILHO E VALOR MÁXIMO E MÍNIMO PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 4 DO CASI.....	166
57. COMPOSIÇÃO COLORIDA NAS BANDAS 7 (R), 4 (R), 2 (B), DAS FAIXAS DE VÔO 3 E 4 DO CASI.....	167
58. GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELAS MÉDIAS DOS VALORES DE BRILHO NA FAIXA 3 DO CASI.....	169
59. FAIXA 3 DO CASI: a) COMPOSIÇÃO COLORIDA; b) IMAGEM CLASSIFICADA.....	171
60. GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELAS MÉDIAS DOS VALORES DE BRILHO NA FAIXA 4 DO CASI .....	173
61. FAIXA 4 DO CASI: a) COMPOSIÇÃO COLORIDA; b) IMAGEM CLASSIFICADA.....	175
62. MOSAICO DAS FAIXAS 3 E 4 DO CASI.....	179

## LISTA DE TABELAS

1. RESOLUÇÃO ESPECTRAL DO SENSOR THEMATIC MAPPER – TM.....	21
2. CONFIGURAÇÃO DAS BANDAS ESPECTRAIS DO CASI.....	74
3. DESVIO PADRÃO DOS PONTOS UTILIZADOS NA CORREÇÃO GEOMÉTRICA.....	100
4. ÁREA OCUPADA POR CATEGORIA DE USO/COBERTURA DA TERRA....	118
5. MUDANÇAS TEMPORAIS NOS CINCO TEMAS DE USO/COBERTURA DA TERRA: 1956-1978.....	121
6. MUDANÇAS TEMPORAIS NOS CINCO TEMAS DE USO/COBERTURA DA TERRA: 1978-1996.....	121
7. INDICADORES ESTATÍSTICOS DAS IMAGENS DE 1986 E 1996.....	137
8. MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS IMAGENS DE 1986 E 1996.....	138
9. CÁLCULO DO FIO PARA A IMAGEM TM DE 1986.....	139
10. CÁLCULO DO FIO PARA A IMAGEM TM DE 1996.....	139
11. DADOS DO REGISTRO DA IMAGEM TM DE 1986 EM RELAÇÃO À IMAGEM TM DE 1996.....	141
12. DADOS DA CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS TM.....	142
13. MATRIZ DE CONFUSÃO: DESEMPENHO DO CLASSIFICADOR PARA ANÁLISE MULTIESPECTRAL DA IMAGEM TM DE 1996.....	151
14. DESEMPENHO DO CLASSIFICADOR PARA CADA CATEGORIA DE USO DA TERRA, CONSIDERANDO OS SETE TIPOS DE ENTRADA.....	152
15. EXATIDÃO EM CADA TIPO DE ENTRADA.....	155
16. MATRIZ DE CONFUSÃO: DESEMPENHO DO CLASSIFICADOR PARA ANÁLISE MULTIESPECTRAL DA IMAGEM TM DE 1986.....	156
17. MATRIZ CONFUSÃO MOSTRANDO O RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA FAIXA 3 DO CASI.....	172

18. MATRIZ CONFUSÃO MOSTRANDO O RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA FAIXA 4 DO CASI.....	176
19. CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA FAIXA 3 DO CASI.....	177
20. CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA FAIXA 4 DO CASI.....	177
21. CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA DAS ÁREAS AMOSTRAIS DAS CLASSES DA FAIXA 3 DO CASI.....	190
22. CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA DAS ÁREAS AMOSTRAIS DAS CLASSES DA FAIXA 4 DO CASI.....	191
23. ESTATÍSTICA BÁSICA PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 3 DO CASI...	192
24. ESTATÍSTICA BÁSICA PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 4 DO CASI...	193

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: MATRIZ DE ANÁLISE TEMPORAL.....	60
QUADRO 2: CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO: VEGETAÇÃO EM ÁREAS MINERADAS – AEROFOTOS DE 1956.....	90
QUADRO 3: CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO: VEGETAÇÃO EM ÁREAS MINERADAS – AEROFOTOS DE 1978 E 1996.....	90
QUADRO 4: CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO: VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA – AEROFOTOS DE 1956, 1978 E 1996.....	91
QUADRO 5: CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO: REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO – AEROFOTOS DE 1956, 1978 E 1996.....	91
QUADRO 6: OUTRAS CLASSES – FOTOGRAFIAS AÉREAS DE 1956, 1978 E 1996.....	92

## LISTA DE SIGLAS

AMREC	ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO CARBONÍFERA
AVIRIS	AIRBORNE VISIBLE INFRARED IMAGING SPECTROMETER
CAD	COMPUTER AIDED DESIGN
CASAN	COMPANHIA DE ÁGUAS E SANEAMENTO DE SANTA CATARINA
CASI	COMPACT AIRBORNE SPECTROGRAPHIC IMAGER
CCD	CHARGE COUPLED DETECTORES
CIDA	AGÊNCIA CANADENSE DE DESENVOLVIMENTO
CSN	COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL
DEM	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO
DNPM	DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL
dpi	DOTS PER INCH
DXF	DRAWING INTERCHANGE FORMAT
ENVI	ENVIRONMENT FOR VISUALIZING IMAGES
ERTS	EART RESOURCES TECNOLOGY SATELLITE
FATMA	FUNDAÇÃO DE MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA
FIO	FATO DE ÍNDICE ÓTIMO
GER	GEOPHYSICAL ENVIRONMENTAL RESEARCH
GIS	GEOGRAPHYC INFORMATION SYSTEMS
HSV	HUE, SATURATION, VALUE
IBGE	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
img	IMAGEM
JICA	JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
LIS	LAND INFORMATION SYSTEM
MNF	MINIMUM NOISE FRACTION
MNT	MODELO NUMÉRICO DO TERRENO

MSS	MULTI-SPECTRAL SCANNER
NDVI	NORMALISED DIFFERENCE VEGETATION INDEX
PCAS	PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS SELETIVE
RGB	RED, GREEN AND BLUE
SDIMSC	SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL E DO MERCOSUL DE SANTA CATARINA
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
SR	SENSORIAMENTO REMOTO
TM	THEMATIC MAPPER
UNESC	UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
UTM	SISTEMA DE PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSO DE MERCATOR

## RESUMO

Os reflexos negativos do crescimento econômico pautado na exploração do carvão mineral no Sul de Santa Catarina ao longo deste último século, atingiram proporções capazes de tornar a Região Carbonífera de Santa Catarina conhecida nacionalmente como a 14<sup>a</sup> área crítica de degradação ambiental no Brasil. Essa constatação mostra a necessidade urgente de organismos de controle ambiental encontrarem soluções para minimizar os problemas ambientais existentes. O apoio técnico das instituições de pesquisa é fundamental para referendar instrumentos eficazes para a coleta de dados básicos e programas de monitoramento e adaptação de métodos e técnicas às condições locais. Com esse entendimento, a pesquisa desenvolvida na microbacia do rio Fiorita — Siderópolis, Santa Catarina, Brasil, teve como objetivo principal gerar instrumentos de apoio à gestão de áreas degradadas pela mineração. O ponto central da pesquisa está no desenvolvimento/adaptação de métodos e técnicas para a coleta e estruturação de dados geográficos temporais, e temáticos em meio digital. Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para interpretação visual de fotografias aéreas e para o processamento digital de imagens de satélite, visando detectar as mudanças temporais no uso da terra em áreas degradadas pela mineração. As informações obtidas em fotografias aéreas de três datas, num período de 40 anos, foram digitalizadas em ambiente CAD para obter os mapas de uso da terra. Estes mapas foram manipulados num sistema de informações geográficas - SIG para gerar novos mapas temáticos contendo informações qualitativas e quantitativas das mudanças temporais. As imagens do Mapeador Temático do Satélite Landsat-5 obtidas em um intervalo de 10 anos, foram processadas em programa de análise digital de imagens para obter dados das mudanças temporais do uso da terra na microbacia. Três métodos de análise temporal foram aplicados. Também foram analisadas digitalmente duas imagens do sensor aerotransportável CASI para obter o mapeamento de uso da terra das áreas degradadas pela mineração. As informações obtidas em cada sensor foram confrontadas considerando o conteúdo informativo dos mapas temáticos obtidos. Os resultados alcançados, traduzem, mediante destaque, o pioneirismo das informações espaciais temáticas estruturadas em um banco de dados digitais direcionado ao monitoramento do impacto ambiental, causado pela atividade de mineração, e a utilização de métodos apropriados, para a coleta e estruturação informações espaciais de qualidade, utilizando produtos de sensoriamento.



## **ABSTRACT**

Along this last century, the economic growing based on the coal mining activities in the south region of the State of Santa Catarina resulted in proportions where the impact on the environment was greatly affected. Because of this, it is important that environmental agencies look for solutions that minimizes the environmental problems. Technical support from research institutions is essential to settle the activities of data collection and for the monitoring programs for the local conditions. Therefore, this research had as main objective to structure temporal and thematic geographical data for the management of reclamation areas degraded by coal mining in the Fiorita river basin, Siderópolis city, Santa Catarina State. Remote sensing techniques were used for the visual photointerpretation of aerial photographs and for the digital image processing of satellite images, attempting to detect land use temporal changes in the areas degraded by coal mining. The informations obtained from the aerial photographs from three different dates, over a period of forty years were digitalized using CAD techniques to obtain the land use maps. After this, these maps were structured in GIS and new thematic maps containing qualitative and quantitative temporal changes were produced. The Landsat TM-5 images obtained over a period of ten years were processed in specific image processing software to obtain the data of the land use temporal changes. Three different methods of temporal analysis were applied. In addition, two CASI strip images were also analyzed for the land use mapping of the mining areas. The data obtained from these different sensors were then compared considering the level of information for the generation of the thematic maps. The results obtained report the uniqueness of the spatial thematic informations structured on a data bank towards an environmental impact monitoring program, caused by the coal mining activities. The employment of appropriate methods for the data collection process and structure of high quality of spatial informations were performed using remote sensing products.

## 1 INTRODUÇÃO

Um jovem e grande país como o Brasil, com paisagens exuberantes em clima tropical, trouxe esperança de uma vida melhor para o imigrante europeu que ocupou o território no Sul do país, expandindo suas fronteiras. Durante os cinco séculos de existência deste território-nação, a expansão agrícola aconteceu sem preocupações ambientais. O solo exaurido pelo cultivo era abandonado pelo colono, que procurava outras áreas, ainda em estado natural, para o plantio, transformando as florestas em terras empobrecidas, ocupadas por capoeiras.

No final do século XIX novas atividades surgiram no Sul de Santa Catarina, entre elas a mineração de carvão. Como concorrente da agricultura, a mineração ocupou terras férteis e poluiu os mananciais. Sem respeito ao código de mineração, oito décadas de exploração do carvão levaram esta região a se tornar conhecida nacionalmente como uma área crítica de degradação ambiental. Foi somente no final dos anos 1980 que as preocupações mundiais com o meio ambiente começaram a surtir efeito na região carbonífera: a fiscalização ambiental dos órgãos governamentais tornou-se mais severa, e a população começou a perceber que os problemas ambientais decorrentes da exploração do carvão estavam afetando sua qualidade de vida. Hoje em dia a população da região tem consciência de que é preciso recuperar o passivo deixado pela mineração e também fiscalizar com rigor as novas frentes de lavra e deposição deste mineral, tornando-se aliada dos organismos de fiscalização ambiental.

Atualmente, ao nível nacional, o setor elétrico planeja aumentar a participação de termelétricas a carvão mineral entre 10% e 15% da capacidade de geração, fato este que assegura um mercado para o carvão energético produzido na região (SANTA CATARINA, 1997b). Esta perspectiva, apesar de ser boa do ponto de vista econômico, é preocupante do ponto de vista ambiental. Para cumprir a expectativa de que nos próximos 20 anos a região tenha seu meio ambiente recuperado, é preciso antes de tudo informações seguras e atualizadas

sobre a situação de cada uma das áreas afetadas, assim como de toda a região, pois a disponibilidade de informações é o ponto de partida para o planejamento e gerenciamento econômico-ambiental.

Os produtos de Sensoriamento Remoto têm emergido como um poderosa ferramenta para o fornecimento de informações espaciais sobre os recursos naturais. Os sensores remotos podem fornecer repetitividade, cobertura sinóptica e local. Mais do que isso, os dados de sensoriamento fornecem a oportunidade de “voltar no tempo”, para a comparação do que havia no passado com o que existe no presente. Aliado a isso, o constante desenvolvimento de softwares e hardwares tem favorecido o desenvolvimento de técnicas para a obtenção, processamento, integração e saídas de informações referenciadas espacialmente. O advento dos SIGs tem adicionado uma nova dimensão para o levantamento e integração de informações ambientais, fornecendo novas ferramentas para o planejamento e gestão ambiental.

Por falta de tradição cartográfica no Brasil, não existem mapas que possibilitem uma avaliação das transformações temporais no uso e cobertura da terra. A cartografia disponível na Região Carbonífera, assim como na maior parte do nosso país, é precária e desatualizada, resumindo-se às cartas 1:50 000 do mapeamento sistemático nacional. A carência de dados na região é tão evidente que o organismo japonês JICA dispôs-se a levantar esses dados e executar o mapeamento de uma área piloto da Região Carbonífera, para fazer um diagnóstico das áreas degradadas da região e, a partir daí, propor medidas de recuperação ambiental. Lamentavelmente, os órgãos públicos não tiveram conhecimento nem acesso ao mapeamento executado. Só obtiveram relatórios descritivos ao final dos trabalhos.

A carência de dados na região é observada nas poucas informações existentes, as quais estão dispersas e setORIZADAS dentro dos organismos governamentais estaduais e dos órgãos de controle ambiental. É verdade que subsiste a necessidade de apoio financeiro para levantamentos de dados e programas de monitoramento ambiental. Porém, o apoio técnico

pode ser encontrado nas instituições de ensino e pesquisa, as quais estão aptas a desenvolverem e adaptarem métodos e técnicas às condições locais.

O entendimento das questões apontadas mostra a relevância desta pesquisa desenvolvida na Região Carbonífera de Santa Catarina, que teve como propósito último referendar instrumentos eficazes para a gestão ambiental de áreas degradadas pela mineração. Para tanto, o ponto central desta pesquisa, e sua contribuição para o saber científico, foi o desenvolvimento/adaptação de metodologia de coleta e sistematização de dados espaciais, temáticos e temporais, baseado em tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informações Geográficas (SIG). Confrontaram-se os resultados de diversos sensores, um ainda pouco conhecido (CASI), utilizaram-se softwares de última geração e produziram-se resultados tanto gráficos como descritivos que servirão para a continuidade da pesquisa no grupo em que a autora está inserida, bem como, para os organismos de controle ambiental estadual e municipal.

Este trabalho é inédito porque exigiu preocupações especiais e inusitadas em termos de controle cartográfico para estruturar uma análise temporal a partir de fotografias aéreas e SIG, em áreas de intensa transformação temporal, inclusive do relevo. É inédito também, porque a bibliografia consultada garante que esta pesquisa não havia sido aplicada anteriormente na avaliação da degradação ambiental em áreas degradadas pela mineração, considerando a cobertura vegetal por florestas tropicais. Além do mais, em países com tradição cartográfica não seria necessário buscar grandes correlações para representar a situação ambiental de épocas remotas; tudo está disponível em mapas. Nessa pesquisa foi necessário correlacionar imagens de diversas datas com trabalhos de campo para se obter dados espaciais confiáveis.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia de captura e sistematização de dados espaciais, temáticos e temporais, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica para gerar instrumentos de gestão ambiental para áreas degradadas pela mineração de carvão.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Levantar e estruturar na forma de banco de dados geográficos informações espaciais disponíveis em produtos de sensores remotos;
- b) definir uma metodologia para a digitalização e retificação digital dos *overlays* da interpretação de fotografias aéreas utilizando um sistema CAD, visando a produtos cartográficos;
- c) criar uma chave de interpretação do uso e cobertura da terra em áreas de mineração, com ênfase à cobertura florestal, para fotografias pancromáticas de escala média;
- d) efetuar análise temporal das modificações na paisagem degradada pela mineração, através da análise das informações levantadas em fotografias aéreas de diferentes datas, utilizando um Sistema de Informação Geográfica;
- e) comparar diferentes métodos de análise temporal de imagens de satélite, considerando áreas degradadas pela mineração e arredores;
- f) desenvolver metodologia de análise digital das imagens do sensor CASI;
- g) comparar o nível de informação obtido em cada sensor.

## **2 EMBASAMENTO TEÓRICO**

### **2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

Desenvolvimento é uma idéia sempre associada ao conceito de progresso, crescimento, consumo de bens materiais, modernização e tecnologia, ou seja, é sempre um processo de mudança que deve ser favorável, isto é, do ruim para o melhor, ou do insatisfatório para o satisfatório.

Na década de 70 avançou a conscientização, no meio político dos países desenvolvidos, de que a origem dos problemas ambientais estava nas modalidades de desenvolvimento econômico e tecnológico existentes e que as políticas de meio ambiente precisavam ser integradas aos processos de ação coletiva e de organização econômica. Isso constituiu o sentido principal do que se convencionou denominar desenvolvimento durável ou ecodesenvolvimento (GODARD, 1997). Na concepção moderna, o desenvolvimento preconiza o bem-estar econômico, incluindo a proteção do meio ambiente, através de ações e comportamentos que visem ao equilíbrio entre homem e natureza, como forma de se obter resultados sociais mais justos.

Essa nova forma de pensar e agir em relação às componentes ambientais, econômicas e sociais é fruto de discussões iniciadas em Estocolmo, em 1972, na 1ª Conferência Mundial de Meio Ambiente, e parte das iniciativas de criação e implementação de um programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente denominado por Maurice Strong, em 1973, de Ecodesenvolvimento ou Desenvolvimento Sustentado, e a última denominação vem sendo mais utilizada (JUCHEM, 1993; VIEIRA, 1995).

Em 1987, a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento definiu o desenvolvimento sustentável como a combinação de duas noções básicas: o desenvolvimento

econômico e a preservação do meio ambiente. Para tanto, GODARD (1997) lembra que houve necessidade de mudanças nas regras de gestão dos recursos naturais no sentido de superar a velha dicotomia entre as análises ambientais, ora focalizando os fenômenos da degradação e as ações corretivas ou reparadoras a serem empreendidas, ora focalizando a análise da disponibilidade de recursos para a produção de bens de consumo humano.

Analisando a literatura, observou-se que o conceito de desenvolvimento sustentável é amplo e, por isso, abre espaço para a proliferação de idéias, novas abordagens políticas, discussões e publicações a respeito, mostrando que esse tema tornou-se altamente popular e polêmico. Na maioria das definições de desenvolvimento sustentável são usados termos qualitativos, incluindo uma ampla extensão de fenômenos, como o crescimento econômico, equidade na distribuição da riqueza dentro e entre gerações, fornecimento de recursos, qualidade ambiental e qualidade de vida. Da variedade de definições, são comentadas a seguir aquelas que coadunam com abordagens necessárias ao processo do desenvolvimento local e regional onde se desenvolveu esta pesquisa.

No desenvolvimento sustentável, segundo SACHS (1997), a exploração dos recursos, a dinâmica dos investimentos, a orientação das inovações tecnológicas e institucionais são feitas de forma consistente diante das necessidades atuais e futuras, apresentando cinco dimensões principais: a sustentabilidade social, a econômica, a ecológica, a geográfica e a cultural.

Sob o ponto de vista da sustentabilidade, um território precisa ser considerado tanto no seu aspecto biofísico, como terra – conjunto de minerais, rochas, água, fauna e flora – como no aspecto socioeconômico – unidade espacial delimitada, com usuários/proprietários, produção/extração – e no aspecto político.

Terra é um conceito com muitos sentidos, que depende da interpretação das pessoas e de seus interesses. Para a maioria, ela é um espaço ou um lugar onde se vive, mora, trabalha e se mantêm relações sociais, isto é, onde se desenvolvem todas as atividades humanas. Para

HENSSEN (1996), a terra é uma área da superfície terrestre, considerando parte dela a água, o solo, as rochas e minerais sob e sobre ela e o ar acima dela; isso envolvendo tudo que é relativo a uma certa área fixada na superfície, incluindo o oceano.

O solo recortado em parcelas é objeto de uso e de regras definidas por cada proprietário, mas os atos dos proprietários estão subordinados ao modo pelo qual é exercido esse direito. As limitações de uso são oriundas de duas vertentes: a de ordem privada e a de ordem pública. A primeira assegura o direito à propriedade, condicionando-o à sua função social – Constituição Federal de 1988, art. 5º, XXII e XXIII. A segunda vem ao encontro do bem-estar geral, e interessam à coletividade, bens ambientais (águas, energia, flora e fauna), que, pela Constituição, estão sob a tutela do Estado. A proteção desses bens pelo Estado é manifestada pelo ordenamento territorial, zoneamento ambiental, zoneamento industrial, licenciamento de atividades, regulamento do parcelamento urbano, fiscalização, etc. (MAGALHÃES, 1993).

A degradação dos recursos ambientais é uma contradição para o desenvolvimento sustentável. Segundo HURNI (1997), os problemas que ameaçam os recursos naturais e a sustentabilidade da vida são derivados do contexto socioeconômico e cultural do mundo atual e refletem-se na degradação dos solos, na disponibilidade de água e na perda da biodiversidade. A percepção destes problemas de degradação varia:

- a) entre os usuários da terra, os proprietários e entre estes grupos no tempo;
- b) na perspectiva econômica, em termos de custos e viabilidade de tecnologias domésticas;
- c) na perspectiva social, em relação à pobreza, miséria, diferenciação social ou efeitos políticos e sociais desagregados dos problemas econômicos;
- d) na perspectiva ecológica, somente em relação aos efeitos da degradação do solo na natureza, isto é, vida selvagem, vegetação e processos ecológicos desagregados dos problemas sociais e econômicos.



MACEDO (1994) apresenta uma abordagem metodológica para a manutenção e garantia da sustentabilidade ambiental, que é dividida em quatro partes:

- a) ordenamento territorial – visa ordenar o uso do espaço a ser gerenciado;
- b) plano de desempenho ambiental – visa manter e garantir os resultados da gestão; por isso deve ser feito com base nas informações sobre o espaço físico, biológico, antrópico e na avaliação das potencialidades e vulnerabilidades ambientais. Deve levar em conta a estratégia e tática a ser usada para atingir os alvos em cada segmento, os projetos e as metas necessárias para a gestão;
- c) sistema de gestão territorial – estabelece a natureza da gestão, os alvos a serem controlados e os índices de desempenho esperados para o espaço em gestão; e
- d) sistema de gestão da qualidade ambiental – determina os reajustes necessários para tornar o quadro ambiental satisfatório.

## **2.2 RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE**

BUARQUE, citado por BRESSAN (1996), defende a idéia de que Recurso Natural está vinculado ao padrão tecnológico próprio de cada momento histórico, isto é, que a natureza transformada em recurso muda com o passar do tempo, tornando alguns recursos obsoletos e incorporando novos recursos. A inteligência e o trabalho humano é que fazem com que a matéria passe à condição de recurso.

Segundo GODART (1997), a economia moderna utiliza-se de alguns aspectos relacionados à tomada de decisão ou mecanismos econômicos diferenciados para caracterizar os recursos naturais, subdividindo-os em:

- a) recursos de caráter reprodutível ou não-reprodutível por ação antrópica;
- b) recursos de caráter renovável ou não-renovável mediante processos naturais, num horizonte economicamente significativo;

c) recursos de caráter esgotável ou não-esgotável – os recursos não-renováveis são geralmente esgotáveis; os recursos do mar são esgotáveis mesmo sendo renováveis;

d) recursos de caráter reciclável ou não-reciclável – relacionados à massa de dejetos finais gerada pela atividade econômica.

Instrumentos eficazes para a intermediação da relação homem–natureza podem ser conseguidos através das ciências e das técnicas, que representam possibilidades concretas de gerar conhecimento sobre o meio natural. É evidente também que as mudanças no tratamento do meio ambiente devem levar em conta as transformações estruturais que abrangem as questões da propriedade, do papel do Estado e do sistema político e cultural (BRESSAN, 1996).

### **2.3 GESTÃO AMBIENTAL**

O conceito de gestão tem origem no domínio privado, dizendo respeito à administração dos bens possuídos por um proprietário. No domínio público, a noção de gestão assumiu um significado mais amplo, designando a realização de trabalhos planejados de grande envergadura, visando à reorganização do território. Atualmente, a gestão do território designa a ação do Estado e das coletividades locais, visando corrigir desequilíbrios regionais tanto em termos populacionais quanto no exercício de atividades econômicas (GODARD, 1997).

No que diz respeito aos recursos naturais, podemos distinguir dois conceitos: um corresponde à concepção da gestão quotidiana dos elementos do meio, que são considerados como recursos naturais; o outro é um conceito mais global, em que os objetivos próprios da gestão devem penetrar as esferas de decisão política industrial e tecnológica, política de ordenamento espacial, política ligada ao modo de vida, etc., sempre considerando as preferências dos consumidores e usuários no que diz respeito ao emprego, independência nacional, equilíbrio regional e proteção ambiental, entre outros (GODARD, 1997).

Na visão de BRESSAN (1996), totalidade, racionalidade e controle público são elementos decisivos para a estruturação de um modelo de gestão ambiental que seja capaz de reconhecer o meio natural em seu valor intrínseco, ao mesmo tempo em que o reconhece como necessário para o progresso da sociedade humana. Para essa idéia tornar-se realidade, é preciso compreender a natureza como um bem público, é preciso que o Estado e as organizações comunitárias assumam papéis de gestores do patrimônio natural. Além disso, a gestão ambiental depende da identificação ou geração de mecanismos científicos e tecnológicos que tenham como premissa o tratamento integral do espaço, em consonância com as possibilidades de regulação do equilíbrio ecológico, tendo em vista o contexto histórico.

Para LANNA (1994), gestão ambiental é um processo de articulação das ações dos diferentes agentes sociais que interagem em um dado espaço com o objetivo de garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos ambientais – naturais, econômicos e socioculturais – às especificidades do meio ambiente, com base em princípios e diretrizes previamente acordados/definidos. Portanto, a gestão ambiental integra uma política ambiental, um planejamento ambiental e o gerenciamento ambiental, assim descritos:

- a) política ambiental – é o conjunto consistente de princípios doutrinários que conformam as aspirações sociais e/ou governamentais no que concerne à regulamentação ou modificação no uso, controle, proteção e conservação do ambiente;
- b) planejamento ambiental – é o estudo prospectivo que visa à adequação do uso, controle e proteção do ambiente às aspirações sociais e/ou governamentais expressas formal ou informalmente em uma política ambiental, através da coordenação, compatibilização, articulação e implementação de projetos de intervenção estruturais e não-estruturais;
- c) gerenciamento ambiental – é o conjunto de ações destinado a regular o uso, controle, proteção e conservação do ambiente, e a avaliar a conformidade da situação corrente com os princípios doutrinários estabelecidos pela política ambiental.

JUCHEM (1993) tem uma visão mais empresarial de gestão ambiental, definindo-a como um conjunto de políticas, programas e práticas administrativas e operacionais que levam em conta a saúde e a segurança das pessoas e a proteção do meio ambiente, através da eliminação ou minimização de impactos ambientais.

## **2.4 INVENTÁRIO E BASE DE DADOS**

A estruturação de um banco de dados é uma etapa fundamental para pesquisas e elaboração de qualquer tipo de planejamento, e imprescindível no gerenciamento ambiental. Esta etapa é considerada uma tarefa trabalhosa e lenta, e, por isso, aparentemente produz poucos resultados, mas, uma vez concluída, agiliza e facilita a compreensão do espaço, facilita a elaboração de diretrizes do gerenciamento, bem como a compreensão dos usuários envolvidos (PIRES, SANTOS e PIRES, J. S. R., 1997).

No Brasil existem vários problemas relativos à obtenção de dados e informações para utilização com finalidade ambiental. JUCHEM (1993) lista vários problemas relativos ao processo de aquisição de dados, dos quais aqui se dá ênfase àqueles relativos a dados gráficos espaciais:

- a) a relativa desatualização e agrupamento de dados, principalmente os censitários;
- b) dificuldades para a localização e o acesso aos dados de qualquer natureza;
- c) dados levantados por instituições públicas e privadas geralmente coletados com outros objetivos e finalidades que as questões ambientais;
- d) freqüente falta de dados, deficiência no arquivamento e sistematização deles;
- e) dificuldade de se obterem dados confiáveis e atualizados, que, quando existentes, contemplam muitas vezes apenas parte da área de interesse;
- f) dados, em geral, divulgados em nível municipal, o que dificulta sua utilização quando apenas parte deles é afetada e precisa ser analisada separadamente;

g) acesso dos dados dificultado, na maioria das vezes por procedimentos morosos e inadequados.

A coleta de informações a serem armazenadas em um banco de dados orientado para gestão ambiental deve ser feita de forma a identificar os principais componentes da área em consideração, onde várias técnicas e fontes podem ser utilizadas, tais como fotografias aéreas, imagens de satélites, estudos de campo. De acordo com PIRES, SANTOS e PIRES, J. S. R. (1997), o uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é imprescindível para o armazenamento e utilização de informações espaciais envolvendo variações temporais no uso e ocupação do solo e para a modelagem de processos que deverão ocorrer dentro e no entorno de uma área de interesse. Um SIG apresenta inúmeras possibilidades de utilização e inesgotáveis possibilidades de obtenção de novas informações.

O levantamento consiste na realização de um inventário de dados e informações que devem ser estruturados de forma clara e organizada, podendo atualmente, com a facilidade dos computadores, ser dispostos num banco de dados associado a um sistema de informações geográficas que contém imagens e mapas temáticos. Nas etapas do inventário há uma tendência de concentrar esforços da equipe para executar os levantamentos básicos. Estes, por sua vez, normalmente têm custos elevados, são excessivamente específicos e demorados. Por isso o grau de detalhamento de um levantamento deve ser estabelecido *a priori*, levando em consideração as características da área de interesse e os objetivos (GRIFFITH et al., 1997).

Os inventários para a gestão ambiental, além de fornecerem informações essenciais das condições atuais do ambiente, também permitem que se construa uma base de dados temporal, que propicia o acompanhamento das mudanças (monitoramento) ao longo do tempo, fornecendo subsídios para a proposição de alternativas de um manejo adequado, a fim de minimizar o impacto ambiental das atividades humanas.

Segundo SEIFFERT (1996), os principais componentes da base de informações visando ao planejamento físico-espacial para a gestão ambiental compreendem: a) dados

biofísicos (topografia, geologia, clima, solos, recursos hídricos, uso atual da terra e cadastro); b) estatísticas econômico-ambientais (dados demográficos, econômicos, dados do desgaste ambiental e do estado dos danos ambientais); e c) modelos econômico-ambientais preditivos (biofísicos e econômicos, políticas de desenvolvimento sustentável e de integração regional).

MACEDO (1994) enfatiza a importância das seguintes informações como base para a gestão ambiental: a) inventário dos recursos ambientais do território; b) quantidade dos recursos naturais e ambientais a serem apropriados no intervalo de duração do plano; c) qualidade dos recursos e sua relevância no contexto da estabilidade ambiental dos ecossistemas de que participam; d) tecnologia associada ao processo de apropriação dos recursos inventariados; e) riscos ambientais associados à apropriação dos recursos ambientais; f) finalidades de cada apropriação e benefícios resultantes; e g) resultados socioeconômicos esperados.

## **2.5 ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO**

Analisando a literatura disponível, verifica-se que a preocupação com a recuperação de áreas degradadas pela mineração, no Brasil, é recente. Antes de 1980, dava-se pouca importância política e econômica a questões relativas à recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração, mesmo daquelas mais graves, como é o caso da mineração de carvão no Sul de Santa Catarina.

Acredita-se que a pouca importância na recuperação das áreas impactadas pela mineração deve-se à pequena extensão superficial do impacto ambiental, que, apesar de denso, é restrito quando comparado àquele causado pela agricultura. A mineração altera intensamente – destruição completa, quando efetuada a céu aberto – a área minerada e as áreas vizinhas onde são depositados os rejeitos e os estéreis, enquanto que o impacto ambiental da agricultura é menos evidente localmente, ainda que em nível global seja maior que o da mineração (FONSECA, 1995).

Os anais de congressos brasileiros sobre recuperação de áreas degradadas têm trazido algumas publicações relatando pesquisas efetuadas, tanto de levantamento florístico quanto de processos de revegetação das áreas mineradas. No entanto, considerando a extensão, número de áreas mineradas e o tempo de mineração, tais pesquisas são poucas e pontilhadas pelo território brasileiro, concentrando-se em locais específicos, como: a) revegetação em áreas mineradas pela bauxita (FERREIRA *et al.*, 1997), recuperação das cavas de extração de caulim (NATALI, VIANA e FORTES, 1997) e revegetação de taludes em cavas de minas de ferro (SOUZA *et al.*, 1997), todas em Minas Gerais; b) revegetação da área coberta por rejeitos da mineração do cobre em Jaguarari, na Bahia (DRUMOND, LIMA, A. C e LIMA, P. C. F., 1997); c) recuperação ambiental de áreas degradadas pela extração de ferro na Serra dos Carajás (SILVA e DALL'ORTO JR., 1992); d) reflorestamento de mina de bauxita em Trombetas, no Pará (MINERAÇÃO RIO DO NORTE, 1992); e d) recuperação de áreas de exploração de xisto no Paraná (TERABE, 1992). No Rio Grande do Sul, ZANETE e BOFF (1992) apontam o levantamento da vegetação das áreas de mineração de cobre, chumbo e prata, e os levantamentos da vegetação em áreas de mineração do carvão no Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

ZANETE (1982), ZANETE e BOFF (1992) e, mais recentemente, a UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE E JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (1997), doravante citadas como UNESC e JICA (1997), efetuaram estudos em Santa Catarina para um levantamento florístico da vegetação espontânea que se desenvolve sobre pilhas de rejeito estéril nas áreas abandonadas de mineração de carvão a céu aberto, visando à recuperação com este tipo de espécies. No entanto, as pesquisas não avançaram para outras abordagens da cobertura vegetal, como na questão da classificação, estratificação e controle das florestas remanescentes e secundárias ou daquelas plantadas.

## 2.6 IMPORTÂNCIA DOS DIFERENTES SENSORES PARA A GESTÃO AMBIENTAL

O desenvolvimento da tecnologia do sensoriamento remoto facilitou muito a aquisição de dados ou informações da superfície terrestre, que antes só podiam ser obtidos por observações e medições locais diretas, o que era demorado e oneroso. Uma visão sinóptica era difícil de se obter, pois o acesso a lugares era e ainda é feito, via de regra, por estradas.

Para fins de mapeamento são considerados produtos de sensoriamento remoto as imagens fotográficas – que são provenientes de câmaras aerofotogramétricas ou de câmaras de pequeno formato e os sensores não fotográficos – que incluem os sistemas de varredura produzindo dados que, depois de processados, podem ser visualizados como imagens (sensor Spot, sensor Landsat, entre outros). De maneira geral, a Fotogrametria é utilizada para mapeamentos em escalas grandes ou médias, em que se exige detalhamento, rigor e precisão cartográfica. A fotointerpretação assim como a análise digital de imagens de satélite são empregadas para o mapeamento temático ou reconhecimento da área (BÄRH, 1991), e nada impede a combinação entre elas.

A escolha de um sensor apropriado para uma determinada tarefa nem sempre é fácil, e realmente é raro existir um único sensor com características ideais para um problema específico. Os principais fatores a serem considerados na escolha do sensor são a resolução espacial e a espectral requeridas para levantar os dados, e os custos envolvidos. De modo geral, quanto maior a resolução, maior o custo por quilômetro quadrado. Se informações gerais são requeridas sobre uma grande área, pode não ser economicamente justificável usar imagem com grande resolução (LEGG, 1995).

Dos sensores atualmente operacionais que estão disponíveis no Brasil, o LANDSAT, com resolução espacial de 30 metros em seis canais espectrais e um canal termal com resolução de 120 metros, fornece informações para a maioria das aplicações exigidas numa determinada região, como, por exemplo, a cobertura da terra (DRURY, 1990). No entanto, uma



resolução espacial mais refinada é exigida para aplicações do tipo monitoramento da mineração, pois é preciso visualizar diversos elementos que se espalham pela área em atividade, tais como pilhas de rejeito, pilhas de mineral, lagoas de decantação, barracões, acessos, áreas recuperadas, propriedades contíguas, plantações, pastagem, reflorestamentos, florestas e áreas urbanizadas (LEGG, 1995). Para atender a essa necessidade, as fotografias aéreas métricas em escala adequada seriam apropriadas considerando a alta resolução espacial deste sensor. Porém, a resolução espectral pobre, apenas da banda visível, deixa muito a desejar quanto à informação qualitativa, como, por exemplo, sobre a poluição da vegetação adjacente e do solo degradado por efeitos da pirita. Além disso, os custos de um vôo aerofotogramétrico podem ser considerados altos quando comparados aos das imagens de satélite.

Os scanners a bordo da aeronave podem ser uma solução para os casos específicos onde se requer alta resolução espacial e espectral, entretanto, permanece o problema do custo elevado do vôo.

## **2.7 FOTOGRAFIA AÉREA**

A fotografia aérea é ainda o sensor mais conhecido e empregado na identificação e mapeamento dos recursos ambientais. Primeiro, porque a resolução espacial desse sensor dificilmente é igualada por outros sensores disponíveis para uso civil; segundo, porque o conteúdo de uma aerofoto é de fácil interpretação, pois apresenta uma aparência natural em relação à forma, tamanho e cor (filme colorido) dos alvos fotografados.

O princípio da câmara fotogramétrica é o de tomada de fotografias analógicas (em filme negativo) que são transformadas em informações através do processamento fotogramétrico, que, por sua vez, é a retificação de imagens. São padronizadas as constantes focais das câmaras, o formato do filme negativo e as normas de calibração do sensor, dos instrumentos de restituição e dos produtos finais, ou seja, dos mapas (BÄHR, 1991). As

fotografias aéreas são, atualmente, digitalizadas em scanners fotogramétricos para serem processadas fotogrametricamente e produzirem informações na forma digital.

A Fotogrametria é a ciência que se propõe a registrar, por meio de fotografias métricas, imagens de objetos que poderão ser medidos e interpretados (TAVARES e FAGUNDES, 1991). Ela constitui um processo totalmente padronizado, e isso propiciou sua ampla difusão e operação generalizada. Atualmente há disponibilidade de fotografias aéreas, estereorrestituídores e produtos obtidos da Fotogrametria, como mapas e ortofotos, na maioria dos países (BÄHR, 1991).

Nas câmaras métricas geralmente são utilizados filmes pancromáticos de 23 x 23 cm para produzir fotografias em preto e branco a partir de filmes pancromáticos. Esses filmes registram os comprimentos das ondas da faixa espectral da região da luz visível (400 a 700 nanômetros), resultando em um produto fotográfico com variações de tonalidades de cinza, provenientes dos diversos valores de radiância presentes na cena.

A fotografia pancromática é um instrumento indispensável na confecção de mapas em escala grande (cartas topográficas, plantas cadastrais, cartas temáticas), no estudo de conservação do solo e no planejamento urbano e rural, sempre que for necessário um alto grau de detalhamento (BREW, 1980; LOCH, 1993).

### 2.7.1 FOTOGRAFIAS AÉREAS E FOTOINTERPRETAÇÃO FLORESTAL

Na área florestal a fotografia aérea é amplamente empregada, principalmente nos países mais desenvolvidos, como Alemanha, Canadá e USA, para o inventário aéreo florestal, mapeamento florestal e estudos de doenças e pragas florestais, diminuindo muito os trabalhos de campo (TOMAR e MASLEKAR, 1974; PÉLLICO NETTO, 1984).

Um dos trabalhos florestais mais importantes realizados no Brasil utilizando fotografias aéreas pancromáticas, foi o Inventário Florestal Nacional, Florestas Nativas do Paraná e Santa Catarina, efetuado em 1984, executado pela equipe chefiada pelo Prof. Dr.

Silvio Péllico Netto, cuja parte relativa à fotointerpretação foi desenvolvida pelo Prof. Otto Luiz Gantzel.

A fotointerpretação florestal consiste basicamente na identificação e delineamento dos diferentes extratos florestais, em fotografias aéreas ou mosaicos, em consonância com uma classificação adotada. Considerando que um dos objetivos de um inventário florestal é demarcar e avaliar a extensão dos recursos florestais numa determinada área, consegue-se compreender a importância e aplicabilidade das fotos aéreas nesse tipo de trabalho. A fotografia aérea mostra a copa das árvores e seu arranjo espacial, permitindo a delimitação das diferentes classes de vegetação. No inventário terrestre, a copa recebe menor atenção que o fuste e, ao contrário do inventário aéreo, ela sempre é observada de baixo para cima. Nas fotografias de escalas grandes, de 1:2 000 a 1:8 000, é possível distinguir cada árvore, cujas características como a forma da copa e o tipo de ramificação podem ser utilizadas para a sua identificação. Porém, à medida que a escala diminui, tais características tornam-se cada vez menos distintas, passando a ser substituídas pela tonalidade fotográfica, textura e padrão de sombra (PÉLLICO NETTO, 1984; HILDEBRANDT *et al.*, 1992; LOCH, 1993).

A quantidade de informações e exatidão dos produtos da fotointerpretação (mapas) dependem, sobretudo, dos objetivos do levantamento, da escala da foto e de sua qualidade, das mudanças fenológicas, da reflectibilidade dos objetos, da acuidade mental, visual e da experiência do fotointérprete, assim como do conhecimento deste sobre a área fotografada (TOMAR e MALESKAR, 1974).

A qualidade de uma imagem mostrada em uma fotografia aérea é dependente de fatores externos, como luminosidade, ângulo do sol, características da área observada, sazonalidade, condições climáticas e fatores intrínsecos ao sensor (o tipo de filme fotográfico, tipo de filtro e da resolução espacial do sensor). A resolução de um sistema sensor pode ser definida como a capacidade que ele tem de adquirir (registrar) dados da superfície. Nos sistemas fotogramétricos a resolução espacial é obtida da combinação dos poderes de resolução

das lentes e do filme, que geralmente varia de 25 a 100 pares de linhas por milímetro (LOCH e LAPOLLI, 1994). A resolução espacial é que determinará, na maioria das vezes, o que o olho humano pode ou não distinguir, reconhecer e classificar numa imagem de um sensor remoto. A tonalidade é influenciada pelas especificações do filme e dos fatores externos já mencionados, mas é também o fator mais importante que evidencia tipos particulares de povoamentos florestais, principalmente nas fotografias aéreas de escala pequena (TOMAR e MASLEKAR, 1974).

Na classificação da floresta a partir de fotografias em escala média, 1:20 000 ou menor, usualmente se emprega um sistema de classificação amplo, denominado de Sistema de Classificação Florestal Simples. Esse sistema é baseado nos tipos de cobertura existentes, na composição das espécies, nas classes de altura e outros, obtendo-se entre 8 e 9 classes florestais. A classificação da floresta tropical através de aerofotos é muito complexa e difícil de ser efetuada pelo exame de árvores individuais, porque esse tipo de floresta é altamente heterogêneo, apresentando grande número de espécies dispersas e misturadas. Fragmentos puros são raros, por isso a identificação de tipos florestais é feita pela aparência geral do tipo e das relações entre umidade do solo, clima e topografia (TOMAR e MASLEKAR, 1974; WELCH, SAMPOSON e BELL, citados por SAYN-WITTGENSTEIN, MILDE e INGLIS, 1991). Além desses fatores, os mesmos autores apontam outros problemas que dificultam a fotointerpretação de florestas tropicais, como: a) interferência do homem, fatores bióticos como o fogo, pastagens e mudanças nas práticas de cultivo do solo<sup>1</sup>; b) variações amplas nas características da copa de espécies individuais; c) comportamento fenológico e mudanças tonais dentro de pequenas distâncias; d) dificuldade de identificar, no campo, as copas observadas nas fotografias aéreas (algumas vezes as copas dominantes, proeminentes nas aerofotos, não podem ser identificadas em campo; outras vezes, o que parecia ser uma simples copa na aerofoto, na verdade, são várias copas independentes, ou, inversamente, onde pareciam

---

<sup>1</sup> Os problemas apontados pelo autor geram áreas abandonadas ou em pousio, criando diferentes fisionomias em pequenas áreas, conforme a idade de regeneração da vegetação.

várias copas, na verdade, são ramificações de uma única árvore, tornando muito difícil a identificação de espécies em fotografias aéreas).

A classificação da vegetação a partir das fotografias aéreas, neste estudo, é feita segundo a classificação proposta pelo IBGE. Esta proposta está embasada na classificação fisionômico-ecológica da vegetação mundial, de Elleberg & Mueller, que obedece a um sistema hierárquico de formações, distribuídas pela ordem de classe até a formação propriamente dita, seguida das subformações Dombois (VELOSO, RANGEL FILHO e LIMA, 1991). Considerando este sistema de classificação e a localização da área de estudo (encostas do Atlântico), constata-se que a vegetação primária do local é a Formação Floresta Ombrófila Densa, denominada popularmente de “Mata Atlântica”. De acordo com a descrição de KLEIN (1978), a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical) é caracterizada por árvores perenifoliadas de alto porte, variando entre 30 m e 50 m de altura (mesofanerófitos), e também por lianas lenhosas e epífitas em abundância.

A vegetação secundária, dentro do sistema de classificação vegetal fisionômico-ecológico, é distinguida em cinco fases sucessionais (VELOSO, RANGEL FILHO e LIMA, 1991): a) na fase inicial ou primeira fase, a área é colonizada por plantas primitivas e pouco exigentes quanto à qualidade do ambiente; b) na segunda fase da sucessão natural, que não precisa necessariamente passar pela primeira fase, pois depende do estado em que foi abandonado o terreno após o uso, ocorre o que popularmente se denomina de “capoeirinha” ou “vassoural”; c) a “capoeira rala” representa a terceira fase da sucessão natural; d) a quarta fase de sucessão natural constitui a “capoeira” propriamente dita, que compreende uma vegetação complexa que atinge até 6 m (microfanerófitos); e) e por último, o quinto estágio de sucessão constitui a comunidade denominada popularmente de “capoeirão”, que é dominado por árvores que ultrapassam 15 m de altura (mesofanerófitos).

## 2.8 IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens de satélite são amplamente utilizadas no Brasil para mapeamento temático. Mas, ao contrário do que se proclamou, elas nunca puderam substituir as aerofotos para o mapeamento de áreas onde são necessários detalhes da superfície. A grande vantagem das imagens obtidas por Sensoriamento Remoto é que elas contêm mais informações que um mapa (DRURY, 1990). Outra vantagem das imagens de satélite, principalmente as do Landsat TM, sobre as fotografias aéreas é a disponibilidade de imageamento tanto no visível (bandas 1, 2 e 3) quanto fora do espectro visível (bandas 4, 5, 7 e 6). As bandas do infravermelho, do infravermelho próximo, do infravermelho médio, e do canal termal fornecem informações que as aerofotos pancromáticas não podem fornecer. Assim, há novas possibilidades para investigar e monitorar o meio ambiente e compilar diversos mapas temáticos.

O primeiro satélite para estudos sucessivos dos recursos naturais foi lançado em 1972 pela NASA, levando o nome de ERTS, que recebeu mais tarde a denominação LANDSAT – Satélite da Terra. O sistema LANDSAT foi concebido como uma série de satélites para serem lançados a intervalos médios de três a quatro anos. Atualmente está em operação o LANDSAT-5. Esse satélite comporta um sensor ótico de imageamento espectral operando no espectro visível e infravermelho denominado Thematic Mapper. A resolução espectral é definida pelos 7 canais espectrais (mostrados na tabela 1) para um tamanho de imagens de 185 x 172 km (KRAMER, 1996).

TABELA 1: RESOLUÇÃO ESPECTRAL DO SENSOR THEMATIC MAPPER – TM

<b>Banda</b>	<b>Denominação</b>	<b>Comprim. onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>
<b>1</b>	Azul	0,4 – 0,52	30
<b>2</b>	Verde	0,52 – 0,60	30
<b>3</b>	Vermelho	0,63 – 0,69	30
<b>4</b>	Infravermelho Próximo	0,69 – 0,76	30
<b>5</b>	Infravermelho Médio	1,55 – 1,75	30
<b>6</b>	Infravermelho Termal	10,4 – 12,5	120
<b>7</b>	Infravermelho	2,08 – 2,35	30

## 2.9 SISTEMA SCANNER EM AERONAVE

Sensores multiespectrais aerotransportáveis são instrumentos utilizados para imagear a superfície terrestre, operando tanto na porção visível do espectro eletromagnético quanto na do infravermelho. O sistema de imageamento desses sensores pode ser por varredura, quando utiliza um espelho rotativo, ou *push-broom*, quando utiliza detectores CCDs – *Charge Coupled Detectors* (BÄHR, 1991).

Os scanners acoplados em aeronaves são usados para três propósitos principais: a) experimental; b) para obter informações sobre a resposta espectral de objetos e materiais da superfície da terra; e c) para testar sistemas scanners, que mais tarde podem ser incrementados ou simplificados para uso em espaçonaves. Um exemplo é o Daedalus, que tinha 11 canais espectrais, utilizado para testar o sistema de imageamento a ser utilizado posteriormente no TM do Landsat. O sistema scanner em aeronave também apresenta importância para a aquisição de imagens de períodos específicos de demanda (LEEG, 1995).

### 2.9.1 SENSOR CASI

O *Compact Airborne Spectrographic Imager* – CASI é um sensor desenvolvido pela empresa canadense *ITRES Research Ltd.*, que utiliza aeronaves pequenas como plataforma para a aquisição de imagens com alta resolução espacial e espectral, visando atender a necessidades específicas que exigem uma resolução melhor do que aquelas atualmente disponíveis em fotografias aéreas ou imagens de satélite (ITRES, 1994).

O CASI possibilita a geração de imagens digitais programáveis no intervalo do espectro visível (430 nm) ao infravermelho próximo (870 nm), com alta resolução espacial e espectral. As imagens geradas pelo CASI são bidimensionais, ou seja, são construídas por linha-coluna no sentido do deslocamento da aeronave, em tempo real, e armazenadas em fitas magnéticas. Descrições mais detalhadas sobre o CASI podem ser obtidas em NADOLNY (1995) e em OLIVEIRA FILHO (1996).

Segundo ITRES (1994), até 1994 existiam dez sistemas CASI operando em diferentes países, como Espanha, Inglaterra e Canadá. As aplicações do CASI até essa data incluíam, além do Brasil (1991-1992), o Canadá, o Kenya, a França e o Japão. Diferentes estudos e aplicações foram efetuados usando o CASI nesses países, incluindo agricultura, florestas, terras irrigadas ou alagadas e a qualidade da água.

BLACKBURN e MILTON (1994); BORSTAD (1992); MILTON e ROLIN (1994) relataram alguns testes efetuados com o CASI para o setor florestal, monitoramento ambiental e classificação do uso do solo, considerando o comportamento fenológico da vegetação, em que mostraram a viabilidade desse sensor para as diversas aplicações.

Em 1992, foi estabelecido um programa internacional de transferência de tecnologia em SR e GIS entre o Canadá e o Brasil através da Agência Canadense de Desenvolvimento Internacional – CIDA. As empresas envolvidas neste programa pelo lado canadense foram ITRES Research Ltd., DIPIX Technologies e ITERA TYDAC e pelo lado brasileiro, a Aerodata S.A.

Vários projetos piloto foram desenvolvidos no Brasil, objetivando, ao mesmo tempo, mostrar a aplicação do CASI para áreas potencialmente usuárias de produtos de Sensoriamento Remoto no Brasil e assegurar um treinamento apropriado para a sua operação. De acordo com a AERODATA (1994) e SCHWEDER (1993), 24 projetos específicos no Brasil foram escolhidos para demonstrar a tecnologia a setores governamentais e da indústria privada. Dentre os projetos piloto selecionados, Santa Catarina foi beneficiada com 3 projetos nas seguintes áreas: a) meio ambiente – Projeto de Recuperação da Mineração e Qualidade de Vida da Região Sul de Santa Catarina, PRÓ-VIDA; b) agricultura – cultivo de maçãs em Fraiburgo através da Pomifrai; e c) Reflorestamento – áreas de reflorestamento de empresas, como a Papel e Celulose Catarinense, PCC.

Os dados espaciais digitais produzidos para estes projetos foram apenas parcialmente aproveitados ou explorados pelas empresas conveniadas canadenses e brasileiras.



No caso do Projeto Pró-Vida, foram feitas algumas análises espaciais das imagens e comparadas aos dados gerados pelo LANDSAT-5 TM. Esses resultados foram apresentados à Comissão de Geoprocessamento do Estado de Santa Catarina, mas não houve respaldo político à questão. Isso tanto é verdade que novo projeto foi implementado nesta região em 1995/96, em convênio com a JICA.

No caso da agricultura os dados gerados pelo CASI foram testados em uma tese de doutorado desenvolvida por BRAGA FILHO (1995). Apesar dos bons resultados para separar espécies de maçãs, florestas e capoeiras, a empresa Pomifrai não deu continuidade à pesquisa com esse tipo de dados.

Devido a problemas de ordem econômica e administrativa, a tecnologia CASI não teve continuidade no Brasil. Ao lado desses fatos, podem-se acrescentar outros como: administração política descontínua, marketing deficiente, falta de cultura espacial e de visão a longo prazo por parte dos empresários brasileiros beneficiados pelo programa.

## **2.10 ANÁLISE TEMPORAL UTILIZANDO IMAGENS DE SENSORES REMOTOS**

A combinação de imagens de épocas diferentes fornece informações sobre as mudanças que podem ter ocorrido na área. A fusão de imagens temporais é aplicável para imagens de um mesmo sensor, assim como de múltiplos sensores. Considerando os objetivos do estudo e prevendo a utilização de imagens de um mesmo sensor, é preciso estar atento para características tais como: resolução temporal, disponibilidade de imagens em datas específicas, qualidade destas imagens (sem nuvens) e incremento de custo para aquisição (POHL, 1996).

Na avaliação de mudanças temporais em uma determinada região, JENSEN (1983) considera a importância dos dados temporais de sensores remotos em intervalos de tempo diferenciados para cada caso de estudo. Na detecção de mudanças no uso da terra, considerando áreas rurais que se tornaram urbanas, é requerido um intervalo de 5 a 10 anos entre duas imagens. Para áreas ambientalmente críticas, como no caso de mineração e

pedreiras, é indicado um inventário a cada 2 ou 5 anos, enquanto áreas de sensibilidade ambiental, tais como corpos d'água, áreas alagadas ou banhados, devem ser mapeadas num intervalo de 7 a 10 anos.

Para a detecção de mudanças em imagens de diferentes datas, JENSEN (1986) recomenda que a análise seja baseada em um sistema sensor que: a) tenha um período sistemático de recobrimento (como, por exemplo, o Landsat TM a cada 16 dias); b) registre a imagem da mesma região geográfica na mesma hora do dia para minimizar o efeito do ângulo de incidência solar; c) mantenha a mesma escala e geometria do ângulo de visada; e d) registre o fluxo radiante refletido nas mesmas regiões espectrais. Outro cuidado é com respeito à escolha das datas. Sempre que possível deve-se utilizar as "datas de aniversário", isto é, mesmo dia de anos diferentes. Esse cuidado minimizará a diferença na reflectância causada pelas mudanças sazonais da vegetação, pela umidade do solo e por diferenças de ângulo solar.

Entretanto, considerando as mesmas datas do calendário, a experiência de TOWNSHEND e JUSTICE (1995) mostra que a detecção de mudanças em duas imagens é complexa, resultado de uma combinação de diferentes tipos de mudanças tais como: a) áreas que previamente eram uniformes foram alteradas por alta variabilidade, devido a alterações antrópicas; b) áreas que previamente apresentaram variabilidade espacial tornam-se menos variáveis, quando, por exemplo, há uma rebrota em terras deflorestadas, conduzindo à restauração do dossel; c) aumento no contraste entre parcelas agrícolas que já existiam, devido à mudança no tipo de cultivo; d) decréscimo no contraste em partes da imagem, causado pela variabilidade de chuvas em um dos anos considerados, fato que pode reduzir variavelmente o crescimento da vegetação, dependendo das propriedades dos solos; e) fatores externos à superfície, que incluem variações nas condições atmosféricas – que podem afetar o nível de contraste das imagens, variações na calibração e registro não satisfatório entre as imagens.

Várias técnicas são apontadas pela literatura para a detecção de mudanças temporais em dados digitais de satélite; entre elas, superposição de imagens (SILVA, 1995), diferença de

imagens, razão de imagens (JENSEN, 1986), análise por componentes principais – PCA (BYRNE, CRAPPER e MAYO, 1980; FUNG e LEDREW, 1987), análise por componentes principais seletivas – PCAS (CHAVEZ e KUAWARTENG, 1989) e pós-classificação (JENSEN, 1986). A escolha da técnica depende dos objetivos, que podem ser somente para a visualização ou para a medição das mudanças, ou ainda, para atualização. Qualquer que seja a técnica de detecção de mudanças no uso e cobertura da terra por Sensoriamento Remoto, GREEN, KEMPLA e LACKLEY (1994) consideram que elas se baseiam na hipótese de que há uma correspondência entre variações espectrais e mudanças temporais.

No método de superposição de imagens é feita a superposição de uma mesma banda de duas imagens de datas diferentes, atribuindo as cores verde e azul a uma banda e a cor vermelha à banda da segunda imagem. As alterações serão identificadas na imagem colorida resultante, porque aparecerão nestas três cores, e onde não ocorreram mudanças significativas permanece o cinza (SILVA, 1995).

A razão de imagens é um método usado especialmente para detecção de mudanças quando várias datas de imagens são analisadas, porque elas podem reduzir os efeitos do ambiente (por exemplo, sombras, diferenças sazonais) e de múltiplos fatores do sistema sensor que afetam as imagens (JENSEN, 1986).

A subtração de imagens é uma técnica que serve para realçar diferenças espectrais pequenas, refletidas pela diferença nos valores digitais. Para a diferença de uma mesma banda em imagens de datas diferentes, esse método permite detectar a perda da vegetação de grande porte, mas em áreas de vegetação rasteira a detecção das mudanças pode ser camuflada pelas diferentes condições de umidade no solo (GREEN, KEMPLA e LACKLEY, 1994).

No método da comparação pós-classificação cada data de imagens é classificada separadamente e depois os resultados são comparados (JENSEN, 1986). Geralmente os dados da classificação espectral das duas datas são integrados a um sistema de informações geográficas – SIG, para a análise das mudanças temporais (LILLESAND e KIEFER, 1994).

## 2.11 MÉTODO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS SELETIVAS

A técnica de Análise das Componentes Principais – PCA é largamente empregada no processamento digital de imagens de sensores remotos, porque remove a correlação entre as bandas das imagens, reduzindo a dimensionalidade dos dados, o que, conseqüentemente, melhora a eficiência computacional na manipulação, processamento e armazenamento dos dados (LILLESAND e KIEFER, 1994).

As recomendações de FUNG e LEDREW (1987) para a análise temporal por PCA são centradas na quantidade de mudanças que possivelmente ocorrem em uma determinada área. Quando a maior parte da área não sofreu alteração, as imagens apresentarão alta correlação e serão mapeadas nas primeiras componentes. As áreas com alterações na paisagem, por ocuparem pequenas porções da cena, serão mapeadas nas últimas componentes, conforme já sugerido por BYRNE, KRAPPER e MAYO (1980). Áreas que tiveram alterações significativas em grande extensão da imagem apresentaram PCA individuais com diferenças de conteúdo, por isso exigem uma cautelosa avaliação destas e de suas auto-estruturas para definir quais bandas contêm as mudanças temporais.

Uma maneira de contornar as dificuldades de análise das PCA em estudos de mudanças temporais é utilizar somente uma banda de cada imagem, escolhendo a banda em função dos objetivos pretendidos. O maior benefício de se usarem somente duas bandas como entrada para o PCA é que este procedimento elimina automaticamente a maioria das diferenças de baixa frequência entre as duas imagens; isto é, faz uma calibração relativa de imagem–imagem. Além disso, a interpretação dos dados processados é mais fácil, porque a informação que é comum a ambas as datas (variância comum) será mapeada na primeira componente (albedo ou reflectância), enquanto a informação que é específica em cada imagem será mapeada na segunda componente (PICCHIOTTI, CASACCHIA e SALVATORI, 1997; KUARTENG e ALL-AJMI, 1996; LOUGHLIN, 1991).

Um exemplo eficiente de detecção de mudanças usando dados sem calibração radiométrica foi mostrado por CHAVEZ e KUARTENG (1989). O procedimento adotou a transformação por Componentes Principais Seletivos com somente duas bandas de entrada para análise, que, no caso de imagens multitemporais, considera a mesma banda para as diferentes datas. As pesquisas efetuadas por CHAVEZ e MACKINNON (1994) mostraram que para os dados calibrados uma simples diferença entre as imagens apresenta melhores resultados que o procedimento PCA seletivo, porque as baixas frequências por toda a imagem serão removidas por procedimentos de calibração. Se não for aplicada a calibração, é preferível utilizar PCA, que produzirá tão boa detecção automática de mudanças no solo como aquela usando imagens calibradas radiometricamente.

KUARTENG e ALL-AJMI (1996) empregaram a técnica de transformação por componentes principais seletiva para detectar mudanças na vegetação em ambientes áridos do Kuwait considerando duas datas de imagens Landsat-5, com intervalo de 5 anos entre elas. Primeiro, aplicaram NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) para cada data. Depois, as imagens NDVI foram usadas como entrada para a técnica de PCA seletiva. O resultado desse procedimento mostrou que houve um acréscimo de 19% de vegetação na área em análise.

PICCHIOTTI, CASACCHIA e SALVATORI (1997) selecionaram grupos de três bandas de imagens TM, de três diferentes estações do ano, para aplicar seletivamente a transformação por PCA, para verificar as mudanças ocorridas em ambientes heterogêneos com a presença de vegetação aquática permanente e também de sedimentos em suspensão. As bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo mostraram informações significativas em ambientes aquáticos e, em particular, sobre as condições da água. Foi gerado um mapa produzido a partir da primeira componente principal das imagens temporais na banda 4.

A detecção de mudanças da cobertura da terra em área de mineração de calcário foi pesquisada por SIRTOLI (1998), comparando dois métodos. Os resultados obtidos apontaram uma maior eficiência no delineamento das áreas de mudança quando foram utilizadas PCAS,

que quando utilizada a simples subtração de bandas. Outra vantagem apontada é que o método PCA seletiva dispensa o pré-processamento para a correção radiométrica das imagens das duas datas.

## 2.12 CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS DE SATÉLITE

A classificação digital Máxima Verossimilhança (MaxVer), baseada na distribuição Gaussiana, é reconhecida por muitos pesquisadores como a mais exata, motivo pelo qual vários artigos têm comparado esta classificação com outras. INCE (1987) comparou a MaxVer com o método de classificação não-supervisionada (k-NN), constatando que a exatidão e erros da primeira dependem das amostras de treinamento, fato que no segundo método não ocorre. Então, a definição das áreas de treinamento de cada classe precisa ser cuidadosamente feita e analisada estatisticamente. As especificações de limites (*threshold*) controlam o tamanho das nuvens (*clusters*) de cada classe (INCE, 1987), e o número de classes.

FUNG e LEDREW (1988) perceberam que a acurácia total é tendenciosa para a categoria com grande número de amostras, enquanto a média e a acurácia do uso são baseadas nas categorias com menor número de amostras. O tamanho das classes de treinamento, na prática, é tomado como sendo no mínimo 10k onde k é o número de bandas espectrais usadas na classificação. No caso do TM, em que se usa geralmente 6 bandas, este tamanho seria, no mínimo, de 60 pixels (SWAIN e DAVIS, citados por GONG e HOWARTH, 1990; CUSHNIE e ATKINSON, 1985; RICHARDS, 1993).

Outro problema para a exatidão da classificação digital de imagens é a resolução espacial do sensor. A variação interna (ou ruídos de cena) dentro de classes de cobertura da terra, como, por exemplo, nas áreas urbanas que contêm telhados, ruas, árvores e gramados, é muito grande. Por causa da resolução espacial de 30 m da imagem TM, na maioria destes casos a classificação digital da classe não é satisfatória, podendo assinar para um componente

individual e não para toda a categoria designada. Como resultado existirão pixels e grupo de pixels em que a classificação é diferente dos seus vizinhos (CUSHNIE e ATKINSON, 1985).

Apesar da melhoria da resolução espectral do sensor TM em relação ao MSS do Landsat, a largura das faixas espectrais de cada banda é ainda muito larga se comparada àquelas dos sensores scanner aerotransportáveis. Enquanto nestes sensores há possibilidade de escolher bandas para aplicações específicas, limitando a largura da fenda espectral e sua localização no espectro, no Landsat elas são fixas. Este é mais um fato limitante para a classificação de imagens TM, assim como a radiometria de 8 bits do TM comparada à radiometria de 12 bits do CASI, por exemplo. A resolução radiométrica maior permite a observação de mudanças menores na magnitude radiométrica de uma determinada banda e fornece maior sensibilidade para observar mudanças na relação entre as bandas (LILLESAND e KIEFER, 1994).

### **2.13 ANÁLISE DA TEXTURA**

Na interpretação digital, a maioria das técnicas-padrão de classificação disponíveis apresenta algoritmos de classificação baseados somente no uso da informação espectral, ou seja, na intensidade de cinza ou características tonais, deixando de lado as outras características consideradas na interpretação visual. Pesquisas vêm sendo efetuadas para incluir estas outras características para a extração automática de informações de imagens. Com relação à textura, por exemplo, VISA (1990) comenta que as primeiras pesquisas foram iniciadas nos anos 50, com o estudo de extração de feições de texturas em fotografias aéreas utilizando medidas estatísticas. Desde então, o campo foi se expandindo cada vez mais rápido, devido ao poder dos computadores.

No processamento digital de imagens de Sensoriamento Remoto, as feições texturais contêm informações sobre a distribuição espacial das variações tonais dentro de uma banda, e as feições espectrais descrevem a variação tonal das várias bandas de uma imagem. Enquanto a

classificação multiespectral é um processo de agrupamento de pixels de valores de intensidade espectral iguais ou muito próximos, na análise textural, ao contrário, a diferença das feições tonais é que irá caracterizá-la, portanto ela é expressa pela diferença entre as intensidades dos pixels vizinhos e será sempre fundamentada em uma operação de área ou vizinhança (SWAIN e DAVIS, 1978; CRÓSTA, 1992).

Entre as aplicações e pesquisadores que vêm utilizando a análise textural de dados espectrais, PEDDLE e FRANKLIN (1991) citam, entre outros, SHIH e SCHOWENGERDT, na análise da Terra (1983), e SHIKIDMORE, 1989; GORDON e PHILIPSON, 1986 no mapeamento florestal.

No mapeamento da cobertura da terra utilizando a imagem multiespectral SPOT HRV, FRANKLIN e PEDDLE (1990) empregaram matrizes de co-ocorrência espacial e medidas estatísticas da textura como a entropia e o momento diferencial inverso. A exatidão média obtida para a classificação foi de 51% quando utilizaram somente a classificação espectral, e 86,37% quando somaram à classificação espectral a entropia medida na banda 2 e o momento diferencial inverso na banda 3.

BRIGGS e NELLIS (1991) mostraram os resultados de sua pesquisa salientando que o objetivo principal era usar análise de textura aplicada às imagens multiespectrais do SPOT HRV, para monitorar a pradaria de Konsa, na estação de crescimento, observando a heterogeneidade das trocas que ocorrem nas várias unidades da paisagem. Para tanto, utilizaram sete datas diferentes de imagens SPOT de um mesmo ano. O algoritmo textural aplicado para cada banda individualmente foi aquele proposto por JENSEN (1986), passando um operador de textura mínimo—máximo, determinado em uma janela móvel de 3 x 3 pixels. O algoritmo textural aplicado após a normalização do índice de vegetação (NDVI) permitiu a detecção de áreas com intensa heterogeneidade na paisagem, sendo recomendado seu uso para estudos da paisagem em áreas de ecologia complicada.



## 2.14 CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Uma imagem digital é uma matriz multidimensional de números que caracterizam uma cena, ou seja, cada banda espectral consiste de uma ordem “M x N” de números que permite representar a intensidade da imagem em cada pixel que a compõe.

Um passo importante na comparação de imagens multitemporais de sensores remotos é a calibração geométrica, correção dos efeitos atmosféricos e eliminação dos ruídos radiométricos oriundos do sistema de imageamento (CHAVEZ e KUARTENG, 1989). A correção geométrica é de importância vital para a fusão de imagens na forma raster, requerendo a definição prévia do modelo geométrico, pontos de controle e método de reamostragem (JENSEN, 1986; POHL, 1996; KUARTENG e ALL-AJMI, 1996).

A correção geométrica ou modificação de projeção de uma imagem envolve o reposicionamento de um pixel de um lugar para outro, onde precisa ficar para obter a geometria desejada. Ela inclui a remoção de erros geométricos devido ao sensor, orientação da plataforma e efeitos da cena (BERNSTEIN, 1983). Há três possibilidades para a correção geométrica de imagens, que são utilizadas conforme a aplicação (POHL, 1996):

- a) registro – usado quando se quer comparar os dados de duas imagens de datas diferentes; para tanto, é suficiente uma transformação Afim ou Polinomial baseada em pontos de amarração comuns às duas imagens, e, neste caso, os pontos de amarração localizados nas duas imagens são medidos para transformar a geometria de uma imagem para a geometria da outra, tornando as imagens comparáveis pixel a pixel.
- b) georreferenciamento – o usuário designa coordenadas para os pixels da imagem via modelo de correção geométrica, onde os pontos de controle deverão ser comuns à imagem e a um mapa, o qual definirá os valores de coordenadas para aquele ponto na imagem que assumirá a geometria e projeção do mapa, embora as distorções do relevo não sejam corrigidas; para que isto ocorra, são necessárias informações sobre altitudes terrestres;

c) retificação de imagens digitais – utiliza modelos matemáticos desenvolvidos na Fotogrametria para modelar; as relações geométricas entre dois espaços são geralmente feitas através de um conjunto de pontos dados em ambos os espaços, os quais devem conter informações suficientes ou superabundantes da geometria que é objeto de interesse (LUGNANI, 1985).

O principal fator a ser considerado na correção geométrica de imagens é a distribuição dos pontos de controle, também denominados de pontos de amarração. Esses pontos devem ser em número suficiente e bem distribuídos, e seu número dependerá do modelo utilizado ou do grau do polinômio (POHL, 1996), que cresce segundo sua ordem (quanto maior o grau, mais pontos são necessários para calcular os dados). Os polinômios são muitas vezes escolhidos empiricamente como o modelo matemático a ser usado em diferentes aplicações.

Um polinômio de 1º grau descreve a translação, rotação, escala e obliquidade da imagem. O de 2º grau adiciona parâmetros de torção e convexidade. Os parâmetros dos polinômios de 3º grau não podem ser explicados por efeitos físicos. Os modelos polinomiais corrigem a imagem somente localmente; por isso esta depende da localização e distribuição dos pontos de controle. Em terrenos planos, uma boa distribuição de pontos de controle garante uma boa correção de imagem. Esse tipo de modelo não é indicado para ser utilizado quando há fortes variações na topografia, pois pode conduzir a grandes erros em áreas não cobertas por pontos de controle. Nesse caso, é preciso um grande número de pontos de controle (POHL, 1996).

Para as imagens Landsat, tem sido demonstrado que é suficiente usar um polinômio de 1º ou 2º grau em conexão com Mínimos Quadrados para calcular os coeficientes (RICHARDS, 1993; BILLINGSLEY, 1982). Poderá se chegar à exatidão do subpixel dependendo da qualidade e distribuição variada dos pontos sobre a cena.

## 2.15 CARTOGRAFIA TEMÁTICA COMO BASE PARA A GESTÃO AMBIENTAL

Os seres humanos podem viver anos num lugar e quando perguntados sobre este lugar têm dificuldade de expressar verbalmente seu conhecimento. É difícil para uma pessoa comunicar sua idéia de um determinado lugar (imagens mentais) só com palavras. Os mapas são instrumentos visuais concretos que têm o poder de sintetizar a percepção espacial que o ser humano tem do ambiente, ou seja, um mapa representa graficamente as imagens mentais de um determinado espaço. Portanto, para “conhecer” um lugar, precisa-se de mapas.

Um mapa é muito mais que a redução da realidade que nos conduz a ver as relações espaciais que existem em áreas grandes ou a ver os detalhes de áreas pequenas. Ele é um instrumento para o registro, cálculo, visualização, análise e entendimento da relação entre as “coisas” de um determinado espaço (ROBINSON et al., 1995).

Comparando um mapa a uma imagem, observa-se que a imagem mostra mais informações que um mapa na mesma escala, não importando o quão detalhado ele seja. Utilizar um ou outro depende da necessidade e dos usuários. Alguns pesquisadores, no início dos anos 90, chegaram a conjecturar que as imagens digitais dos sensores seriam as candidatas ideais para substituir ou até mesmo suplantar completamente os mapas convencionais, pois elas podem ser registradas para a projeção cartográfica de um mapa (DRURY, 1990). No entanto, isto não tem ocorrido, pois, em muitos casos, se requer a informação disposta de forma clara e limpa, isto é, sem que haja necessidade de interpretá-la e separá-la de outras, como ocorre quando se usa uma imagem. Para tanto, é preciso produzir mapas extraindo as feições das imagens que são relevantes para um determinado usuário.

A diferença básica entre um desenho qualquer da paisagem e de mapas está na escala dos mapas. Os desenhos de paisagens não têm escala e não são mensuráveis, portanto, não são mapas. Em um mapa precisa ser definida além da escala, uma projeção, coordenadas (para ser localizado espacialmente) e uma exatidão. Seu conteúdo precisa ser descrito intuitivamente ou

por uma legenda (ARTIMO, 1994). Com essas observações não há como confundir desenhos, imagens, fotografias e croquis da paisagem, com mapas de um mesmo lugar.

A cartografia possibilita a representação da distribuição espacial dos elementos do ambiente e seus atributos, sendo os mapas ferramentas básicas para a análise descritiva morfológica. E para os planejadores, eles são instrumentos que permitem conhecer o espaço físico em que atuam (LOCH R. E. N., 1994).

### 2.15.1 O QUE É UM MAPA TEMÁTICO

Assim como a escrita, no século XV, os mapas evoluíram de “manuscritos” para mapas impressos, aumentando sua produção e a difusão pelo mundo (WOOD, 1994). O desenvolvimento da cartografia fez-se primeiramente na cartografia topográfica, que trata da representação da superfície terrestre e dos elementos nela constantes. Mas o homem viu que era necessário tratar separadamente alguns aspectos da superfície, pois era impossível colocar toda a informação num mesmo mapa. A solução encontrada foi multiplicar e diversificar os mapas, aparecendo, então, os mapas especializados (JOLY, 1990).

Com a ampla utilização de mapas, é fácil perceber que eles são caracterizados diferentemente, conforme o fim a que se destinam. Um mapa para o ensino é diferente de um mapa urbano ou de um mapa que mostra na televisão a variação da temperatura num determinado território. Essas diferenças têm gerado discussões quanto à função dos mapas, resultando em três categorias, mas, apesar dos esforços para separá-las nitidamente, isso não é possível. Dentro destas categorias aparece o mapa temático, que nos dias atuais é o mais conhecido pela população em geral, exatamente por aparecer nos meios de comunicação de massa.

O mapa temático surgiu após o século XVII, provocando uma verdadeira revolução no caráter dos mapas. A representação de novos conjuntos de dados e das novas tarefas apresentou verdadeiros desafios aos cartógrafos da época. Muitos dos símbolos e gráficos

utilizados atualmente tiveram origem durante o período de crescimento do mapeamento temático (ROBINSON *et al.*, 1995). Nas últimas décadas o mapa tornou-se um instrumento comum no dia-a-dia das pessoas; ele está presente nos meios de comunicação como a televisão, os jornais e revistas, na rede mundial de computadores (Internet), nos livros didáticos, nas praças e ruas das cidades, nas pesquisas científicas, no comércio, na indústria e nos organismos públicos, e a tendência é a de que cada vez mais os mapas façam parte da nossa vida, pois eles facilitam a comunicação de informações espaciais.

Um conceito para mapa temático poderia ser expresso como sendo mapa que representa um determinado tema ou fenômeno que se desenvolve no espaço físico. Como os assuntos dos quais o ser humano se ocupa são muitos e variados, também são muitos e variados os mapas temáticos da atualidade (LOCH R. E. N., 1994). Os mapas temáticos se diferenciam de um mapa topográfico pelo assunto de que tratam. Num mapa topográfico (que faz a representação do terreno) o assunto tratado é estritamente descritivo e geométrico; no mapa temático, é analítico e eventualmente explicativo. Os mapas temáticos englobam todos os setores do conhecimento geográfico e até mesmo os ultrapassam, para tratar de assuntos históricos, políticos, culturais, econômicos e técnicos (JOLY, 1990).

A construção de um mapa temático parte sempre de uma base de referência, geralmente extraída dos mapas topográficos, sendo feita sobre esta a representação convencional dos fenômenos localizáveis, utilizando símbolos qualitativos e/ou quantitativos. De maneira geral, os mapeamentos temáticos são feitos de forma indireta, baseados na percepção visual obtida na interpretação de aerofotos e imagens de satélite, mas algumas vezes são obtidos diretamente, através de observações e medidas no campo. Alguns mapas podem ser baseados em dados e índices relacionados com mensuração (declividade, densidade de rios, densidade de drenagem, produção de biomassa, pluviometria, tipologia climática), sendo instrumentos oriundos de procedimentos indiretos (CHRISTOFOLETTI, 1989; LOCH R. E. N., 1994).

### 2.15.2 O USUÁRIO DO MAPA TEMÁTICO

A comunicação sempre foi considerada importante na cartografia, porque um mapa deve, antes de tudo, estabelecer uma comunicação entre o cartógrafo e o usuário: o cartógrafo comunica para o usuário, através do mapa, sua idéia ou a sua apreensão do mundo real. Este interpreta o mapa, isto é, extrai informações, segundo suas experiências e conhecimentos, para reconstruir mentalmente a realidade. Na atualidade, com o desenvolvimento dos microcomputadores e dos Sistemas de Informação Geográfica, o conceito de comunicação cartográfica foi ampliado; ela não é meramente a comunicação de uma mensagem, mas um processo de visualização cartográfica que assume uma forma dinâmica de uso, aumentando gradativamente os níveis de iteração, até atingir a animação (PETERSON, 1994).

A natureza dos desenvolvimentos tecnológicos recentes permite uma iteração dinâmica entre usuários e os produtos cartográficos, o que antes não era possível. Tal fato vem criando um efeito enorme, em que não se distingue mais o criador de produtos cartográficos (cartógrafo) e seu usuário, o que reflete em novas possibilidades de comunicação cartográfica.

Muitos sistemas iterativos e base de dados oferecem tantas escolhas que podem levar a confusões ou subutilização da base de dados. Produtos cartográficos, como o mapa, são o meio ideal para a efetiva organização, representação e comunicação da informação numa ampla variedade de áreas temáticas (TAYLOR, 1996), o que aumenta a responsabilidade do cartógrafo (ou dos usuários dos sistemas computacionais) na escolha da simbologia, traços e cores adequados para um determinado mapa temático.

As considerações efetuadas mostram quão importante é o fato de o usuário ter algum entendimento do processo de comunicação cartográfica para melhor atuar na dinâmica da fusão de dados e nas situações iterativas criadas pelas novas tecnologias SIG e multimídia.

Também se deve considerar que o processo de análise e cognição não é fácil de reproduzir num SIG. A cognição é um processo que envolve o reconhecimento de padrões e relações num contexto espacial, onde a visualização é fator-chave (TAYLOR, 1996). Na

Cartografia a comunicação é antes de tudo visual, e, por isso, a simbologia, cores e disposição espacial dos elementos que compõem o mapa devem ser utilizados de forma a comunicar rápida e claramente o que se deseja.

## **2.16 OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG**

O crescimento da população em áreas vulneráveis ou de risco aumenta o número de vítimas dos desastres naturais ou por contaminação de agentes químicos lançados no solo, água e ar. Medidas preventivas devem ser tomadas, incluindo o controle do crescimento da população e o planejamento a longo prazo para o uso sustentável da terra nestes locais. As técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG podem ser usadas para a detecção destes problemas, e para a proposição de estratégias para a mitigação e prevenção tanto em nível regional como local (GROTEN, 1993).

O SIG é uma ferramenta de integração de dados sociais, físicos e econômicos, mas pode somente realçar capacidades humanas para análise e integração das informações. Problemas complexos requerem soluções integradas complexas. Métodos apropriados de sensoriamento remoto, incluindo fotografias aéreas em escalas médias e grandes, e experiências pessoais podem desempenhar um papel importante na integração de tecnologias tradicionais e modernas para a solução de problemas locais (GROTEN, 1993).

A automação forneceu ferramentas analíticas das quais derivaram os SIGs, facilitando a exploração de dados espaciais e encorajando o usuário ou cartógrafo a explorar representações gráficas alternativas, que anteriormente eram executadas no final, por pessoa especializada – o cartógrafo.

Apesar do poder analítico dos SIGs, as ferramentas disponíveis num processo conceitual são limitadas (WOOD e KELLER, 1996). A cognição cartográfica é um processo que envolve o cérebro no reconhecimento de padrões e relações num contexto espacial, o que não é fácil reproduzir num software de SIG (TAYLOR, 1996). As tentativas neste sentido

conduzem a sistemas especialistas, ou conhecimento baseado em sistemas, que, apesar do progresso, ainda estão longe de alcançar a imaginação e a criatividade do ser humano, (WOOD e KELLER, 1996).

O que distingue um SIG de um sistema CAD (*Computer Aided Design*) é a capacidade de o primeiro guardar a topologia dos objetos representados num mapa e de trabalhar com as diversas projeções cartográficas. BREUNIG (1996) diz que os sistemas de geoinformação são divididos em várias classes, de acordo com seu campo de aplicação, como: Sistemas de Informação Geográfica (GISs), Sistemas de Informação Ambiental (EIS) e Sistemas de Informação da Terra (LIS)<sup>2</sup>.

Os sistemas de informações, dependendo da cartografia inserida, são capazes de propiciar tanto uma visão particular quanto uma visão geral do espaço, seja ele urbano, rural ou regional. Isso possibilita aos tomadores de decisão obterem uma indicação rápida e segura para os problemas existentes naquela determinada área (LOCH, 1994).

Uma definição para SIG foi resumida por BREUNIG (1996) como sendo:

“um sistema para a entrada/saída, gerenciamento, processamento e integração de informações geocientíficas referenciadas espacialmente, que podem ser estendidas para a quarta dimensão (tempo).”

Segundo CÂMARA (1993), as principais características dos sistemas de informações geográficas são:

- integrar numa única base de dados informações heterogêneas: imagens de satélites, mapas, modelos numéricos do terreno (MNTs) e dados alfanuméricos;
- ser capaz de analisar e combinar as várias informações, utilizando algoritmos de manipulação, e gerar mapeamentos derivados; e
- consultar, recuperar, visualizar e desenhar o conteúdo da base de dados.

---

<sup>2</sup> Abreviaturas são derivadas do inglês, respectivamente: Geographical Information Systems; Environmental Information Systems; Land Information Systems.



### 3 ÁREA DE ESTUDO: MICROBACIA DO RIO FIORITA

A microbacia do rio Fiorita, com seus 55,4 km<sup>2</sup>, faz parte da subbacia do rio Mãe Luzia, a qual pertence à bacia do rio Araranguá, localizada no Sul do Estado de Santa Catarina, na área geográfica denominada de Região Carbonífera. A maior parte da microbacia do rio Fiorita está contida no município de Siderópolis.

O rio Fiorita junto com o rio Sangão somam as maiores cargas poluidoras decorrentes das atividades de lavra e beneficiamento do carvão que afluem ao rio Mãe Luzia (SANTA CATARINA, 1997a). Enquanto o rio Sangão teve todo seu leito afetado por estas atividades, o rio Fiorita teve suas nascentes preservadas, apresentando água de ótima qualidade. A mineração a céu aberto ocorreu na parte mais central da bacia, próximo à sede do município de Siderópolis e, apesar de a mineração a céu aberto estar praticamente extinta, ainda persistem problemas de poluição devido à carga tóxica dos rejeitos de carvão espalhados por toda a extensão minerada.

É a área degradada da microbacia do rio Fiorita o alvo desta pesquisa (vide Figura 1), ainda que as informações obtidas nas imagens de satélite abranjam toda a microbacia. Tal área degradada vem sendo apontada como uma das áreas mais urgentes para projetos de reversão ou amenização do atual quadro de degradação, porque a mineração a céu aberto foi a que causou maior impacto, alterando totalmente a paisagem, o solo, a água e o ar. Segundo o relatório final da UNESCO e JICA (1997), existem dois projetos de recuperação previstos para esta área: o projeto Siderópolis e o projeto Dal-Bó. O mesmo relatório aponta um total de 2.250 hectares de área degradada no município de Siderópolis.

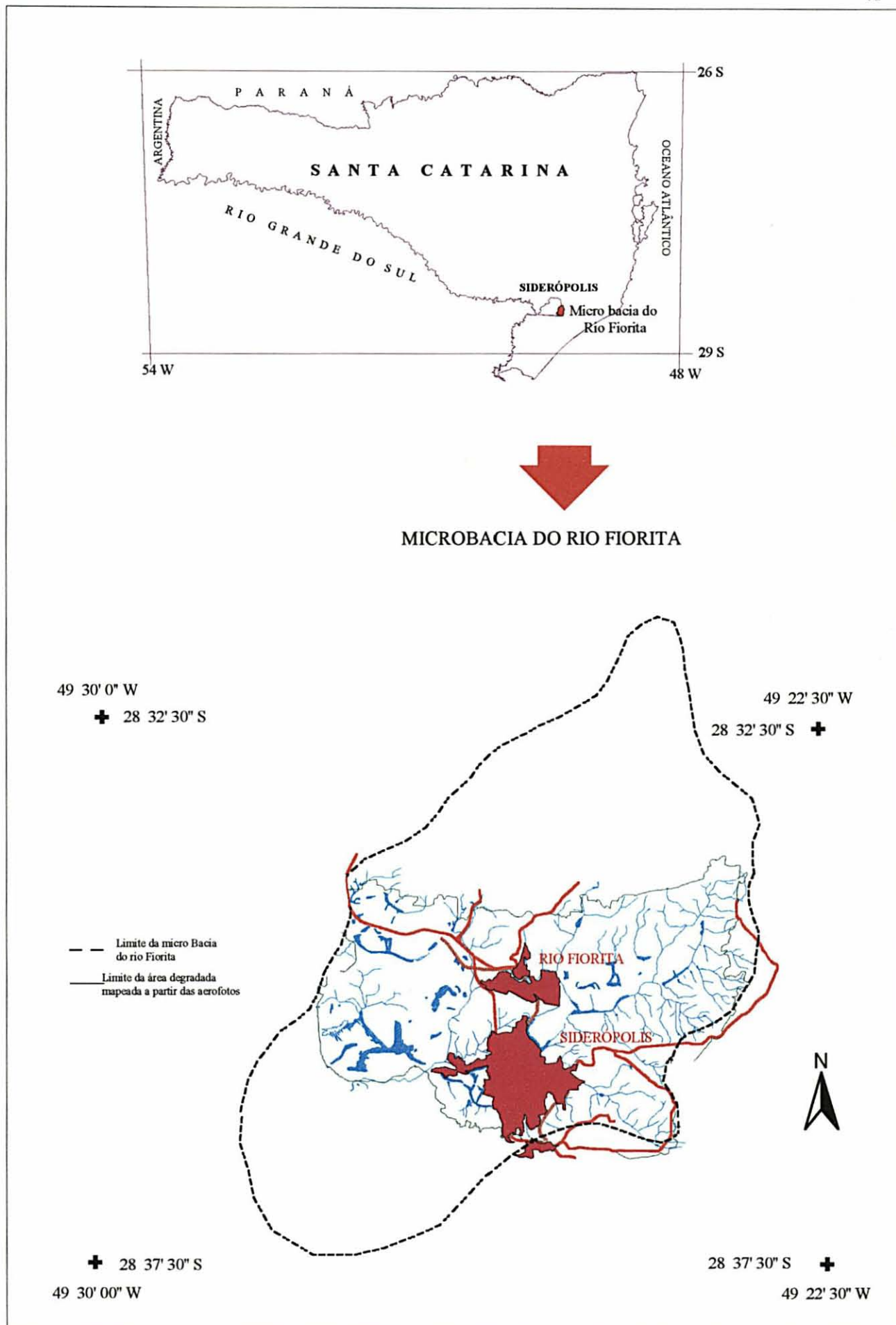


FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

### 3.1 ASPECTOS FÍSICO-TERRITORIAIS

Siderópolis está integrado à Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC), composta por 10 municípios: Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Nova Veneza, Criciúma, Cocal do Sul, Forquilha, Içara, Morro da Fumaça e Treviso. Destes municípios apenas Morro da Fumaça não apresenta problemas ambientais decorrentes da exploração do carvão mineral.

#### 3.1.1 CLIMA, GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

O clima do município, segundo classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico úmido, sem estação seca, com verões quentes, apresentando uma temperatura média anual que varia de 16°C a 18° C; uma precipitação total anual entre 1.400 a 1.800 mm; umidade relativa anual entre 80 a 85%, e 1.800 a 2.200 horas de insolação no ano.

A geologia de Siderópolis é caracterizada por três domínios geológicos distintos na Bacia do Paraná: Grupo Itararé, Grupo Guatá (destaca-se a formação Rio Bonito, de onde é explorado o carvão) e Rochas Efusivas (Formação Serra Geral), que situa-se no limite Oeste do município (MÜLLER, et al., 1987).

A formação Rio Bonito apresenta na seção superior arenitos imaturos finos e médios, depósitos de argilas, mica, siltito, folhelhos carbonosos, leito de carvão<sup>3</sup> e conglomerados. Na seção média são encontrados siltitos e folhelhos esverdeados, com níveis carbonáticos argilosos e arenitos muito finos. A seção superior foi formada por depósitos litorâneos e fluvio-deltáicos representados por arenitos finos e muito finos, escuros intercalados com argilitos e folhelhos carbonosos, além de leitões de carvão (SANTA CATARINA, 1991).

O afloramento de camadas de carvão Barro Branco e Bonito Inferior em Siderópolis marca os limites Leste das jazidas de carvão de Santa Catarina. Essas duas camadas são as de maior interesse econômico porque possuem carvão com propriedades coqueificantes,

---

<sup>3</sup> espessura de até 1,20 m (observado no campo pela pesquisadora)

possibilitando a retirada de uma fração de carvão metalúrgico. As áreas favoráveis para a lavra a céu aberto estão praticamente esgotadas, tendo potencial para mineração subterrânea de até 300 m de cobertura (BRASIL, 1986).

O relevo de Siderópolis é irregular, formado por planaltos, planícies, vales e montanhas, distribuídos da seguinte forma: 39% de terras planas (0% a 3% de declividade) ou suavemente onduladas (3% a 8% de declividade), 38% de terras onduladas (8% a 20% de declividade) e 23% de terras montanhosas (mais de 45% de declividade). Os principais acidentes geográficos são: o morro do Montanhão, o morro São Martinho e o Costão da Serra, situados na parte oeste do município, fazendo divisa com o município de Bom Jardim da Serra. O relevo artificial formado pela extração do carvão mineral a céu aberto, denominado de “paisagem lunar”, é uma característica do município.

De acordo com SANTA CATARINA (1997b), no que diz respeito aos solos, 39,6% do município apresenta solos Litólicos Álicos, na maioria presentes na Serra Geral, em áreas de preservação permanente. Nas proximidades da serra ocorrem Cambissolos Húmico Distrófico (de baixa fertilidade, má drenagem e, às vezes, afloramentos de rocha), e Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossólico Álico, muito suscetíveis à erosão devido ao relevo fortemente ondulado; estes solos ocorrem em 47,3% do município. Em 13,1% da área remanescente do território municipal ocorrem os Cambissolos Eutróficos de melhor potencial agrícola, Cambissolo Húmico Álico (na área de Montanhão) e Terra Rocha Estruturada Distrófica (em relevo ondulado a forte ondulado)

### 3.1.2 HIDROGRAFIA

O sistema hidrográfico do município de Siderópolis é formado pelos rios Jordão, São Bento, da Serrinha, Manim, Fiorita e do Pio, principais afluentes da Bacia do Rio Mãe Luzia. No Rio Jordão, está instalada uma estação de tratamento e captação de águas da CASAN, que

abastece os municípios de Criciúma, Nova Veneza e Içara. A nascente do Rio Kuntz abastece a área urbana de Siderópolis.

Segundo SANTA CATARINA (1997a), nas proximidades da cidade, os rios Fiorita e Kuntz estão poluídos pela carga tóxica dos resíduos da mineração, apresentando suas águas impróprias para o consumo humano. A qualidade da água nestes locais cai acentuadamente, atingindo os seguintes níveis: pH baixo (3,03), acidez elevada (610 mg/litro), altos teores de sulfatos (1.893 mg/litro) e altas concentrações de ferro (80 mg/litro). Segundo a resolução nº 20, de julho de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), portaria nº 36/GM, de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde, os padrões de qualidade para a água de consumo humano e animal, aceitos pela legislação são: pH entre 6 e 9; sulfatos, 250 mg/litro SO<sub>4</sub>; ferro solúvel 0,3 mg/litro Fe.

### 3.1.3 VEGETAÇÃO

Segundo KLEIN (1984), a vegetação primitiva que cobria as encostas da Serra do Mar (Siderópolis está localizado nestas encostas) ostentava uma pujante floresta tropical denominada de Floresta Ombrófila Densa. A predominância de um pequeno número de espécies emprestava à floresta uma homogeneidade fitofisionômica, dificilmente igualada por outra floresta latifoliada brasileira, onde as lauráceas do gênero *Ocotea* desempenham papel decisivo.

A utilização sistemática das terras para fins agrícolas e a exploração do carvão mineral acabaram praticamente extinguindo a vegetação nativa do município de Siderópolis. Do que restou da floresta, em locais de difícil acesso, foram extraídas espécies de maior valor comercial, o que mutilou e desfigurou completamente a sua unidade fitofisionômica. Foram identificadas duas importantes formações no território municipal: a) Formação Submontana, a qual se desenvolve em altitudes de até 400m; portanto, em toda a área da microbacia do rio Fiorita ; e b) a Formação Montana, ocorrendo em áreas de forte declividade em altitudes que

variam de 400 a 1.000 m, nas encostas da Serra Geral, à Oeste do município (SANTA CATARINA, 1997b).

Na Formação Submontana original, de acordo com KLEIN (1984), sobressaíam-se pela importância e abundância, a canela-preta (*Ocotea catharinensis*), como dominante, a laranjeira-do-mato (*Slonea guianensis*), o pau-óleo (*Copaifera trapezifolia*) e a peroba-vermelha (*Aspidosperma olivaceum*), entre outras, como subdominantes. No estrato médio da floresta, encontrava-se em abundância o palmitero (*Euterpe edulis*), também existiam o guamirim-branco (*Calytranthes eugeniopsoides*), a canela-pimenta (*Ocotea teleiandra*), o coração-de-bugre (*Maytemus alaternoides*) entre outros. No alto das encostas (Formação Montana), com solos bastante rasos e de rápida drenagem era dominado por árvores seletivas como a cupiúva (*Tapirira guianensis*), a canela amarela (*Ocotea aciphylla*), e o guaraparim (*Vantanea compacta*).

Atualmente existem alguns redutos florestais com vegetação remanescente localizada, em sua maior parte, na Serra Geral. Espécies exóticas como o eucalipto, foram introduzidas e disseminadas na região para suprir a demanda de madeira nas propriedades rurais e, por isso, ocupam pequenas porções nas propriedades. Nas áreas abandonadas pela mineração de carvão encontram-se reflorestamentos com eucaliptos e algumas espécies nativas, denotando indícios de um lento processo de reversão do quadro crítico gerado pela mineração. Foram introduzidos com a preocupação de proteção dos efeitos da erosão sobre os montes de estéreis da mineração.

Estudos realizados em Siderópolis por ZANETE (1982) E ZANNETE e BOFF (1992), sobre as áreas de depósitos de rejeitos resultantes do processo de lavra e beneficiamento, demonstraram que nestes locais desenvolve-se uma flora adaptada naturalmente às condições de solos de baixa fertilidade, altamente ácidos e de baixa capacidade de retenção d'água.

Existem três publicações relatando os levantamentos florísticos expeditos efetuados em algumas áreas amostrais de áreas degradadas pela mineração e seus arredores. Todas tiveram como objetivo levantar as espécies de maior ocorrência no local. A primeira delas foi executado por ZANETE (1982) somente para a mesma área de estudo desta pesquisa. A segunda publicação mostra os resultados de uma pesquisa efetuada por ZANETE e BOFF (1992) envolvendo, além desta área, mais uma localidade próxima também degradada pela mineração. Os resultados obtidos pelos pesquisadores mostram que as formas biológicas predominantes foram: vegetação herbácea (67,01%), seguida de espécies arbustivas (17,53%), árvores (9,28%) e lianas (6,18%). Tal composição florística ocorria em locais abandonados onde houve lavra a céu aberto, desenvolvendo-se diretamente sobre os estéreis da mineração ou em locais cujos estéreis receberam uma cobertura parcial de argila. A terceira publicação foi aquela executada para a JICA, na área do rio Fiorita, tendo por objetivo verificar as espécies potencialmente aptas à revegetação das áreas degradadas pela mineração de carvão (UNESC e JICA, 1997). Na estratificação da vegetação desse último levantamento foram considerados seis estratos: Estrato arbóreo > 8 m; Estrato das árvores mais baixas – 2,0 a 8,0 m; Estrato arbustivo – 0,8 a 2,0; Estrato herbáceo – 0,1 a 0,8 m; Estrato próximo ao solo < 0,1 m e; Liana.

#### 3.1.4 QUALIDADE AMBIENTAL

A maior dívida deixada pelo desenvolvimento econômico e social atrelado à exploração do carvão mineral no sul de Santa Catarina é, sem dúvida, a degradação ambiental com focos distribuídos por toda a região.

A degradação ambiental causada pela mineração na microbacia do rio Fiorita é a mais acentuada do município de Siderópolis, devido à exploração à céu aberto. Inclusive, a cidade de Siderópolis (como se pode constatar na série histórica das aerofotos) está assentada em área minerada sem medidas adequadas para a redução da poluição ambiental. Este fato coloca, atualmente, como uma das prioridades para o município estabelecer um plano de

recuperação das áreas mineradas dentro do atual perímetro urbano e promover a gradual recuperação das áreas mineradas que separam a sede do bairro Rio Fiorita (SANTA CATARINA, 1997b).

A histórica acomodação das mineradoras da região, uma herança das facilidades da reserva de mercado e da proteção governamental à atividade, não estimulou a pesquisa e experimentação a fim de se buscarem outros usos para os rejeitos de carvão. Omitiram-se, neste caso, o governo, as empresas e os órgãos de pesquisa. A tarefa de recuperação das áreas degradadas do Sul de Santa Catarina dificilmente poderá ser atribuída exclusivamente às mineradoras em operação, devendo constituir-se em projeto específico de âmbito regional (SANTA CATARINA, 1997b).

### **3.2 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS**

A população do município, segundo dados de uma pesquisa feita pela Prefeitura Municipal de Siderópolis em junho de 1996, era de 13.069 habitantes, sendo 5.019 residentes na zona rural e 8.050 na zona urbana. A população do bairro Rio Fiorita era de 1.549 habitantes (PREFEITURA MUNICIPAL DE SIDERÓPOLIS, 1996).

A economia do município baseia-se na agricultura, pecuária, mineração, comércio e indústria. Entre os principais produtos agrícolas produzidos estão: milho, fumo, arroz, feijão, batata, banana, mandioca, cebola, cana-de-açúcar, hortaliças e frutas. A banana é a cultura mais expressiva e rendosa, sendo cultivada numa área de 1.105 ha. Siderópolis é o segundo maior produtor de bananas na região Sul de Santa Catarina. Na pecuária destacam-se os rebanhos de gado e suínos. A criação de bovinos para o corte é feita em confinamento, além da criação de vacas leiteiras. A criação de aves e suínos destaca-se no município, através do sistema integrado a agroindústrias. A apicultura e a criação de peixes também são praticadas no município.



Além da atividade extrativa carbonífera, que predominou no município por muitos anos, destacam-se as indústrias de transformação no setor metalmeccânico, química, madeireira, indústrias de tintas, produção de coque, materiais cerâmicos, fibras de vidro, móveis, metalúrgicas, entre outras.

### 3.3 BREVE HISTÓRICO DA MINERAÇÃO

A atividade carbonífera em Santa Catarina está historicamente atrelada a tutela e decisões do Governo Federal. Desde a sua descoberta, em 1827, em Lauro Müller, passando pelo início da sua extração neste mesmo local, em 1885, e posterior expansão regional, renovação de interesses pelo produto nacional durante as duas grandes guerras mundiais, e pela crise do petróleo, sempre houve interferência do governo, adotando medidas de proteção e estímulo, as quais geraram efeitos ora positivos, ora negativos<sup>4</sup>.

Em 1945 começou a exploração de carvão metalúrgico para abastecimento dos fornos da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, mas, foi somente a partir de 1973, com o primeiro grande choque da falta de petróleo, que foram repensadas novas possibilidades de aproveitamento do carvão mineral. Foram implantadas grandes minas mecanizadas na região carbonífera, e a economia local passou a viver o “eldorado” do carvão, que recebeu um subsídio do governo de quase 90% no preço final do produto e até 60% no frete. O mercado do carvão metalúrgico começou a decair no final dos anos 80 com a perda dos subsídios, caindo sua participação no consumo nacional de 24% para 3,5% em 1990.

Atualmente, em nível nacional, o setor elétrico planeja aumentar a participação de termoeletricas a carvão mineral para 10% e 15% da capacidade de geração, fato este que assegura um mercado para o carvão energético produzido na região.

Essa perspectiva, apesar de ser boa do ponto de vista econômico regional, é preocupante do ponto de vista ambiental. Dentro do quadro atual existe uma expectativa de que

---

<sup>4</sup> Resumo compilado a partir dos dados de SANTA CATARINA (1997b).

nos próximos 20 anos a região apresente seu meio ambiente completamente recuperado, com a atividade carbonífera sob completo domínio das autoridades ambientais. Se acontecer um aumento acentuado de consumo sem medidas preventivas, poderá ocorrer o comprometimento de todo o trabalho previsto para a recuperação, podendo em 2010 retornar-se a situação ambiental de 1990. Evitar que isso aconteça cabe às mineradoras, às instituições de pesquisa e à comunidade da região, juntamente com o poder público de todas as esferas.

## **4 MATERIAIS E MÉTODO**

### **4.1 RECURSOS DE CARTOGRAFIA E DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADOS**

1. Dados digitais do sensor Thematic Mapper– TM do satélite LANDSAT  
Órbita ponto : 220-080, Descendente, Quadrante –X;  
Linhas corrigidas, Dimensões – 3060 x 3088 pixels;  
Datas: 17/nov/1986 e 12/nov/1996.
2. cópia dos dados contidos nas fitas digitais do vôo realizado com o sensor CASI – Compact Airborne Spectrographic Imager – ITRES Research Limited of Calgary, para o Projeto Pró-Vida nos dias 17 e 18 /nov/1992, cedidas pela empresa Aerodata S.A;
3. fotografias aéreas do vôo do Estado de Santa Catarina, na escala 1:25 000, nas datas de 1956 e 1978, obtidas junto à SDEIM-SC;
4. fotografias aéreas do vôo realizado em 1996 para o Projeto JICA, na Região Carbonífera do Estado de Santa Catarina, na escala 1: 30 000, cedidas pela empresa Aerocarta S.A.;
5. cópia digital da aerofoto número 2 da faixa 11, com resolução de 28  $\mu\text{m}$ , do vôo realizado em 1996 para o Projeto JICA;
6. fotografias aéreas do vôo realizado em 1996 para o Projeto JICA, abrangendo parte da área de estudo (Fiorita), na escala 1:5 000, cedidas pela empresa Aerocarta S.A.;
7. base cartográfica digital na escala 1:10 000, restituída das aerofotos de 1996, do Projeto JICA, especialmente produzida para esta pesquisa; gentileza da empresa Aerocarta S.A;
8. carta digital na escala 1:20 000, restituída para o Projeto JICA, utilizada para correção geométrica das imagens de satélite; cedida pela empresa Base Aerofoto S.A;

9. carta aerofotogramétrica da Zona Carbonífera do Sul do Estado de Santa Catarina na escala 1:10 000, no ano de 1956 (fonte: DNPM);
10. carta 1:50 000 do mapeamento sistemático brasileiro, Folha Criciúma, Edição de 1976, executada pelo IBGE.

#### **4.2 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS UTILIZADOS<sup>5</sup>:**

1. Estereoscópio de espelhos, base plástica transparente, e canetas para escrita sobre plástico, com pena 0,3 mm, para interpretação das aerofotos;
2. computador Pentium 166Mhz, 64 Mb de memória Ram, disco rígido de 3 Gb, placa de vídeo de 4 Mb;
3. computador Pentium 266Hz, 32 de memória ram, disco rígido de 2 Gb, placa de vídeo de 4 Mb;
4. programa MicroStation-SE – Bentley, para a vetorização dos dados dos *overlays* da fotointerpretação;
5. programa Descartes – mdl do MicroStation, para a correção geométrica das aerofotos e dos *overlays* da fotointerpretação;
6. programa Arc View-GIS – ESRI, para a manipulação e análise temporal dos mapas da interpretação visual das aerofotos e das imagens de satélite;
7. programa ENVI – The Environment for Visualing Images – Better Solutions Consulting Limited Liability Company, para análise digital das imagens de satélite e do sensor CASI;
8. programa Adobe Photoshop, para visualização, corte e transformação de formato digital, das faixas de vôo do CASI e tratamento digital das fotos de campo.
9. scanner de mesa HP 4C, ótico, com resolução de 600 x 600 dpi;

---

<sup>5</sup> Obs.: Todos os programas são licenciados para o Laboratório de Fotogrametria Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da Universidade Federal de Santa Catarina.

## 4.3 MÉTODO

### 4.3.1 CONFECÇÃO DOS MAPAS DE USO DA TERRA UTILIZANDO FOTINTERPRETAÇÃO

Antes de se iniciarem os trabalhos de fotointerpretação, foi realizada uma visita de campo, já se dispondo nesta ocasião de uma ampliação fotográfica na escala 1:15 000, proveniente do vôo 1:30 000 realizado em 1996. Essa visita foi fundamental para reconhecer a paisagem local e associar os elementos que a compõem à sua resposta espectral, ou seja, reconhecimento de feições para estabelecer as chaves de fotointerpretação. Dos elementos observados destacam-se as áreas mineradas abandonadas cobertas por rejeitos e estéreis, depositados em montículos de até 25 m de altura, os rejeitos de carvão depositados tanto para fazer o leito de estradas como às suas margens, locais ainda com alguma atividade de mineração, cavas cobertas de águas ácidas, lagoas formadas pela lixiviação, e cobertura vegetal nas áreas abandonadas. Nos arredores das áreas de mineração observou-se o tipo de uso do solo, o qual compreende fundamentalmente a pastagens, bananais e extensas áreas cobertas por eucaliptos.

Com o objetivo de caracterizar as mudanças na cobertura da terra em decorrência do avanço da mineração, optou-se por iniciar os trabalhos de fotointerpretação com aerofotos da época mais antiga e sempre que necessário, recorreu-se às aerofotos mais recentes.

A primeira tarefa executada foi um estudo minucioso das aerofotos dos três anos (1957, 1978 e 1996) através de investigação monocular auxiliada por lente de aumento. Também se buscou auxílio das aerofotos na escala 1:5 000 para sanar dúvidas na interpretação de algumas feições identificadas nas fotos de escalas menores. Isso feito, definiu-se classes de interesse a serem obtidas na interpretação das aerofotos. Em seguida, com o auxílio do estereoscópio de espelhos, foi dada continuidade à observação das aerofotos, estabelecendo-se

as classes definitivas a partir do reconhecimento de formas, padrão, tonalidade, textura e densidade, construindo, então, as chaves para a fotointerpretação.

O estabelecimento de chaves de fotointerpretação teve como objetivo facilitar a interpretação e registrar as características de cada classe, para que, em futuras interpretações, o reconhecimento seja mais rápido. Outra função para o estabelecimento de chaves de fotointerpretação foi a de uniformizar os trabalhos de fotointerpretação para diferentes fotointérpretes, caso se estenda a pesquisa para outras áreas em futuros trabalhos.

Optou-se por separar o delineamento das classes em 2 *overlays*: um contendo elementos que se desenvolvem linearmente na superfície, tais como estradas, ruas e rios; e outro contendo somente as classes de uso da terra que ocupavam áreas, como por exemplo a cobertura vegetal, o uso agropecuário e áreas de mineração.

É importante salientar que na definição das classes de cobertura da terra foram levados em conta os objetivos do estudo, a escala das fotos aéreas, a qualidade da imagem e a reflectância dos objetos fotografados, os quais, junto à habilidade do fotointérprete, são os principais fatores para o sucesso na fotointerpretação.

Após a definição das classes, das chaves de interpretação, e o estabelecimento da respectiva legenda, deu-se início à interpretação fotográfica, utilizando estereoscópio de espelhos com binocular de aumento.

#### 4.3.1.1 REAMBULAÇÃO

Para sanar algumas dúvidas quanto ao reconhecimento de elementos interpretados, se pertenciam a uma ou outra classe, efetuou-se a reambulação de campo. Para tanto utilizaram-se as aerofotos nas escalas 1:30 000 e 1:5 000 do vôo de 1996, cobertas por um plástico transparente, onde estavam demarcadas as dúvidas da fotointerpretação a serem esclarecidas em campo. Todas as anotações da reambulação foram executadas sobre esse plástico.

A reambulação foi planejada considerando as estradas, os caminhos existentes e a visão panorâmica possibilitada pelo acesso ao topo dos montes de estéreis e dos morros que circundam a área minerada. Assim, no campo, além de visualizar e dirimir as dúvidas, também verificaram-se os locais já classificados, confirmando se realmente pertenciam às classes definidas na fotointerpretação.

Nessa mesma ocasião, procedeu-se à tomada de fotografias terrestres coloridas com o objetivo de registrar os diferentes aspectos da paisagem locais, assim como as diversas fisionomias da vegetação existente nas áreas mineradas e seus arredores. Dessa forma, além da visão vertical e abrangente proporcionada pelas aerofotos pancromáticas, tem-se uma visão horizontal detalhada. Isso facilita a caracterização da paisagem e a associação da resposta espectral de um mesmo alvo ou classe na análise visual dos dois tipos de fotografias.

#### 4.3.1.2 VÍDEO COM DOCUMENTÁRIO CIENTÍFICO

Em uma das saídas de campo, no final do ano de 1999, foram colhidas imagens com equipamento de vídeo para a edição de um documentário científico sobre as áreas degradadas pela mineração de carvão. Este documentário audio-visual foi planejado e editado com o objetivo de caracterizar visualmente a área de estudo e o estado atual das áreas de mineração a céu aberto.

#### 4.3.1.3 FOTOINTERPRETAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL

Segundo relatório da JICA e SDUMSC (1997), as áreas degradadas pela mineração em Siderópolis deverão ser recuperadas futuramente com cobertura florestal em quase 80% da área considerada. Levando em conta esse fato e que essa pesquisa tem como objetivo a estruturação de dados espaciais digitais para servir de instrumento de gestão ambiental para

áreas degradadas pela mineração de carvão, concluiu-se que a vegetação existente no local deveria ser um dos principais alvos da fotointerpretação.

Para efeito de classificação da vegetação local, utilizando-se de fotografias aéreas, optou-se por adotar a classificação brasileira proposta pelo IBGE (VELOSO, RANGEL FILHO e LIMA, 1991). Isso definido, deu-se início aos trabalhos de fotointerpretação para a separação das áreas mineradas. Em seguida delimitaram-se as áreas de reflorestamento e de vegetação secundária nos seus diversos estágios de regeneração, as quais são abundantes nas imediações das áreas mineradas e, sobrando um quarto bloco denominado de “outras classes”, composto de áreas de cultivos, pastagens, solo exposto e de mineração. Dentro de cada um desses blocos procedeu-se à estratificação das classes de vegetação, considerando tonalidade, textura, densidade e altura.

#### 4.3.2 USO DO CAD

##### 4.3.2.1 DIGITALIZAÇÃO DAS AEROFOTOS E DOS *OVERLAYS* DA FOTINTERPRETAÇÃO

As fotografias e *overlays* da fotointerpretação foram transformados no formato raster através de scanner. As aerofotos e *overlays* foram transformadas do meio analógico para meio digital, num *scanner* com resolução de 600 dpi. Somente a foto aérea de 1996 foi digitalizada em scanner fotogramétrico com pixel de 28  $\mu\text{m}$ , pois era necessária uma melhor qualidade geométrica e de imagem para a fotografia que serviria de base para as correções geométricas das fotografias de outras datas.

Com os *overlays* transformados em imagem foi possível georreferenciá-los a uma base cartográfica única, no programa Descartes. A seqüência de trabalhos para a retificação de imagens, considerando os *overlays* e as fotos aéreas utilizadas nesta pesquisa foram descritos na figura 2 e detalhados a seguir.



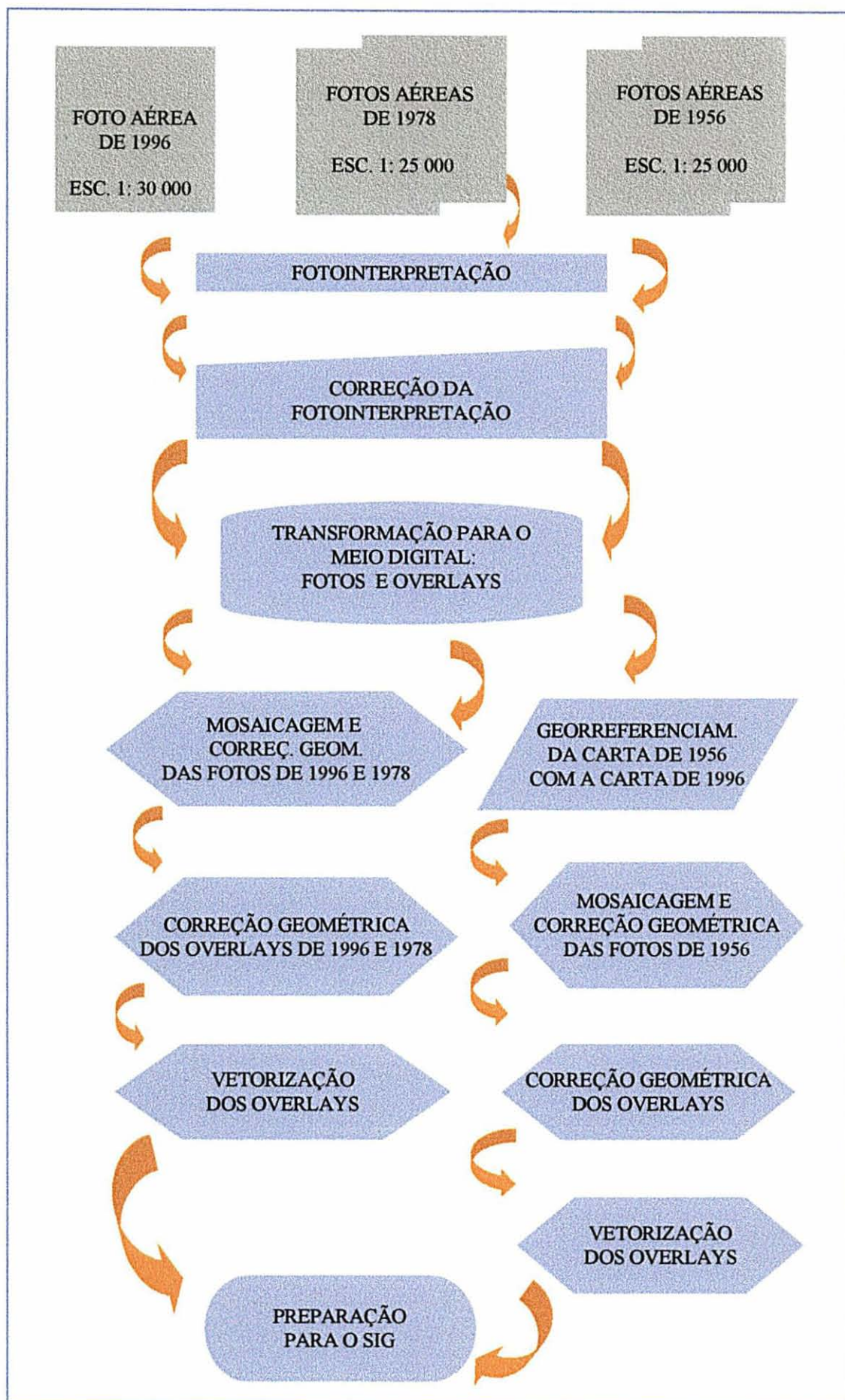


FIGURA 2 - ETAPAS DA FOTOINTERPRETAÇÃO

#### 4.3.2.2 CORREÇÃO GEOMÉTRICA: FOTOS AÉREAS E *OVERLAYS* DA FOTOINTERPRETAÇÃO

Todo o trabalho de correção geométrica teve como objetivo georreferenciar os *overlays* da fotointerpretação com a base cartográfica, visando à análise das informações em um SIG. Como sistema de referência para a correção geométrica das aerofotos e *overlays* utilizou-se a base cartográfica na escala 1:10 000 executada por restituição fotogramétrica, a partir de fotos aéreas 1: 30 000 de 1996. O programa utilizado nesta tarefa foi o MicroStation Descartes, que permite a correção geométrica de imagens raster ou mapas em vetor, ou a conjugação de ambos e, também, a vetorização automática, semi-automática e conduzida.

O Descartes apresenta as seguintes opções de modelos de retificação de imagens: Helmert (conhecida como Similaridade, Isogonal, Conforme, Euclidiana), Afim, Projetiva, Polinômio de 2º e Polinômio de 3º grau. Optou-se pelo Polinômio de 2º grau, porque contempla a transformação de escala, rotação, translação, obliquidade, torção e convexidade. Para reamostragem utilizou-se o Vizinho Mais Próximo. Iniciou-se a tarefa de correção geométrica pela foto aérea de 1996 já digitalizada. A seguir, procedeu-se à correção geométrica dos *overlays* da fotointerpretação que, como os *overlays* das outras datas, foram digitalizados em scanner de 600 dpi. Para esta correção utilizou-se como base a imagem de 1996 já retificada. As fotos de 1978 foram retificadas considerando como referência a foto de 1996 já retificada. A seguir, os *overlays* de 1978 foram registrados em relação à foto do mesmo ano.

#### 4.3.2.3 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS FOTOS AÉREAS DE 1956 E *OVERLAYS* DA FOTOINTERPRETAÇÃO

Foi impossível efetuar a correção geométrica das fotos de 1956 em relação aos produtos do ano de 1996. Devido às transformações profundas na paisagem, causadas pela mineração e os 40 anos que separam as duas tomadas de aerofotos, quase não se encontraram pontos comuns em ambas as datas. Foram fotoidentificados poucos alvos, não mais de uma

dúzia, que permaneceram sem alterações ao longo do período. Esses alvos estavam localizados numa vila e em um trecho da estrada de ferro que corta a mesma vila.

Sabendo da existência de uma base cartográfica na escala 1:10 000 em meio analógico, executada a partir das fotos de 1956, resolveu-se o problema da correção geométrica dos produtos de 1956 da seguinte maneira:

1. digitalização da carta de 1956 em scanner de 400 x 400 dpi, para formatos grandes;
2. registro da carta de 1956 (em formato raster) com a base cartográfica de 1996;
3. orientação das fotografias de 1956 em relação à base cartográfica do mesmo ano;
4. registro dos *overlays* de 1956 em relação às suas fotografias.

Desta forma todos os *overlays* das fotointerpretações de cada data ficaram corrigidos geometricamente e referenciados ao mesmo sistema de coordenadas da carta-base de 1996.

#### 4.3.2.4 VETORIZAÇÃO DOS *OVERLAYS* DA FOTOINTERPRETAÇÃO

Todos os *overlays* da Fotointerpretação, uma vez registrados, cada um com suas imagens fotográficas, foram separados em “projetos” para serem abertos cada qual em uma única “vista” composta de imagem fotográfica e *overlay*, no CAD MicroStation. Estes últimos foram transformados para o modo transparente de maneira a propiciar a visualização *overlay*-foto, facilitando o trabalho de vetorização dos dados interpretados. Optou-se pela vetorização conduzida (manual), porque os dados da fotointerpretação eram demasiado detalhados para uma vetorização automática.

Antes de se iniciar a vetorização foi feito um planejamento para determinar como as feições seriam digitalizadas, definir a estrutura dos níveis de informação (*layers*), os atributos, tais como: tipo de linhas, cores e dimensões de símbolos cartográficos e textos. Este procedimento visou economizar tempo de uso da máquina e minimizar os erros inerentes à operação.

Finalizando todo o processo, foi realizada uma edição de cada mapa digital, que corresponde à eliminação de erros de digitalização, tais como polígonos abertos, arcos pendentes, omissão de entidades, entidades em níveis incorretos, laços (*weird polygon*), entre outros. Os mapas prontos foram então dispostos no ArcView-Spatial Analyst, para serem efetuadas a manipulação e as análises espaciais dos dados.

#### 4.3.3 ANÁLISE TEMPORAL NO SIG

Considerando que cada mapa de uso da terra (um de cada ano) continha em torno de 25 classes, ficou difícil elaborar uma legenda que suportasse uma saída final adequada. Além disso, a existência de muitas classes em um só mapa dificulta a identificação delas. Para sanar o problema utilizou-se um recurso de semiologia gráfica, denominado “apresentação por coleção de mapas”. Nesse caso, agrupou-se as classes segundo cinco temas dominantes na paisagem local para serem representados em cinco mapas: Mineração, Vegetação Nativa Secundária, Reflorestamento de Eucalipto, Agropecuária e Área Urbana. Tal solução propicia que o usuário do mapa obtenha respostas imediatas sobre a distribuição espacial das classes ou tema na área de interesse, assim como dá respostas às indagações simples do tipo “tal lugar o que contém”.

Os mapas temáticos resultantes desse agrupamento de classes foram dispostos segundo a ordem cronológica em uma única vista, na tela do monitor, a fim de ser feita uma primeira visualização e uma rápida análise das mudanças ocorridas naquele espaço geográfico no período considerado. Para facilitar a visualização, incluíram-se no mesmo mapa os temas Área Urbana e Agropecuária, mas as análises temporais no SIG foram efetuadas separadamente para cada tema.

Das diversas possibilidades de análise espacial, optou-se pelo cruzamento de informações segundo as cinco grandes áreas temáticas, conforme a seguinte matriz:

QUADRO 1: MATRIZ DE ANÁLISE TEMPORAL

		T2				
	TEMA	MINERA- ÇÃO	AGROPE- CUÁRIA	REFLO- RESTAM.	VEG. NATIVA SECUNDÁRIA	URBANA
	T1	MINERAÇÃO	P	A	R	N
AGROPECUÁRIA		M	P	R	N	U
REFLORESTAM.		M	A	P	N	U
VEGET. NAT. SEC.		M	A	R	P	U
URBANA		M	A	R	N	P

Onde:

T1 = data mais antiga ; T2 = data mais nova ; P= permanece ; U = Urbana

M = Mineração ; A = Agropecuária ; R = Reflorestamento ; N = Vegetação Nativa Secundária

Cinco mapas temáticos resultantes dos cruzamentos dos temas mostram as mudanças temporais em cada tema da data mais antiga. O mapa de mudanças na Mineração, por exemplo, é resultante dos cruzamentos da primeira linha da matriz: a Mineração no tempo T1 pode ter mudado para qualquer uma das outras quatro classes no tempo T2 ou permanecido como área de Mineração (vide primeira linha da matriz), e desta maneira, deve acontecer para os outros temas dispostos nas linhas seguintes.

Os mapas das transformações temporais, obtidos para cada período considerado são: mudanças observadas na área de Mineração, mudanças observadas na área Urbana, mudanças observadas na área de Reflorestamento de Eucalipto, mudanças observadas na área Agropecuária e mudanças observadas na área de Vegetação Nativa Secundária, mostrados nos resultados desta pesquisa.

#### 4.3.4 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

Apesar de os avanços tecnológicos mostrarem novas possibilidades de representação cartográfica, existem algumas regras para a confecção de mapas temáticos que permanecem válidas na era da informática. Essas regras foram observadas tanto na manipulação e

visualização dos temas na tela do monitor, como para a confecção das saídas cartográficas desta pesquisa.

No vídeo, os mapas gerados podem ser visualizados lado a lado, entretanto, para a saída em papel, foi necessário buscar uma composição harmoniosa de cores, símbolos, textos e formas.

As principais regras observadas para a confecção das saídas cartográficas, tanto no vídeo como em papel, foram as seguintes:

- a) uma cor ou símbolo só pode ter um único significado num mapa:
- o matiz azul deve ser utilizada para água ou, no máximo, para ambientes úmidos, num mapa topográfico ou de uso da terra. Isto, porque o azul é uma cor “fria” que traz a idéia de água, umidade (As lagoas e rios foram representados nesta cor.);
  - o matiz verde deve ser utilizada para a vegetação. A manipulação do brilho, saturação e intensidade construirão diferentes tonalidades de verde para serem aplicadas de acordo com a densidade, ou altura da vegetação. No caso desta pesquisa, o verde escuro representou os reflorestamentos de eucalipto, e o verde médio foi usado para representar a vegetação nativa secundária;
  - os matizes laranja e amarelo devem ser usados para as classes de uso agropecuário, enquanto o vermelho ou rosa devem representar elementos construídos pelo homem e as áreas urbanas (exatamente como utilizado nesta tese);
  - para as áreas de mineração não há regras, mas o bom senso indica que o marrom foi uma escolha adequada;
- b) quando todos os elementos, classes ou temas têm a mesma importância, todos devem apresentar o mesmo peso visual. Caso contrário, as matizes mais fortes devem salientar o que é mais importante. No caso da pesquisa todas as matizes utilizadas apresentam o mesmo peso visual, pois todos os temas têm igual importância.

Para que todas as saídas cartográficas apresentassem a mesma configuração, preparou-se um *layout* único tanto para os mapas quanto para os diagramas, de forma que facilitassem ao usuário a visualização e interpretação das informações representadas.

#### 4.3.5 IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens Landsat-5 TM foram analisadas nesta pesquisa com o objetivo de verificar as mudanças temporais no uso da terra da microbacia onde está inserida a área degradada pela mineração e investigar qual o nível de informação poderia ser obtido das imagens Landsat.

Duas datas de imagens, separadas por um intervalo de 10 anos, uma de 17/11/1986 e outra de 12/11/1996, únicas encontradas com boa qualidade, foram utilizadas para proceder à análise das mudanças ao longo do tempo.

##### 4.3.5.1 PRÉ-PROCESSAMENTO

Toda a análise digital das imagens de satélite foi efetuada no programa de análise de imagens ENVI. O pré-processamento consistiu de: a) recorte da área de interesse na cena de imageamento de cada data; e b) registro das imagens.

##### 4.3.5.2 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Para fazer o registro das imagens TM de 1986 e 1996, foram escolhidos seis pontos comuns a ambas, distribuídos por toda a imagem. A imagem de 1986 foi registrada para as coordenadas da imagem de 1996, com o modelo polinomial de primeiro grau e reamostragem pelo método do vizinho mais próximo. O tamanho original das imagens recortadas da cena original era de 351 x 501 pixels. Após o registro, a imagem de 1986 ficou com tamanho

diferente daquela de 1996 por causa da translação, sendo necessário igualá-la em tamanho com a de 1996, para a superposição e análise temporal.

A correção geométrica das duas imagens foi efetuada somente no final de cada etapa de processamento, considerando pontos comuns na imagem TM de 1996 e no mapa em meio digital oriundo do projeto JICA – Região Carbonífera, na escala 1:20 000, restituído em 1996 a partir das aerofotos 1:30 000. Foi adotado o mesmo modelo matemático usado no registro.

#### 4.3.6 MÉTODOS DE ANÁLISE TEMPORAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Para a análise temporal das mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra, utilizaram-se três métodos: a) superposição de imagens; b) transformação das componentes principais seletivas; e c) Comparação pós-classificação.

A figura 3 mostra em um fluxograma as principais etapas da análise digital das imagens TM visando à detecção de mudanças temporais.

##### 4.3.6.1 MÉTODO DA SUPERPOSIÇÃO DE IMAGENS

Como o próprio nome diz, este método de detecção de mudanças espaço-temporais em imagens digitais consiste em superpor as imagens de duas datas diferentes. Para tanto, utilizaram-se as cores básicas do espaço RGB (red, green, blue), atribuindo as cores verde e azul a uma das imagens e a cor vermelha à outra.

Na combinação colorida resultante deste arranjo será possível identificar as alterações que se processaram no decorrer do tempo, devido ao fato das diferenças aparecerem realçadas em uma das três cores, enquanto as áreas que não sofreram mudanças aparecem em tons de cinza.



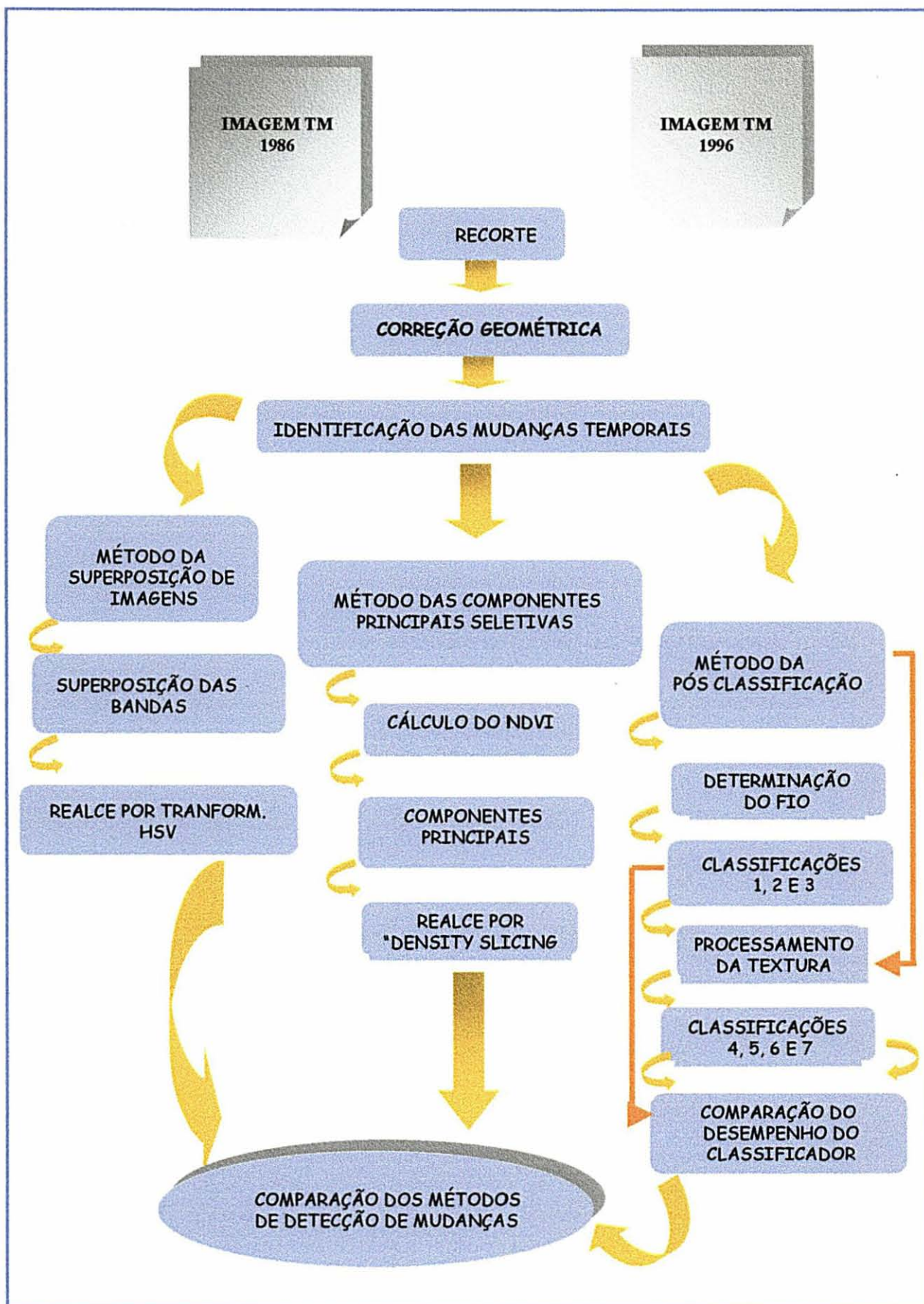


FIGURA 3 - ETAPAS DA ANÁLISE DIGITAL PARA A DETECÇÃO DE MUDANÇAS TEMPORAIS EM IMAGENS DE SATÉLITE

Este método de análise temporal foi empregado para a banda 3 das imagens TM em consideração, onde foram atribuídas as cores verde e azul à imagem mais antiga e a cor vermelha para a mesma banda da imagem TM de data mais recente.

Com o objetivo de realçar as cores da imagem composta pelas bandas 3, efetuou-se uma transformação de cores do espaço RGB para o espaço HSV (Hue, saturation, value). Nesta transformação os dados RGB, cada qual entre 0 e 1 são transformados para  $h$  entre 0 e 360,  $s$  e  $v$  entre 0 e 1. Para entender esta transformação é preciso saber que a cor envolve três dimensões conhecidas: matiz (nome pelo qual a cor é designada), saturação e brilho.

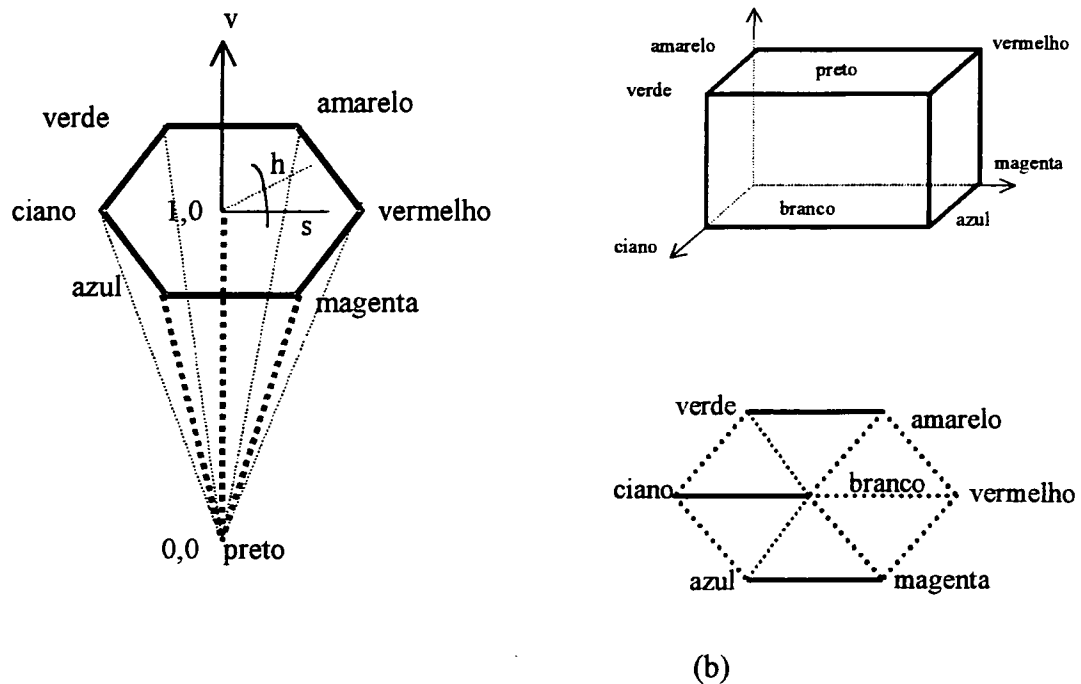


FIGURA 4 - (a) CONE HEXAGONAL DO MODELO DE COR HSV; (b) CUBO DE COR RGB; E VISTA AO LONGO DA DIAGONAL PRINCIPAL.

Fonte: FOLEY e DAM (1982).

O modelo de cor RGB usa um sistema de coordenadas cartesiano cujo espaço de interesse é o cubo unitário (vide Figura 4). As cores primárias RGB são aditivas, isto é, a contribuição individual de cada uma resulta no branco. Observando o cubo na diagonal, e considerando igual quantidade de cada primária, ter-se-ão os níveis de cinza.

O modelo HSV é similar àquele utilizado pelos pintores artistas. O espaço no qual o modelo está definido é o cone hexagonal (vide Figura 4), com o topo correspondendo a  $V = 1$ ,

que contém os valores máximos das cores, ou seja, a intensidade. O vértice do cone é a origem do sistema ( $V=0$ ) e corresponde ao preto. As cores complementares estão opostas de  $180^\circ$  e são medidas por  $H$ , isto é, o ângulo em torno do eixo vertical, com o vermelho à  $0$ . O valor de  $S$  é dado por uma razão, que varia dentro dos limites de  $0$ , na linha central (eixo  $v$ ), e  $1$ , para os lados do cone hexagonal. Qualquer valor de  $S$  entre  $0$  e  $1$  pode ser associado com o ponto  $V$ . Por exemplo, para o ponto  $S=0$  e  $V=1$ , tem-se o branco; para  $S=1$ ,  $V=1$  e  $H=0$  tem-se o vermelho puro. Qualquer cor com  $S=1$  e  $V=1$  é semelhante ao pigmento puro usado pelos artistas. Os valores intermediários de  $V$  para  $S=0$  (na linha central) são cinzas.

O topo do cone HSV corresponde à superfície vista pelo olhar ao longo da diagonal principal do cubo de cor RGB, do branco para o preto, mostrado na figura 4 (b) (SILVEIRA FILHO, 1989).

#### 4.3.6.2 MÉTODO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS SELETIVAS

A análise temporal das componentes principais seletivas – PCAS foi empregada como mais uma técnica de análise de mudanças temporais. A opção pela PCAS teve razão pelo fato de não se dispor de dados corretos para a calibração radiométrica das imagens de satélite; o software utiliza apenas dados médios calculados para o hemisfério Norte. A experiência de vários autores, citados na revisão bibliográfica, mostrou que, utilizando-se somente duas bandas como entrada para o PCA, a maioria das diferenças de baixa frequência entre as duas imagens são automaticamente eliminadas, isto é, ela faz uma calibração relativa de imagem — imagem.

A técnica de componentes principais é empregada para remover ou reduzir a redundância dos dados multiespectrais, ou correlação entre as bandas, visando melhorar a eficiência do processo de classificação, porque reduz a dimensionalidade dos dados originais (LILLESAND e KIEFER, 1994).

As componentes principais são baseadas nos autovetores derivados da matriz de covariância das variáveis ou de correlação, extraídas da área de estudo da imagem Landsat considerada. O vetor multiespectral dos dados da imagem são tratados na transformação espectral, gerando um conjunto novo de imagens componentes. Estas componentes representam uma descrição alternativa dos dados, nos quais as componentes de um vetor de pixel, são conexos aos seus antigos valores de brilho no conjunto original das bandas espectrais via uma operação linear (RICHARDS, 1993).

Os conceitos envolvidos na transformação das componentes principais podem ser expressos graficamente (vide Figura 5) de forma simplificada (LILLESAND e KIEFER, 1994), considerando apenas duas bandas de uma imagem. Os valores dos dados no sistema de coordenadas das bandas A e B para os novos eixos I e II do sistema novo derivado é dado por:

$$DN_I = a_{11}DN_A + a_{12}DN_B \quad \text{e} \quad DN_{II} = a_{21}DN_A + a_{22}DN_B$$

Onde:  $DN_I, DN_{II}$  = número digital no novo sistema de coordenadas (componentes principais);

$DN_A, DN_B$  = número digital no sistema de coordenadas original;

$a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$  = coeficientes (constantes) para a transformação.

No gráfico da figura 5 visualiza-se um conjunto de pixels plotados no diagrama de dispersão, de acordo com seu valor digital, conforme originalmente registrados nas bandas A e B. Os eixos I e II foram superpostos ao sistema de eixos originais das bandas A e B, com uma rotação. O eixo I define a direção da primeira componente principal, e o eixo II define a direção da segunda componente principal.

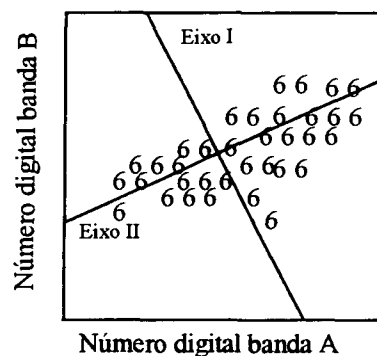


FIGURA 5 - EIXO DE COORDENADAS USADAS NA TRANSFORMAÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS.

Segundo a metodologia de CHAVEZ e KUARTENG (1989); KUARTENG e ALL-AJMI (1996), somente duas bandas são usadas como entrada para a PCAS. Utilizando-se duas bandas, as informações que são comuns a ambas ficam mapeadas na primeira componente (PC1), enquanto as informações que são exclusivas em cada imagem de entrada são mapeadas como segunda componente (PC2). No presente estudo de caso, o contraste temporal das duas imagens tomadas em datas diferentes foi mapeada na PC2.

O primeiro procedimento foi, então, calcular a NDVI de cada data para ser utilizada como entrada na aplicação das PCAS. Esse cálculo, no programa ENVI, é feito automaticamente, apenas definindo-se o tipo de imagem, no caso, a Landsat TM. O cálculo da NDVI é obtido da seguinte expressão:

$$NDVI = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$$

Onde : TM4 = banda 4 da imagem TM

TM3 = banda 3 da imagem TM

#### 4.3.6.3 MÉTODO DA PÓS-CLASSIFICAÇÃO

O método da pós-classificação para análise de mudanças temporais consiste em comparar as classificações efetuadas separadamente para cada data de imagem. Portanto, foi preciso efetuar a classificação das imagens de cada data para se obterem os dois mapas de uso e cobertura da terra; depois os mapas foram confrontados em um sistema de informações geográficas para se obter o mapa das mudanças temporais.

O algoritmo definido para a classificação das imagens foi o MaxVer – Máxima Verossimilhança, que se insere no grupo de processos estatísticos de classificação supervisionada. A classificação da imagem foi conduzida da seguinte maneira:

1. classificação 1 = classificação espectral das seis bandas;
2. classificação 2 = classificação espectral das três primeiras componentes principais;
3. classificação 3 = classificação espectral das bandas 2, 4 e 5;

4. classificação 4 = todas as bandas + três texturas na banda 3;
5. classificação 5 = três componentes principais originadas das bandas 3, 4 e 5 + três texturas na banda 3;
6. classificação 6 = bandas 4 e 5 + textura na banda 3 (contraste);
7. classificação 7 = bandas 4 e 5 + textura na banda 3 (homogeneidade).

#### 4.3.6.3.1 Classificação Espectral das imagens de 1996 e 1986

Antes de iniciar a classificação calculou-se o Fator de Índice Ótimo – FIO para as duas imagens, tendo em vista a escolha e exposição do triplete de bandas na tela do vídeo que melhor representassem os dados imageados para escolha das áreas amostrais de cada classe.

Iniciou-se o processo de classificação digital com a imagem TM de 1996, considerando seis bandas (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e depois repetiu-se processo semelhante para a imagem de 1986. Definiram-se o número e o tipo de classes a ser automaticamente interpretados pelo programa : Urbana, Pastagem, Solo Descoberto (área rural), Banana, Eucalipto jovem (rebrotado), Eucalipto, Floresta Nativa Secundária, corpos d'água (rio e lagoas), Rejeito de Carvão e Estéril da Mineração.

As amostras de cada classe foram definidas na tela do monitor sobre a composição colorida determinada pelo FIO como sendo as que melhor representavam a variação dos dados. Para essa tarefa utilizou-se do conhecimento prévio da área e de aerofotos na escala 1:30 000 e 1:25 000 já interpretadas, dos anos de 1996 e 1978, respectivamente. Como não havia nenhuma foto de 1986 foi impossível saber se haviam eucaliptos muito jovens naquela data, por isso esta classe foi desconsiderada na interpretação. Para cada classe foram definidas áreas amostrais abrangendo entre 70 e 140 pixels.

A avaliação da qualidade da classificação foi efetuada considerando-se áreas amostrais de cada uma das classes delimitadas visualmente na tela do monitor e o mapa classificado.

#### 4.3.6.3.2 Classificação Espectral das bandas 2, 4 e 5

Considerando as mesmas classes, repetiu-se o processo de classificação para a imagem TM de 1996, agora usando apenas as bandas 2, 4 e 5, que apresentaram valor maior do FIO. Também foram feitas tentativas de refinar as amostras, utilizando diagrama de dispersão (*n-dimensional visualiser* do ENVI) e a escolha de outras áreas amostrais, pois o objetivo era sempre procurar melhorar os resultados da classificação.

#### 4.3.6.3.3 Obtenção dos canais texturais a partir da banda 3

Para obter os canais texturais utilizou-se matrizes de co-ocorrência, conforme proposto por HARALICK, citado por FRANKLIN e PEDDLE (1990).

Escolheu-se a banda 3 para processar texturas, porque, conforme pesquisas de COGO (1993) e LOCH e KIRCHNER (1999), as texturas dessa banda mostraram melhores resultados para a discriminação das classes de cobertura da terra.

As matrizes de co-ocorrência são obtidas a partir de medidas espaciais simples representadas por texturas estatísticas, também denominadas feições de textura. HARALICK, citado por FRANKLIN e PEDDLE (1990), propôs utilizar estatísticas de segunda ordem para obter feições de textura, considerando para tanto as feições que são utilizadas na interpretação visual, tais como homogeneidade, contraste e entropia.

A matriz de valor de brilho espacial dependente é algumas vezes chamada de Matriz de Co-ocorrência ou Matriz de Transição. Essa matriz mostra a quantia de vezes que os valores de brilho ou de cinza de cada pixel ocorrem em relação aos valores de cinza dos pixels vizinhos na imagem, considerando a média das quatro direções: 0°, 45°, 90°, 135° (vide Figura 6). A cada nova posição da janela (normalizada pelo índice de incremento  $C = (\chi, \gamma)$ ) os valores são recalculados e, por fim, mostrados nos elementos da matriz.

As matrizes espaciais de co-ocorrência utilizadas por FRANKLIN e PEDDLE (1990) estão ilustradas na figura 7, a qual mostra a construção da matriz de co-ocorrência espacial

direcional, para uma janela de 3x3 pixels (como a utilizada nesta pesquisa) e uma imagem normalizada para quatro níveis de cinza (0 a 3).

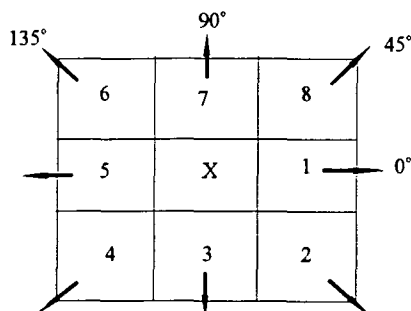


FIGURA 6 - OITO VIZINHOS PRÓXIMOS DO PIXEL X, DE ACORDO COM O ÂNGULO ESPACIAL USADO PARA CRIAR A MATRIZ DE CO- OCORRÊNCIA ESPACIAL PARA AS MEDIDAS DA TEXTURA DA IMAGEM.

Fonte: HARALICK citado por JENSEN (1986).

Todas as informações texturais da imagem estarão contidas nas matrizes de co-ocorrência, que foi desenvolvida nesta pesquisa para ângulos de  $0^\circ$ , ou seja horizontal, considerando os pares de pixels adjacentes na imagem  $F(x,y)$  e o valor normalizado do índice de incremento  $C = (\chi, \gamma)$ .

a)

1	2	3
1	1	2
0	1	2

b)

	0	1	2	3
0	(0,0)	(0,1)	(0,2)	(0,3)
1	(1,0)	(1,1)	(1,2)	(1,3)
2	(2,0)	(2,1)	(2,2)	(2,3)
3	(3,0)	(3,1)	(3,2)	(3,3)

c)

0	1	0	0
1	2	3	0
0	3	0	1
0	0	1	0

FIGURA 7 - (a) JANELA DE 3X3 PIXELS COM A DIMENSÃO DOS TONS DE CINZA DE 0 A 3; (b) FORMA GERAL DA MATRIZ DE CO-OCORRÊNCIA ESPACIAL, PARA A JANELA; (i,j) REPRESENTAM O NÚMERO DE VEZES QUE OS TONS CINZA i E j SÃO VIZINHOS; (c) REPRESENTAM AS MATRIZES DE CO-OCORRÊNCIA ESPACIAL NA HORIZONTAL.



Exemplificando, se  $C = (\chi, \gamma) = (1, 0)$ , considerando a horizontal das matrizes de co-ocorrência espacial o valor 1 é adjacente ao 2 por 3 vezes na imagem, simplificando:  $(1, 2) = 3$ , como mostrado em (c) da Figura 7.

Nesta pesquisa as medidas de textura foram obtidas na banda 3, a qual foi processada para se obterem seis canais de textura medindo a homogeneidade, o contraste e a entropia, para computar as matrizes de co-ocorrência espacial numa janela móvel de 3 x 3 pixels, para um índice de incremento  $x = 1$  e  $y = 0$ .

As feições de textura consideradas foram a homogeneidade, o contraste e a entropia ( HARALICH, citado por VISA, 1990) dadas pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Homogeneidade} : \sum_i \sum_j \frac{P(i, j) / R}{1 = (i-j)^2}$$

$$\text{Contraste} : \sum_i \sum_j (i, j)^2 P(i, j) / R$$

$$\text{Entropia} : \sum_i \sum_j P(i, j) / R \log P(i, j) / R$$

Onde : P = frequência de ocorrência dos níveis de cinza i e j; e

R = fator de normalização da frequência para a orientação selecionada.

Após o processamento textural foi dado início à combinação de bandas com canais de textura, para em seguida fazer-se a classificação da imagem, definindo algumas combinações de entrada de bandas e canais texturais, conforme descritas no item 4.3.6.3.

#### 4.3.6.3.4 Análise Temporal no SIG

Os mapas obtidos na classificação das imagens foram georreferenciados com o apoio de pontos extraídos da cartografia digital na escala 1:2 000 e logo em seguida foi feita a vetorização automática das classes e exportação para o formato DXF. Tudo isso foi executado utilizando-se os recursos do programa de análise de imagens ENVI.

Antes de importar as classes para o ArcView, fez-se o agrupamento delas segundo os seis temas: Mineração, Agropecuária, Reflorestamento, Vegetação Nativa Secundária, Urbana e, Lagos, utilizando o MicroStation.

O cruzamento das informações foi efetuado no ArcView Spatial Analyst, da mesma maneira que foi feita para a análise temporal dos mapas resultantes da fotointerpretação, isto é, utilizando uma matriz de análise temporal, semelhante àquela do quadro 1. O resultado do cruzamento dos temas foi compilado em um mapa das mudanças temporais.

#### **4.4 IMAGENS DO SENSOR AEROTRANSPORTÁVEL CASI**

##### **4.4.1 OBTENÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS**








O planejamento do Projeto Pró-Vida compreendia a cobertura fotogramétrica e imageamento do sensor CASI numa área que abrange parte dos municípios de Criciúma e Siderópolis, principais áreas degradadas pela mineração do carvão no Sul do Estado de Santa Catarina. O voo foi realizado na direção Norte-Sul, totalizando 14 faixas, com espaçamento de 1.300 m entre cada uma, de modo a garantir a superposição lateral de 30%, tanto para o sensor como para o recobrimento aerofotogramétrico tradicional, realizado concomitantemente na escala 1: 18 000.

O voo foi realizado nos dias 17 e 18 de novembro de 1992, em faixas com comprimento de aproximadamente 21 km e largura de 1.792 m. As fotografias pancromáticas foram obtidas com uma câmara fotogramétrica WIL RC-10, de distância focal 153 mm, que obteve fotografias na escala 1: 18 000, em função da altitude do voo, calculada para atender as necessidades do CASI (dimensão do pixel e parâmetros de configuração). O imageamento pelo CASI foi realizado de duas formas, de acordo com os dois modos de captação de dados do sensor: a) Espacial – conforme relatório do voo foram voadas 14 faixas; e b) Espectral – conforme relatório do voo foram voadas 6 faixas.

O modo espacial consistiu na coleta de dados em uma largura de 512 pixels, em que 7 bandas espectrais foram definidas conforme mostra a tabela 4, com a dimensão de cada pixel no terreno de 3,5 x 3,5 m.

O modo espectral foi executado no dia 17 de novembro, no intervalo das 10h44min às 11h36min, abrangendo 6 faixas e 11 direções de visadas, com espaçamento de 20 pixels cada uma, onde foram centradas, no CCD de 512 pixels, 288 bandas (intervalos espectrais) com largura de 1,8 nm. Esse modo de imageamento permite a construção de gráficos específicos para cada alvo de interesse sobre a área. O CASI pode adquirir 288 bandas espectrais, para determinar a redundância espectral que existe para um alvo específico e quais bandas melhor descrevem sua assinatura espectral. A capacidade de alta resolução espectral do modo multiespectral permite examinar e analisar a assinatura espectral de um alvo. A análise da assinatura conduz à determinação das bandas espectrais ótimas (adequadas) para serem usadas na aquisição de dados com alta resolução espacial (ANGER, MAH e BABEY, 1994).

TABELA 2 – CONFIGURAÇÃO DAS BANDAS ESPECTRAIS DO CASI

Banda	Cor	Centro da faixa (nm)	Amplitude da Faixa (nm)	Largura da Faixa (nm)
1		487,5	476,1 – 499,0	22,9
2		551,9	548,4 – 555,5	7,1
3		601,6	598,1 – 605,2	7,1
4		680,2	678,4 – 682,0	3,6
5		712,5	710,7 – 714,3	3,6
6		737,8	736,0 – 739,6	3,6
7		748,7	746,9 – 750,5	3,6

Fonte: Aerodata (1994)

Nesta pesquisa o modo espectral não foi analisado, porque o arquivo que continha o programa para a leitura dos dados espectrais estava deteriorado quando se buscaram-se estes dados na empresa Aerodata. Em contato com a ITRES procurou-se obter uma cópia desses arquivos digitais, mas a informação que se obteve é que este tipo de arquivo não é mais utilizado para ler dados espectrais nas novas versões do CASI, e que não havia como recuperá-los.

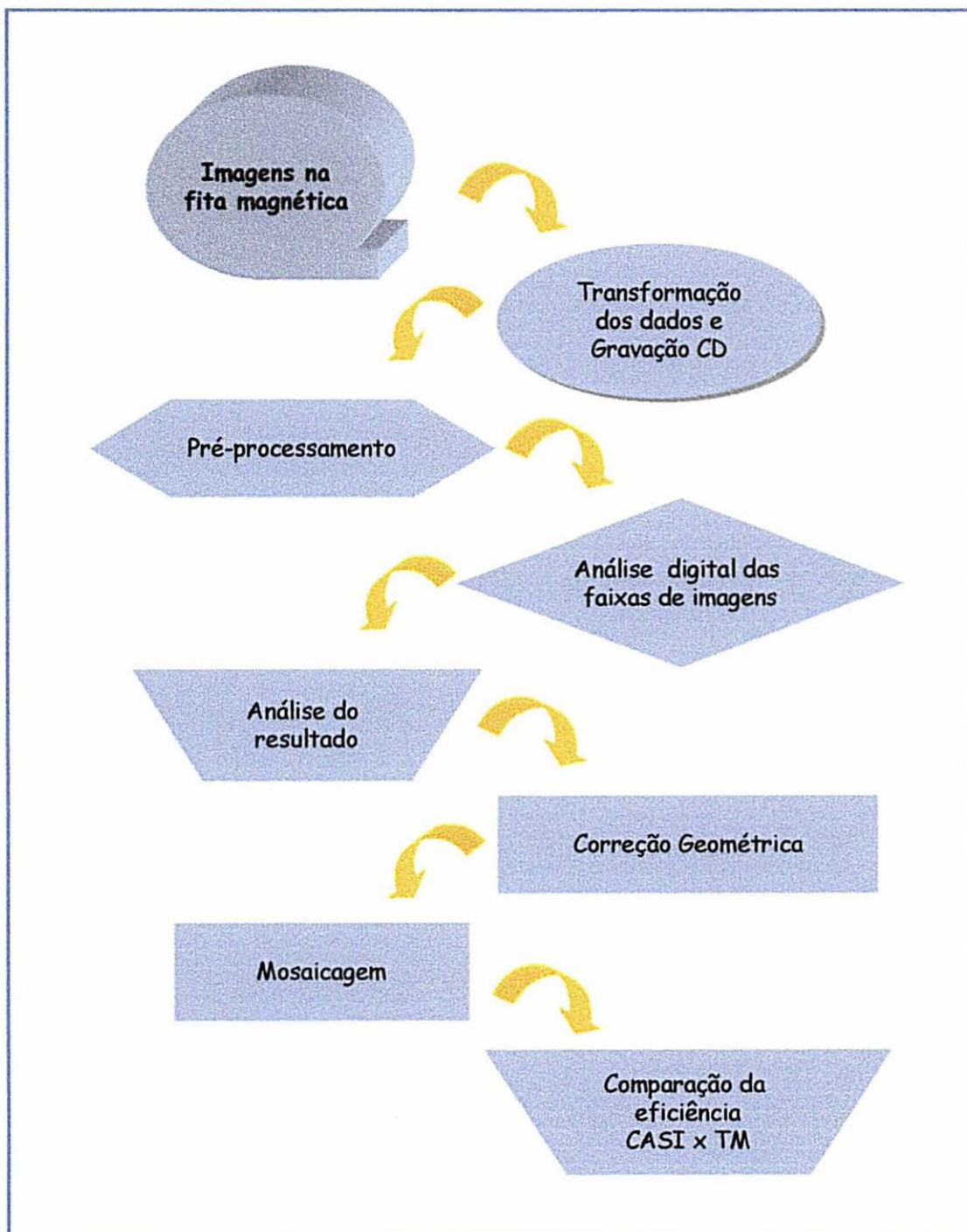


FIGURA 8 - ETAPAS DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS CASI

Considerando a área de interesse desta pesquisa, verificou-se que apenas quatro faixas do vôo executado abrangiam parte da área, por isso se fez o pré-processamento destas faixas (faixas 2, 3, 4 e 5), para escolher duas como objeto de investigação.

O pré-processamento consistiu da transformação dos dados no formato 12 bits armazenados em fitas magnéticas para o formato 8 bits, de forma a reduzir a quantidade de dados e possibilitar o uso por outros sistemas de tratamento de imagem. A empresa Aerodata colocou à disposição da pesquisa todos os dados e um computador PC para fazer a conversão dos dados e gravação destes em um *CD-Rom*.

A continuidade do pré-processamento foi executada no Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da UFSC (LFSG), com o software Rollcor da ITRES, específico para correção radiométrica e de rotação do sensor em torno do eixo de deslocamento da aeronave, "Roll Correction". Em seguida, as imagens foram convertidas do formato "img" para o formato "TIF" utilizando o software Adobe PhotoShop, e, depois, com o software ENVI, uma banda por vez, de cada faixa, foi recortada para o tamanho da área de interesse.

Analisando as quatro faixas de imagem decidiu-se utilizar apenas as faixas 3 e 4 por abrangerem a maior parte da área de estudo, incluindo a área urbana. A faixa 3 depois de recortada ficou com 980 linhas por 533 colunas e 7 bandas espectrais, e a faixa 4 com 1.053 linhas por 594 colunas e 7 bandas espectrais.

#### 4.4.2 PROCESSAMENTO E ANÁLISE

O fluxograma da figura 8 ilustra todo o processo de análise dos dados do sensor CASI, até a obtenção dos resultados finais. Todo o processamento e análise dos dados CASI foram efetuados no sistema de análise de imagens ENVI.

Como o vôo realizado nesta área faz parte de um projeto piloto para o Brasil e como estes dados não foram explorados em nenhum trabalho, consideravam-se os trabalhos desenvolvidos por diversos pesquisadores para escolher uma opção para classificação das

imagens deste estudo. Entre as diversas aplicações dos dados obtidos pelo CASI verificou-se na literatura que a técnica das componentes principais foi usada em pesquisas desenvolvidas por MAH, KIRCHNER e PREOSK (1994), para a discriminação da Acácia Negra e floresta subtropical; por MILTON e ROLLIN (1994,) para o mapeamento de uso do solo; por BLACKBURN e MILTON (1994), para estudos ecológicos em florestas decíduas; e por BRAGA FILHO (1995,) para discriminação de espécies em pomares de maçã.

Considerando a experiência desses pesquisadores, optou-se por aplicar componentes principais como uma forma de reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar regiões espectrais únicas. Cada faixa do CASI foi classificada individualmente, utilizando o algoritmo de classificação MaxVer. Para tanto, embasado no conhecimento da área e da fotointerpretação realizada com as fotografias aéreas e também da classificação das imagens de satélite, definiram-se as classes existentes em cada faixa. Na seqüência, fez-se a escolha das áreas de treinamento de cada classe, a análise da assinatura espectral dessas áreas amostrais, o refinamento dos dados digitais de cada amostra e finalmente procedeu-se a classificação de cada uma das faixas. Uma matriz de erros foi aplicada para verificar o resultado da classificação digital de cada imagem. Para tanto utilizou-se áreas amostrais de cada classe previamente delimitadas visualmente na tela do monitor.

#### 4.4.3 CORREÇÃO GEOMÉTRICA E MOSAICAGEM

Na correção geométrica das imagens do CASI, todas as distorções precisam ser consideradas. Tais distorções podem ser divididas em três partes (COSANDIER e CHAPMAN, 1995):

- a) movimento da aeronave: constitui os movimentos em torno do eixo x (direção do vôo), do eixo y (asas da aeronave), do eixo z (eixo vertical do sensor) e de altitude; as distorções derivadas desses movimentos podem ser mais eficientemente corrigidas com sensores de navegação;

- b) orientação interior: refere-se à própria calibração da geometria interior do sensor; sendo considerados parâmetros que incluem a distância focal, o ponto principal e outros parâmetros de calibração do CCD. Os parâmetros são obtidos via calibração de laboratório; e
- c) efeitos terrestres: são distorções induzidas pela variação na altitude terrestre. Para remover estes efeitos é requerido um modelo digital do terreno.

A maioria dos erros ou distorções das imagens geradas pelo CASI que são causados pelo movimento da aeronave é removida no processo de pré-processamento das imagens. No entanto, devido ao ângulo de visada do sensor e do sistema de navegação inercial, as coordenadas terrestres permanecem incorretas, podendo atingir mais de uma centena de metros, conforme o desnível do terreno. Esses erros podem ser removidos, na sua maioria, utilizando um modelo matemático polinomial de 1ª ordem. Entretanto, esse tipo de correção não considera as variações de altitude terrestre, o que faz permanecer erros de posicionamento na imagem (COSANDIER *et al.*, 1994).

Para se obterem melhores resultados na correção geométrica das imagens CASI, é preciso utilizar métodos fotogramétricos com pontos de controle obtidos no campo ou de cartas em escala adequada. O método fotogramétrico indicado por COSANDIER *et al.* (1994) e COSANDIER e CHAPMAN (1995) é conhecido como ajustamento de feixes, em que são introduzidos alguns parâmetros adicionais e modificações. Na descrição desse método, verifica-se que são medidos fotogrametricamente pontos homólogos na área de superposição entre as linhas do vôo do CASI, definindo-se as coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$  destes pontos. Tal procedimento visa fortalecer a geometria e reduzir a quantidade de pontos de controle terrestre.

Em estudos práticos desenvolvidos por COSANDIER *et al.* (1994), em área crítica de grande variação de relevo, com mais de 1.700 m de desnível do terreno, foram encontrados os seguintes erros para três métodos de correção:

- a) sem utilizar ajustamento por feixes e sem utilizar modelo digital de elevação (DEM), o erro nas coordenadas UTM foi de 61,1 m para a coordenada E e 201,1 m para a coordenada N;
- b) com ajustamento por feixes e sem DEM, erro em E = 42,0 m; erro em N = 78,7 m; e
- c) com ajustamento por feixes e com DEM, erro em E = 45,3 m; erro em N = 43,7 m.

Em outras situações, em que o relevo não tem grandes variações, os pesquisadores obtiveram uma exatidão geométrica de 1 pixel considerando o ajustamento por feixes e DEM.

No caso desta pesquisa, as imagens das duas faixas do CASI foram corrigidas geometricamente, de forma individual, no programa de análise digital de imagens ENVI. O modelo matemático escolhido para proceder à transformação foi um polinômio de 1º grau para o registro dos pontos comuns da imagem (a ser corrigida) com a base cartográfica (referência) e a reamostragem pelo vizinho mais próximo, para calcular os valores apropriados da intensidade para os pixels da imagem, no novo sistema de coordenadas definido pela base cartográfica.

Nesse tipo de transformação matemática são consideradas as coordenadas x e y da imagem e as correspondentes coordenadas do sistema de projeção UTM da carta. Como a coordenada z não foi considerada, permaneceram erros de posicionamento na imagem devido às variações de altitude terrestre.

Para se ter uma imagem com maior exatidão geométrica, seria necessário utilizar um modelo fotogramétrico como aquele proposto pelos pesquisadores citados anteriormente. No entanto, foi impossível utilizar modelos fotogramétricos neste caso de estudo, devido aos seguintes problemas: a) falta de superposição entre as faixas do vôo – somente a metade das faixas tem superposição e existe uma lacuna entre as faixas onde o terreno não foi imageado (parte ao norte); e b) inexistência de registros importantes relativos ao imageamento, como, por exemplo, o *offset* de orientação entre o sistema de navegação inercial (giroscópio) e o CASI, os quais seriam necessários para o modelo fotogramétrico.



Com as imagens corrigidas, o próximo passo foi fazer a ligação das faixas através do processo de mosaicagem. No programa ENVI há a possibilidade de se fazer a mosaicagem de imagens georreferenciadas, bastando apenas definir as imagens numa seqüência adequada.

#### 4.4.4 COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO CASI EM RELAÇÃO AO TM

Após a classificação das imagens CASI foi feita uma avaliação da eficiência deste sensor em relação aquela obtida com as imagens TM do Landsat 5, e com as classes obtidas na interpretação das fotografias aéreas.

Foi efetuada uma comparação genérica, considerando primeiro o número de classes distinguidas por cada sensor e a exatidão com que se conseguiu mapear cada classe. Por último confrontaram-se visualmente os dados classificados em cada uma das imagens classificadas em cada sensor, sem esquecer que há um intervalo de 4 anos entre o imageamento do CASI e o sensor TM.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

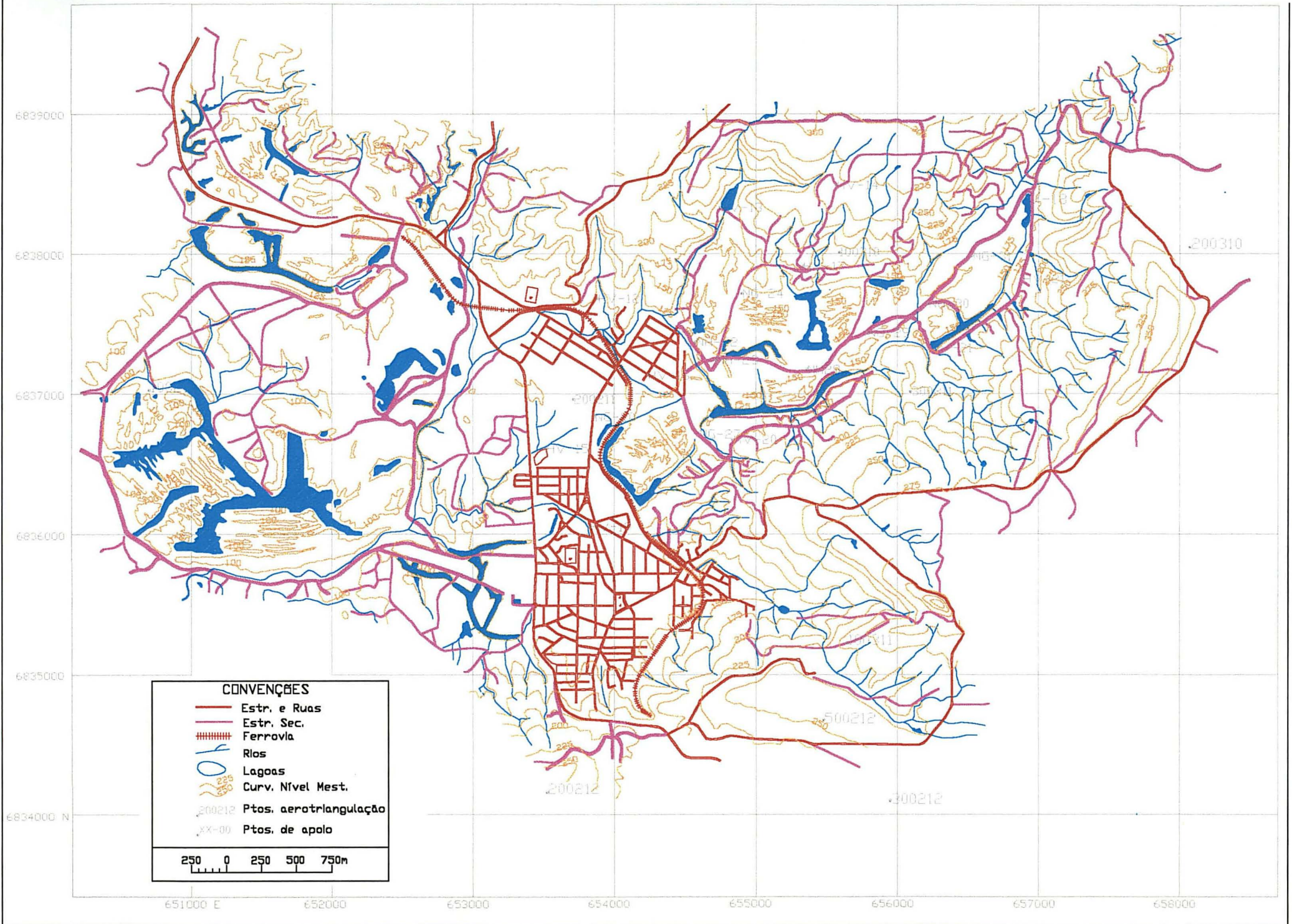
### 5.1 BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL

#### 5.1.1 ESPECIFICAÇÕES SOLICITADAS PARA A BASE CARTOGRÁFICA

A base cartográfica digital foi obtida especialmente para essa pesquisa através da restituição digital das aerofotos 1:30 000 obtidas no voo para o projeto JICA da Região Carbonífera do Estado de Santa Catarina. O trabalho de restituição foi executado pela empresa Aerocarta Aerofoto S. A., mesma empresa contratada para realizar a cartografia do referido projeto em 1996, na escala 1:20 000. Como a base cartográfica 1:20 000 era inadequada para a pesquisa tanto devido à escala, como às feições cartografadas, decidiu-se aproveitar o apoio de campo realizado naquela ocasião, as aerofotos 1:30 000, e solicitar à empresa que fizesse uma base cartográfica nova, na escala 1:10 000, de acordo com as seguintes especificações:

1. restituir somente corpos d'água, rodovias, ferrovias, arruamento da área urbana, e estradas secundárias; separar cada feição em *layer* diferente;
2. restituir a altimetria com curvas de nível de 5 em 5 metros; a toponímia das curvas deve estar em *layer* separado;
3. marcar os pontos de apoio de campo e da aerotriangulação já existentes na carta final e armazená-los no mesmo *layer*;
4. malha UTM com as suas respectivas coordenadas em um único *layer*;
5. os arquivos da restituição devem estar no formato DXF ou DWG, prevendo sua posterior utilização em sistemas CAD e em Sistemas de Informação Geográfica ArcView GIS.

FIGURA 9 - BASE CARTOGRÁFICA





### 5.1.2 ANÁLISE DA BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL

A análise geral da base cartográfica (vide Figura 9) mostrou a inexistência de um procedimento-padrão na restituição, tanto para o delineamento de feições, como para a escolha da simbologia adequada à escala. Se cuidados deste tipo fossem tomados, a maioria dos problemas detectados e expostos a seguir seriam evitados.

Os procedimentos de restituição, como se poderá observar nos exemplos extraídos da base cartográfica, afetam a consistência dos dados e de todo um mapeamento, além de implicar o aumento de trabalho na preparação da base cartográfica para utilização em um SIG.

#### Primeiro exemplo

O exemplo da figura 10 mostra um conjunto de linhas representando o preenchimento de corpos de água. Esse tipo de convenção não é adequado para preenchimento de áreas. Consultando a empresa que executou a cartografia, verificou-se que foram usadas hachuras neste preenchimento. Como na carta em formato DXF, as hachuras ficaram como linhas individuais, ora com espaçamento igual entre elas, como no exemplo, ora com espaçamento desigual. Considerou-se que esse é um problema derivado da conversão do formato da restituição feita através do MaxiCAD para o formato DXF.

Também verificou-se que não há uma sistemática para a representação dos corpos d'água. Foram encontrados rios sem nenhum tipo de preenchimento e outros preenchidos como na figura 10. Para colocar esses arquivos em um SIG não seria necessário qualquer tipo de preenchimento, evitando ainda maior complexidade na edição dos atributos e identificadores.

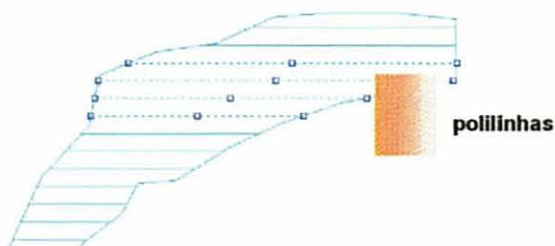


FIGURA 10 – PREENCHIMENTO DE POLÍGONOS.

### Segundo exemplo

Quando se fez a superposição da carta com a foto retificada, verificou-se que as linhas não limitaram adequadamente os corpos d'água. Em função da complexidade das feições naturais, como observado na figura 11, que mostra limites de lagoas ou de rios, seria necessário utilizar um incremento menor entre os pontos que fazem parte do vetor. Isso faria com que a representação de limites irregulares fosse mais acurada.

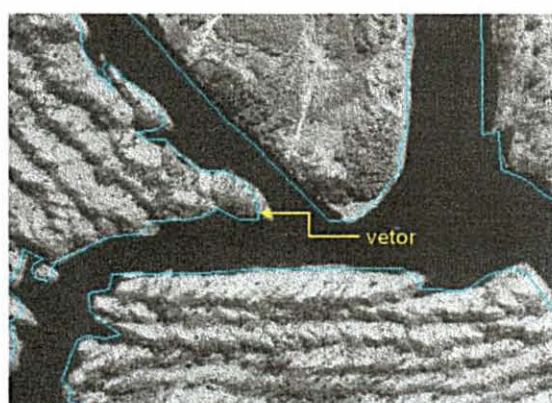


FIGURA 11 - ESPAÇAMENTO ENTRE PONTOS INADEQUADO PARA O DELINEAMENTO DAS FEIÇÕES.

### Terceiro exemplo:

A figura 12 mostra outra problemática comum na restituição. As estradas foram construídas com polilinhas quebradas e unidas com outra entidade (nível de informação). Cada tipo de atributo deveria ter sido construído com linhas independentes, uma para cada estrada e outras para o limite da cidade. Para solucionar esse problema, é indicado que se faça a quebra do vetor em cada tipo de atributo.



FIGURA 12 – NÍVEIS DE INFORMAÇÕES.

#### Quarto exemplo

Observando a figura 13, nota-se que a simbologia escolhida é inadequada para representar as entidades semânticas, como edificações e cemitério, considerando a escala do mapeamento. O posicionamento dos símbolos é pontual; entretanto, as edificações possuem dimensões próprias; por isso, a maneira correta de representar as características das edificações e do cemitério seria através de polígonos, os quais mostram forma e dimensão reais. A simbologia pontual pode se tornar problemática na hora de converter os arquivos para diferentes tipos de software; eventualmente seriam convertidos como vetores e não como símbolos, fato observado na base cartográfica em análise.

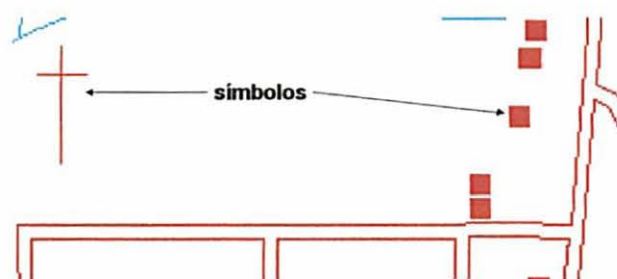


FIGURA 13 – SÍMBOLOS INADEQUADOS PARA REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES.

#### Quinto exemplo

No exemplo mostrado na figura 14, faz-se uma tentativa de mostrar o problema de pontos com coordenadas em diferentes valores em  $Z$ .

Como a restituição foi executada em 3D e convertida do formato MaxiCAD para os formatos DXF e DWG, a coordenada  $Z$  tornou-se um problema na edição para SIG. Mesmo tendo convertido o arquivo de 3D para 2D, permaneceu a coordenada  $Z$ . Diferentes coordenadas em  $Z$  impossibilitam a união de vetores, fechamento de polígonos, quebra e corte de linhas.



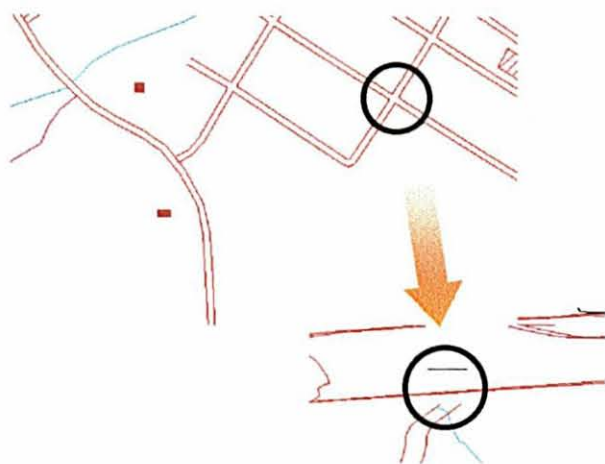


FIGURA 14 – VETORES COM DIFERENTES COORDENADAS EM Z.

### Outros problemas

Outros tipos de ocorrências foram detectados durante a edição da base cartográfica para o SIG. Um exemplo clássico foi a falta de planejamento de distribuição das classes em camadas, ou níveis (*layers*), durante a restituição, como foi solicitado. As estradas, por exemplo, apareceram misturadas em um mesmo nível de informação (principais e secundárias), ou, então, uma mesma estrada foi segmentada em dois níveis de informações diferentes. Também foi verificado que as estradas de mesmos atributos receberam cores diferentes. Para as curvas de nível foram utilizados até quatro níveis de informação diferentes, sem que se pudesse perceber qualquer regra que tivesse orientado tal distribuição. O mesmo fato ocorreu com os corpos d'água, chegando ao cúmulo de um nível conter vetores de delineamento de alguns lagos e o preenchimento de outros lagos contidos em outro nível.

Considerando os exemplos acima, percebe-se que os procedimentos adotados na restituição fotogramétrica precisam ser padronizados para que se obtenha uma cartografia digital de qualidade. Os exemplos levantados nesta base cartográfica são comuns de acontecerem nas bases cartográficas digitais geradas via restituição fotogramétrica em nosso país.

MAKAROVICK (1996) acentua que uma seqüência ótima de restituição precisa refletir a exatidão das medidas de cada classe ou entidade, a hierarquia semântica e os tipos de

entidades geométricas. Uma seqüência-padrão para extração de entidades é imprescindível, pois ela afeta a consistência dos dados e o mapeamento como um todo. Tal afirmativa pode ser constatada na base cartográfica desta pesquisa; basta verificar os exemplos apontados.

O modo de extrair feições nos procedimentos fotogramétricos deve ser sempre por pontos, linhas ou misto. A escolha do modo dependerá da forma geométrica e da exatidão exigida. Em mapeamentos detalhados o modo pontual é aconselhável para entidades geométricas regulares, como limites (vértices) de parcelas de terras, edificações e obras de engenharia, as quais podem ser representadas por um número de pontos discretos. O modo linear é aplicável para entidades geométricas irregulares, tais como limites naturais, rios, lagos e formas do relevo. O modo misto, pontos e linhas, deve ser aplicado para feições que mudaram devido à atividade humana, sendo parte regulares e parte irregulares, como as áreas de mineração a céu aberto dessa pesquisa.

Uma seqüência ótima de extração de entidades foi proposta por MAKAROVICK (1996). A experiência da autora dessa tese na área de mapeamento concorda com a seqüência proposta por Makarovick, conforme apresentado a seguir:

1. coletar primeiro as entidades que precisam ser mais acuradamente localizadas. Geralmente são as feições terrestres mais importantes;
2. iniciar a extração de entidades semânticas de mais alto nível hierárquico, decrescendo gradualmente. Por exemplo, estradas federais > municipais > vicinais > caminhos;
3. coletar primeiro entidades representadas como regiões, depois as linhas e finalmente os pontos isolados;
4. adquirir as entidades semânticas na seguinte ordem:
  - a) as redes hidrográficas precisam ser obtidas da montante à jusante no rio principal, depois, os rios primários, obtidos a partir do principal em direção à montante e, da mesma maneira, para os rios de outra ordem;



b) feições distintas no relevo, tais como estradas, caminhos de morros ou divisores de água e linhas de rios intermitentes (ravinas), são descontínuas e geralmente têm forma irregular. Elas precisam ser delineadas em seqüência hierárquica de cima para baixo, da esquerda para a direita, preferencialmente considerando cada região;

c) entidades representadas por linhas, como estradas, ruas, canais ou dutos, precisam ser delineadas ao longo de seus limites paralelos e em direções opostas, para dar mais consistência ao traçado;

d) obras de engenharia, edificações, parcelas de terras e outras feições regulares precisam ser delineadas ordenadamente, como, por exemplo, iniciando no canto superior esquerdo e delineando no sentido horário;

e) feições isoladas, tais como lagos com ilhas, precisam ser delineadas de fora para dentro e trocando o sentido do traçado de horário para anti-horário em cada transição.

Além destas recomendações, é imprescindível que se faça um planejamento das feições a serem cartografadas, bem como o *layer* em que a feição se enquadrará, constituindo, assim, um “dicionário de pontos” referente à cada feição, como, por exemplo, a hidrografia, a malha viária e assim por diante. Esse procedimento economiza tempo de uso da máquina e minimiza os erros inerentes ao operador, pois os sistemas CAD, sem sofrerem nenhum tipo de customização, permitem que se criem quaisquer tipos de entidades gráficas, com qualquer atributo, em qualquer nível. Não existem, intrinsecamente definidos, controles que façam com que o CAD impeça a digitalização de uma entidade inconsistente, como, por exemplo, o elemento de área em nível que só deveria conter símbolos. Também podem ocorrer erros de simbologia, em que elementos são codificados com a cor ou tipo de linha errado, como aconteceu nesta base cartográfica.

## **5.2 FOTOINTERPRETAÇÃO**

### **5.2.1 ANÁLISE DA QUALIDADE DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS**

Analisando a tonalidade das aerofotos dos diferentes anos verificou-se que ela difere ligeiramente de um ano para outro. As aerofotos de 1978 apresentaram a menor extensão de variações de cinza, portanto mostram uma imagem com baixo contraste, parecendo que foi obtida em presença de bruma ou que aconteceram problemas na revelação do filme aéreo. A melhor imagem foi aquela mostrada nas aerofotos de 1957: o contraste excelente e as diferentes texturas nítidas facilitaram a identificação das classes. As aerofotos de 1996 mostraram uma imagem muito contrastada, onde as áreas mais claras apareciam totalmente brancas e o contrário nas áreas escuras. Além disso, havia muita sombra na imagem, causada pela hora imprópria do voo e pelo relevo acidentado, fatores que prejudicaram a interpretação das fotos dessa data.

### **5.2.2 CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE COBERTURA DA TERRA**

A chave de fotointerpretação foi útil na fotointerpretação para homogeneizar a discriminação das classes nas aerofotos e entre as diferentes datas de aerofotos. Foi particularmente útil na detecção, no delineamento e na classificação da vegetação existente sobre os estereis da mineração.

Os quadros 2 a 6 mostram as chaves de fotointerpretação construídas para a área interpretada nas aerofotos dos anos de 1956 (escala 1:25 000), 1978 (escala 1:25 000) e 1996 (escala 1:30 000).

QUADRO 2 - CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO: VEGETAÇÃO EM ÁREAS MINERADAS – AEROFOTOS DE 1956

DESCRIÇÃO	TONALIDADE	TEXTURA	CLASSE
Dossel alto, árvores esparsas formando pequeno agrupamento	escura	média +	Eucalipto
Dossel baixo, formando capões	escura	média +	Capoeira
Árvores de diversos portes, esparsas, deixando ver solo coberto por vegetação herbácea	escura e média	mosqueada	Capoeira rala e vegetação herbácea

QUADRO 3 - CHAVE PARA FOTOINTERPRETAÇÃO: VEGETAÇÃO EM ÁREAS MINERADAS – AEROFOTOS DE 1978 E 1996

DESCRIÇÃO	TONALIDADE	TEXTURA	CLASSE
Dossel mais ou menos uniforme, árvores de porte alto (aproximadamente 8 m de altura)	escura e/ou média	média e mosqueada	Experiências com eucalipto e/ou bracatinga*
Árvores de porte baixo e médio mostrando não-uniformidade do dossel ( de 2 a 5 m de altura)	escura	média	Capoeira
Árvores de porte médio, dossel aberto deixando ver solo coberto por vegetação herbácea	escura	média e mosqueada	Capoeira rala/ Eucalipto *
Árvores de porte baixo, esparsas (menos de 1,5 m de altura)	escura	média	Capoeirinha
Capoeira, capoeirinha, arbustiva e herbácea misturadas com eucalipto	escura	grosseira mosqueada	Diversos estágios de regeneração e Eucalipto
Árvores de porte alto formando pequenas comunidades sobre cones de rejeito estéril	escura	fina	Eucalipto sobre estéril
Somente vegetação herbácea, sobre estéril. Às vezes, pequeno agrupamento de árvores de baixo porte	média com manchas mais escuras	fina, com manchas mais grosseiras	Vegetação herbácea com poucas árvores esparsas

\*só em 1996

QUADRO 4 - CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO: VEGETAÇÃO NATIVA  
SECUNDÁRIA – AEROFOTOS DE 1956, 1978 E 1996

DESCRIÇÃO	TONALIDADE	TEXTURA	CLASSE
Dossel alto e uniforme (mais de 15 m de altura)	escura	grosseira	Capoeirão (estágio avançado)*
Dossel alto mais ou menos uniforme e copas menores que a classe anterior	escura	menos grosseira	Capoeirão*
Porte menor que capoeirão (até 6 m de altura)	escura	grosseira	Capoeira **
Porte mais baixo que capoeira (menos que 1,5 m de altura)	escura	menos grosseira que capoeira	Capoeirinha
Grupo de árvores de porte médio (aproximadamente 8 m de altura)	escura	mosqueada	Aglomerado de árvores
Árvores de diversos portes, predomínio de baixo porte, rala, aparecendo solo coberto por vegetação herbácea	média para escura	média	Capoeira Rala**

Obs.: \* Agrupadas nos mapas temáticos finais; \*\* Agrupadas nos mapas temáticos finais.

QUADRO 5 - CHAVE PARA FOTOINTERPRETAÇÃO: REFLORESTAMENTO DE  
EUCALIPTO – AEROFOTOS DE 1956, 1978 E 1996

DESCRIÇÃO	TONALIDADE	TEXTURA	CLASSE
Dossel uniforme, alto,	Escura	média aveludada	Eucalipto (E)
Dossel não uniforme, alto	Escura	média	Eucalipto (G)
Copas maiores que E e G, outra espécie	mais escura que E	mais grosseira que E	Eucalipto (F)
Fisionomia semelhante a E, dossel mais baixo, uniforme, mais jovem que E	mais escura que E	média = E	Eucalipto (H) <sup>+</sup>
Corte raso, em alguns casos com rebrota	escura e média	mosqueada	Eucalipto (J)
Plantação jovem, dossel baixo	escura para média	mais grosseira que J	Eucalipto (K)**
Dossel não uniforme, copas de diferentes tamanhos	mais clara que E	mais grosseira que E	Eucalipto e Vegetação Nativa (I)
Árvores esparsas deixando aparecer vegetação arbustiva e herbácea	Escura		Eucalipto e Vegetação Nativa, ralos (C) *

\* só em 1996; \*\* nos mapas temáticos recebeu o nome de “Euc. muito Jovem”

<sup>+</sup> nos mapa temáticos recebeu o nome “Euc. Jovem”

Obs: As letras E, G, F, H, J, K e C, são siglas utilizadas na fotointerpretação para diferenciar as classes de eucalipto; a letra I, da mesma maneira, designa a classe de eucalipto e vegetação nativa juntos.

QUADRO 6 - OUTRAS CLASSES – FOTOGRAFIAS AÉREAS DE 1956, 1978 E 1996

DESCRIÇÃO	TONALIDADE	TEXTURA	CLASSE
Cultivo anual: tonalidade variando conforme idade ou espécie cultivada	Média e variações	fina	Banana
Pastagens e cultivos diversos, incluindo pomares e jardins	Clara a média	fina	Área agropecuária
Rocha exposta ou terra arada ou solo exposto	Branca	-----	Solo descoberto
Solo abandonado que provavelmente foi de uso agropecuário	Média e variações	mosqueada	Pastagem suja*
Massa de estéril podendo ou não ser coberta por vegetação herbácea/arbustiva	Branca a cinza clara	ondulada	Estéril
Área de exploração com rejeito, estéril e vegetação	Clara a escura	diversos	Mineração
Massa estéril	Clara ou média	lisa	Estéril aplainado
Rejeitos do carvão espalhados ou em montes	Média a escura		Rejeitos de carvão
Arruamentos e edificações visíveis	-----	-----	Urbana

Na investigação cuidadosa das aerofotos detectaram-se-se em torno de 25 classes de uso/cobertura da terra para cada ano das aerofotos. Para a cobertura vegetal, especificamente as classes florestais, obtiveram-se 6 classes de Vegetação Nativa Secundária (Capoeirão em duas fazes de regeneração, Capoeira, Capoeirinha, Capoeira Rala e Aglomerado de Árvores, conforme mostrado no Quadro 4), apesar de TOMAR E MASLEKAR (1974) afirmarem que é possível obter entre 8 e 9 classes. Porém, para os reflorestamentos de eucaliptos (Quadro 5) distinguiram-se 7 classes, e mais uma classe heterogênea de Eucalipto e Vegetação Nativa.

Considerando a Vegetação Nativa Secundária e Reflorestamento de Eucalipto, apesar da diferença de escala das fotos de 1996 em relação às de 1956 e 1978 e da baixa qualidade das fotos de 1978, foi possível distinguir as mesmas classes e estabelecer uma única chave de interpretação. O mesmo também aconteceu para as classes Banana, Agropecuária, Solo Descoberto, Depósito de Estéril e Rejeitos de Carvão.

A vegetação em área minerada das fotos de 1956 foi colocada no quadro 2, separada daquela dos outros anos, porque o sistema de mineração praticado até aquela época dificultava

a regeneração da vegetação. Essa era muito mais lenta, porque não havia o menor cuidado em aplinar os montes de estéril (eram depositados em montes de até 25 m), ou recolocar o solo mais fértil em cima do monte de estéril. A vegetação teve regeneração espontânea onde havia ambiente mais propício para tal.

Nas datas seguintes a área de mineração apareceu, nas aerofotos, coberta por uma quantidade maior de vegetação que em 1956 e em diversos estágios de regeneração. Muitas vezes, a vegetação nativa apresentava-se mesclada à espécie exótica introduzida, ou semeada pela ação do vento, misturando-se à regeneração espontânea da vegetação nativa. Portanto, para as datas de 1978 e 1996, a vegetação em área de mineração foi subdividida em maior número de classes que aquela de 1956 (vide Quadro 3).

De forma geral, a paisagem observada mostra, além da área urbana, quatro áreas distintas:

- a) áreas de mineração - a superfície mostra o impacto visual da mineração a céu aberto com cavas de lagoas ácidas entremeadas pelos cones de estéreis cobertos ou não por vegetação (fotos “b” e “c” da figura 16) e locais onde o rejeito de carvão (pirita) foi depositado e espalhado ou não (foto “d” da Figura 15), existindo ainda alguma atividade de lavagem e aproveitamento dos finos do carvão (foto “a” da Figura 15). A foto “f” da figura 15 mostra uma vista parcial das áreas de mineração abandonadas, onde atualmente se percebe um lento processo de regeneração da vegetação. As fotos “b” e “c” desta mesma figura e “b”, “c” e “a” da figura 17 ilustram as espécies e fisionomia da vegetação existente nessas áreas;
- b) áreas rurais - a paisagem mostra um mosaico de peças diferenciadas formado por cultivos permanentes de banana, entremeados por pastagens e pequenas áreas de cultivo de milho, cana-de-açúcar ou outros cultivos de subsistência, conforme a estação do ano (vide foto “d” da Figura 17);
- c) áreas de reflorestamento de eucalipto - essa paisagem é típica das vertentes que circundam as áreas mineradas, formando áreas grandes de eucalipto; o plantio de eucaliptos é muito

comum em toda a região, inclusive nas áreas mineradas e adjacências, tendo o cultivo desta espécie as funções básicas de servir para escora das minas subterrâneas ou para as pequenas olarias (existe grande número de olarias na Região Carbonífera de Santa Catarina), e para ocupar a superfície de áreas onde está sendo feita mineração subterrânea; em qualquer dos plantios observa-se que a prática de manejo das florestas de eucalipto não é usual, sendo apenas feito o corte raso nas áreas de população mais velha;

- d) áreas de vegetação nativa secundária em diversos estágios de regeneração - a interferência do homem sobre a vegetação nativa acontece há mais de uma centena de anos, e o corte da floresta deu lugar a pequenas propriedades com o uso do solo dividido basicamente em pastagem e agricultura, usando o sistema de pousio, prática de cultivo do solo com áreas abandonadas que propiciaram a regeneração da vegetação formando um mosaico de peças desiguais conforme a idade da vegetação; foram classificadas como Capoeirinha, Capoeira, Capoeirão e Capoeira Rala;

Nas figuras 15 “b” e “c”, 16 “d” e 17 “a” e “d” são mostradas vistas parciais da paisagem local relacionadas às classes interpretadas nas aerofotos, assim como das principais espécies da vegetação nativa. Observando as figuras, pode-se ter uma idéia das diferentes fisionomias da paisagem na área de estudo, assim como da vegetação existente no local e associá-la à sua resposta espectral em fotografias pancromáticas preto e branco.





(a) Vista parcial de uma área de reaproveitamento do passivo da mineração: lavagem de rejeitos

(b) Samambaia  
ninho de galinha  
(*Pteridium aquilinum*)



(c) Vassourinha



(d) Antiga Lagoa de decantação: finos do carvão



(e) Cola de burro  
(*Andropogon bicornis*)



(f) Área minerada à céu aberto abandonada

FIGURA 15 - PAISAGENS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO E ESPÉCIES VEGETAIS SOBRE ESTÉREIS DA MINERAÇÃO.



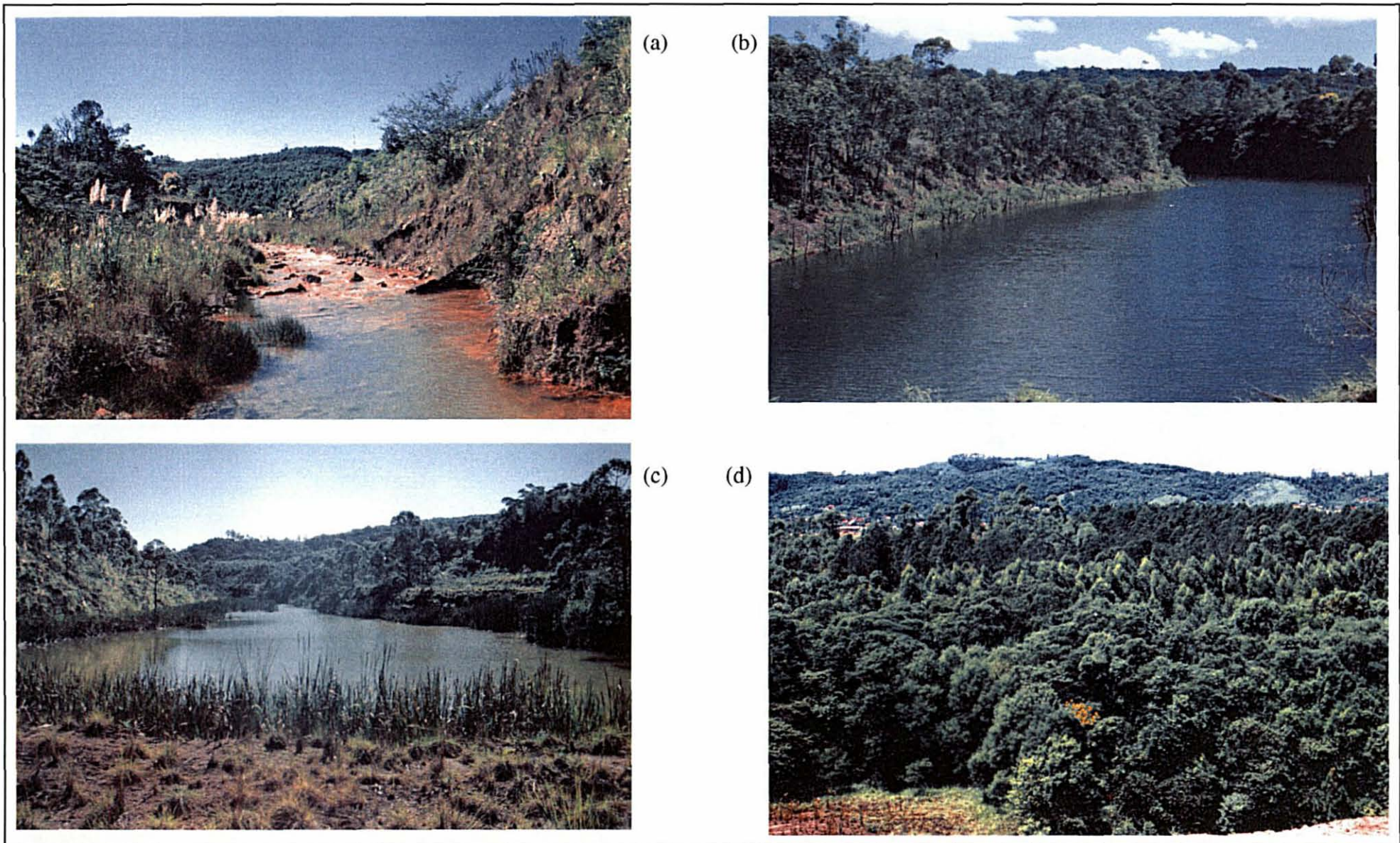
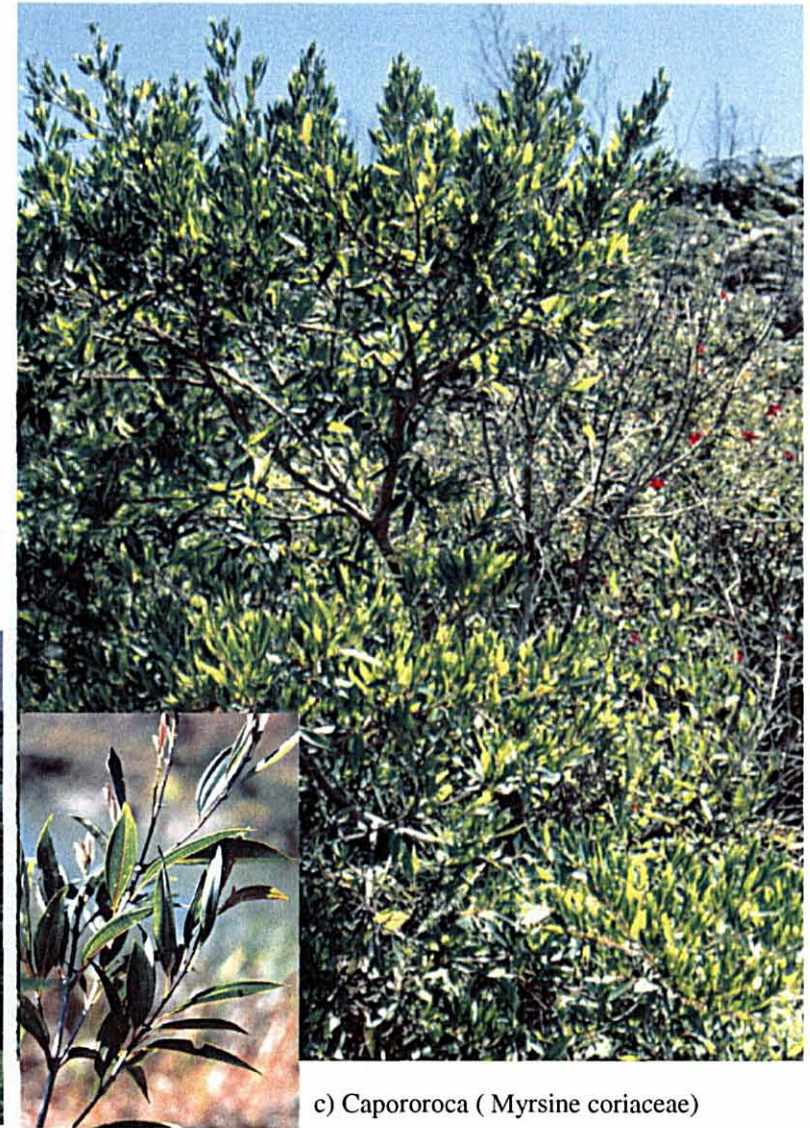


FIGURA 16 - PAISAGENS DEGRADAS PELA MINERAÇÃO: a) RIO FIORITA; b, c) LAGOAS ÁCIDAS; VEGETAÇÃO MARGINAL;  
d) EUCALIPTO E VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA NA ORLA DA ÁREA MINERADA.





a) Bracatinga ( *Mimosa scabrella* Benth)



c) Capororoça ( *Myrsine coriacea*)



d) Paisagem Rural na área

FIGURA 17 - DETALHES DA VEGETAÇÃO DAS ÁREAS MINERADAS E PAISAGEM RURAL DAS ÁREAS CONFRONTANTES.



### 5.2.3 REAMBULAÇÃO

A reambulação foi de grande valia para confirmar os dados levantados na fotointerpretação, tais como as diferentes estratificações da vegetação nativa os consórcios de nativa e exótica, e as diferentes fisionomias das plantações de eucaliptos. As sete classes de eucaliptos delimitadas na fotointerpretação foram confirmadas no campo, onde existem apenas duas espécies, mas de diferentes idades, desde aqueles eucaliptais antigos, que aparecem ao norte da área em análise, nas aerofotos de 1956 até plantações mais recentes, que aparecem nas aerofotos de 1996, e ainda corte raso, identificado nas aerofotos de 1956, 1978 e 1996. Na checagem de campo constatou-se que as áreas de plantação recente que apareciam nas aerofotos de 1996, mostram, em 1999, uma altura aproximada de 8 m, e a tonalidade é mais clara que a dos eucaliptos mais antigos. Eucaliptos de mesmo porte, cobrindo vastas áreas, mas com duas tonalidades, sendo uma ligeiramente mais clara, foram identificados como sendo de espécies diferentes.

Na mesma saída de campo observaram-se áreas onde estava sendo efetuada a retirada de eucalipto através de corte raso, prática comum na região. Nas aerofotos tais áreas são bem caracterizadas pela textura, tonalidade e altura, sendo verificadas ocorrências deste tipo tanto nas bordas de reflorestamentos quanto mais ao centro.

Também foi importante observar a cobertura vegetal sobre as áreas de mineração. A foto “f” da figura 15 mostra uma área-limite de mineração a céu aberto, onde as pilhas de estéril aparecem revegetadas espontaneamente. Nas áreas com rejeitos, a exemplo daquela da foto “d” da figura 15, não existe regeneração da vegetação. A samambaia ninho-de-galinha (*Pteridium aquilinum*) e capim cola-de-burro (*Andropogon bicornis* – vide fotos “b” e “c” da Figura 15) foram introduzidos para cobrir camadas de estéril aplainadas, com o objetivo de formar a primeira fase da sucessão vegetal. Sendo pouco exigentes quanto à qualidade do ambiente, essas espécies adaptaram-se a esse tipo de solo, dispersando-se por vastas áreas em formações homogêneas ou heterogêneas. Essa vegetação preparou o solo para novas

formações, aparecendo de forma consorciada às espécies arbustivas e arbóreas, como a vassourinha (*Baccharis dracunculifolia* DC, – vide foto “c” da Figura 15), a bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), o eucalipto (foto “d” da figura 16 e “a” da Figura 17) e, ainda, a quaresmeira (*Tibouchina sellowiana* – vide foto “c” da Figura 17). Encontraram-se gramíneas e a taboa (*Typha domingensis*) nas margens das cavas de lagoas ácidas (vide fotos “b” e “c” da Figura 16).

De forma geral, a vegetação está atualmente disseminada por quase toda a área degradada, com exceção daquelas ocupadas com rejeito exposto, como aqueles observados nas fotos “a” e “d” da figura 15, ou onde os cones da camada de estéril não foram invertidos.

#### 5.2.4 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS FOTOS AÉREAS E DOS *OVERLAYS* DA FOTOINTERPRETAÇÃO

Em todas as correções efetuadas tomou-se o cuidado de escolher pontos comuns de fácil identificação e que estivessem bem distribuídos em toda a área, considerando bordas e área central.

Observando a figura 9, verifica-se que a área de estudo apresenta um relevo variado. Em aproximadamente 1/3 da área, incluindo a cidade e uma parte das áreas mineradas a oeste, o terreno é suavemente ondulado (3% a 8% de declividade) com altitudes que variam de 100 a 125 m. À montante do rio Fiorita, o relevo é mais acidentado (20% a 45% de declividade), caracterizado por encostas de morros e vale estreito onde outrora se encontrava a calha do rio. A altitude nas áreas degradadas varia de 300 m, no divisor de águas, até 100 m nas áreas mais planas. Considerando a topografia da área, tinha-se claro de antemão que a retificação das aerofotos seria uma tarefa difícil, com probabilidade de haver resíduos grandes em pontos isolados, porque a altimetria não foi considerada. Os métodos de correção geométrica disponíveis no programa utilizado para a correção geométrica, Descartes, desconsidera a

altitude; portanto, quanto mais plano o terreno, melhores resultados podem ser esperados na correção geométrica.

No *help* do programa Descartes não se encontrou qualquer orientação que fornecesse as equações matemáticas de cada método de correção disponível ou o que consideraram para tal. Deduziu-se que o programa considerava apenas correções no plano porque não solicitava pontos da coordenada  $z$  e devido ao número de pontos mínimos solicitados no modelo Afim e Projetiva. Esse fato comprova o quanto é importante que o usuário de programas tenha conhecimento teórico do que se propõe a realizar e conheça o que foi considerado no programa.

Na tabela a seguir mostra-se um quadro resumo dos desvios-padrão finais de cada uma das correções geométricas efetuadas e, na seqüência, discutem-se os problemas encontrados para cada tarefa.

TABELA 3 – DESVIO-PADRÃO DOS PONTOS UTILIZADOS NA CORREÇÃO GEOMÉTRICA

DESCRIÇÃO DA CORREÇÃO		DESVIO-PADRÃO (m)		
Base	/ a corrigir	$x$	$y$	$xy$
Base Cartográfica 1996	/ foto 1996	3,9420	3,2273	3,3153
Foto corrigida 1996	/ <i>overlay</i> 1996	0,3747	0,2422	0,3638
Foto corrigida 1996	/ foto 1978	2,2506	1,2420	2,0500
Foto corrigida 1978	/ <i>overlay</i> 1978	0,3554	0,9071	0,793
Base cartográfica 1956	/ base cartog. 1996	0,2033	0,2033	0,0
Base cartográfica 1956	/ foto 1956	3,551	1,909	3,208
<i>Overlay</i> de 1956	/ foto1956	3,705	1,952	3,528

#### 5.2.4.1 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA FOTO DE 1996 COM A BASE

##### CARTOGRÁFICA

Na tabela 3 verifica-se que os maiores resíduos ocorreram na correção geométrica da foto de 1996 com a base cartográfica. Além desta correção geométrica, que utilizou 40 pontos de apoio, foram efetuadas mais duas correções independentes, com menos e com mais pontos,

procurando referências diferentes. Entretanto, os resultados não melhoraram significativamente. Para ambos os casos, os resíduos foram maiores que os valores apresentados nesta correção.

Analisando os pontos de aerotriangulação plotados na base cartográfica (Figura 9), verificou-se que poucos pontos foram utilizados para a restituição fotogramétrica que abrange a área a oeste, deixando as bordas da faixa solta, enquanto que na parte leste havia abundância de pontos. Tal fato deve ter prejudicado a geometria da base cartográfica e, por consequência, pode ter contribuído para acumular resíduos na correção geométrica da foto.

Outro fato que contribuiu para aumentar os resíduos da retificação da foto aérea de 1996 foi a dificuldade de localizar corretamente os pontos fotoidentificáveis na carta. Os principais fatores que dificultaram a localização dos pontos na carta foram: a) a má qualidade do delineamento das feições terrestres da base cartográfica (comentado no item que analisa a qualidade da representação das feições na base cartográfica), resultado da escolha inadequada do incremento de vetor para tal delineamento das feições; e b) a existência de contornos definidos sem cuidado, aparecendo com forma e tamanho diferentes em relação à imagem mostrada na fotografia (vide segundo exemplo do item 5.1.2).

A figura 18 mostra sobreposição do arquivo vetorial da hidrografia resultante da digitalização do *overlay* da fotointerpretação (já retificado) e a base cartográfica, ambos de 1996. A análise desta figura mostrou que:

- a) do centro para o oeste da área as lagoas de ambas as cartas praticamente coincidem, e o erro existente é idêntico àquele encontrado nos resíduos dos pontos de controle utilizados para a retificação das aerofotos; as diferenças de delineamento das bordas é devido à sombra do relevo ou da vegetação arbórea ribeirinha que camufla a imagem destes corpos d'água nas aerofotos, além, é claro, dos problemas já apontados para o delineamento de feições da base cartográfica;

**QUALIDADE DA INTERPRETAÇÃO DE 1996  
EM RELAÇÃO À BASE CARTOGRÁFICA**

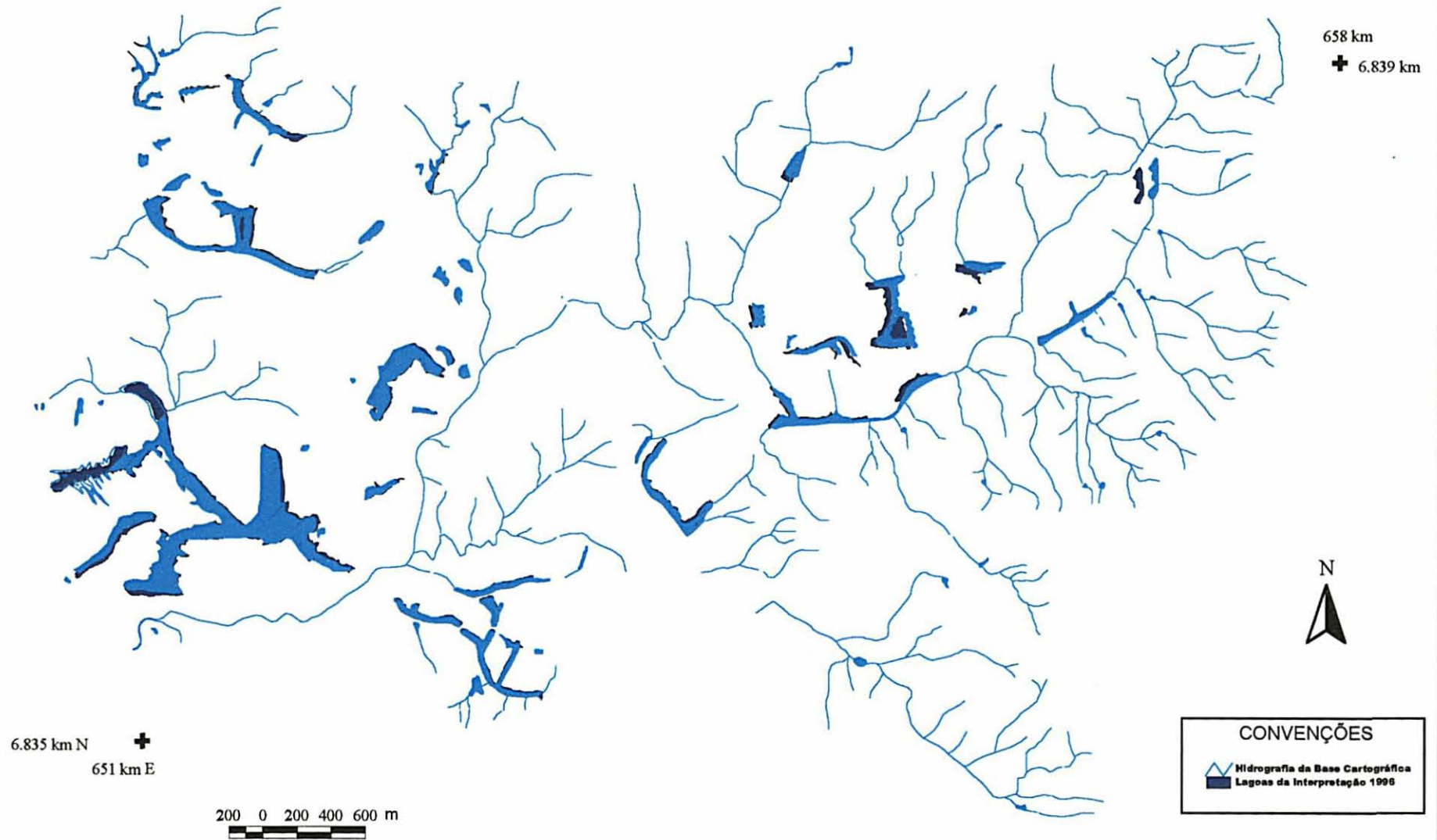


FIGURA 18 - QUALIDADE DA INTERPRETAÇÃO DE 1996 EM RELAÇÃO À BASE CARTOGRÁFICA: SOBREPOSIÇÃO DA HIDROGRAFIA INTERPRETADA NAS FOTOS AÉREAS DE 1996 E DA BASE CARTOGRÁFICA DA MESMA DATA.

- b) do centro para leste, à medida que o relevo fica mais acidentado, as discrepâncias de localização também aumentam, principalmente em relação ao eixo  $x$  (coordenada  $E$ ); esse fato é observado claramente na primeira lagoa, na parte nordeste da área, marcada por um círculo;
- c) como esperado, o programa Descartes, por desconsiderar as altitudes, não se mostrou adequado para a retificação de aerofotos que contêm áreas de relevo fortemente ondulado como esse, onde as altitudes variam de 100 a 300 m.

#### 5.2.4.2 REGISTRO DAS FOTOS DE 1978 E DA FOTO DE 1996

Conforme explicado no item 4.3.2., a retificação das fotos foi uma tarefa demorada, devido às mudanças temporais no uso da terra. Considerando os anos de 1978 e 1996, as mudanças foram acentuadas. Na parte leste, para onde se estendeu a mineração, o relevo foi totalmente alterado por causa dos desvios do rio e das escavações superficiais com retirada das camadas superiores do solo e disposição destes estéreis em novos lugares. A sucessão de montículos de estéreis dispostos na superfície em forma de cordões apresenta nas aerofotos uma aparência de leiras. Nos morros que circundam estas áreas foram detectadas mudanças no uso do solo agrícola, a vegetação foi retirada ou cresceu onde era área de plantio, novas plantações de eucaliptos surgiram; a cidade de Siderópolis quase não se expandiu, mas teve suas ruas pavimentadas, retificadas, ou ambos os casos.

Os resíduos encontrados no registro das fotos corrigidas com seus respectivos *overlays* ocorreram devido a dois fatores básicos: mosaicagem de fotos e os traços muito grossos da caneta sobre o *overlay* quando se amplia (aproxima digitalmente) o desenho, o que gera delineamento grosseiro do alvo e conseqüente indefinição na escolha do local correto do ponto. Utilizaram-se canetas 0,3 mm para delinear as feições no *overlay* de interpretação.



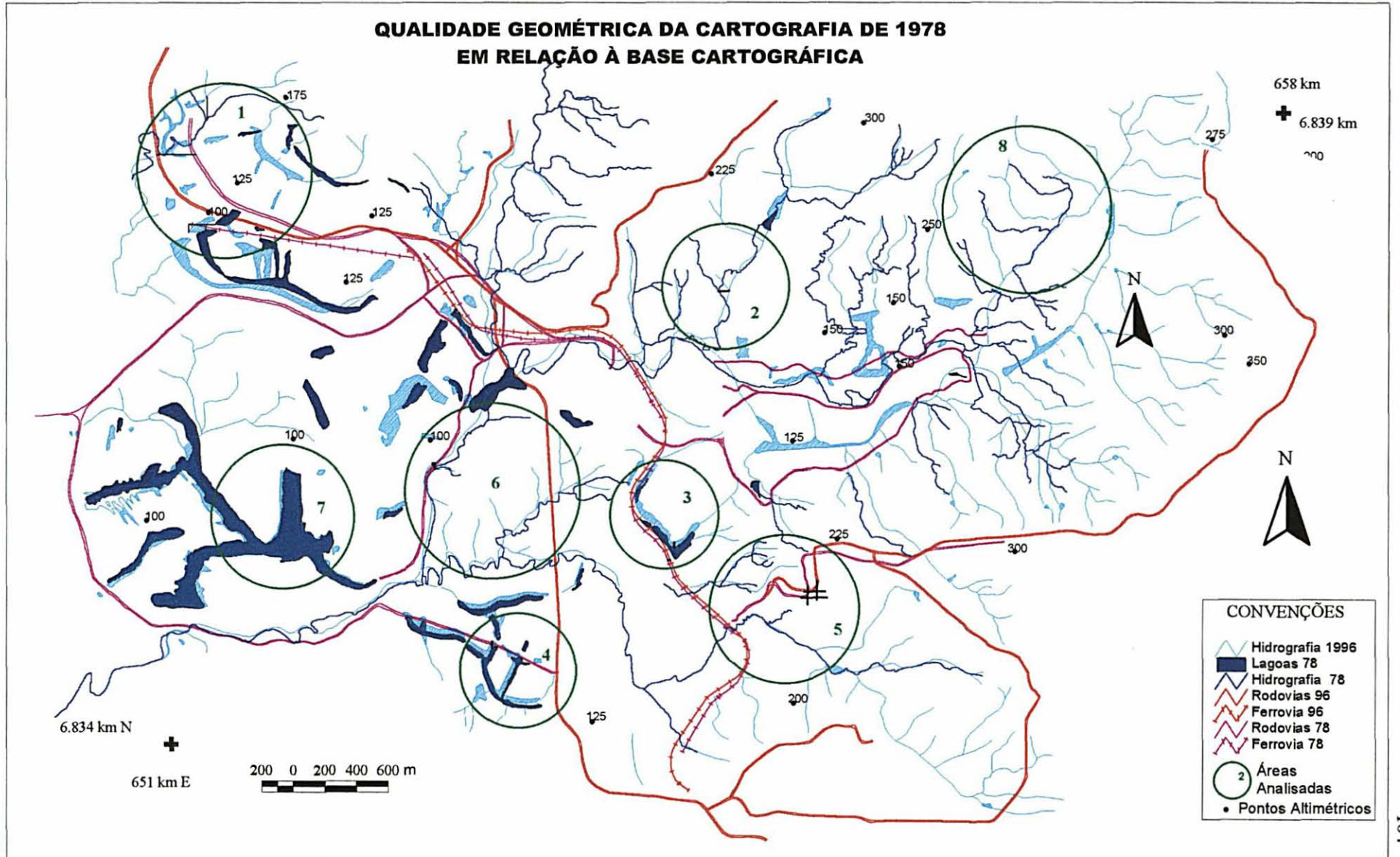


FIGURA 19 - QUALIDADE GEOMÉTRICA DA CARTOGRAFIA DE 1978 EM RELAÇÃO À BASE CARTOGRÁFICA: SOBREPOSIÇÃO DA HIDROGRAFIA E REDE VIÁRIA DE CADA ANO.

A figura 19 mostra a sobreposição do arquivo vetorial contendo a hidrografia e rede viária resultante da digitalização do *overlay* da fotointerpretação de 1978 (já retificado) e a base cartográfica de 1996. Os círculos em verde servem apenas como guias para a análise, onde se constatou o seguinte:

- a) na área demarcada nos círculos 1 e 8, ocorreram os maiores erros de localização, atingindo um máximo de 248 m em  $x$  (coordenada  $E$ ) e 147 m em  $y$  (coordenada  $N$ ); no círculo 2 a confluência do afluente e o riacho delineado nas fotos aéreas de 1978 está 67 m deslocado daquela delineada na base cartográfica de 1996;
- b) na área demarcada pelos círculos 3 e 4 os maiores deslocamentos ocorreram na direção  $y$ , atingindo um máximo de 41 m na lagoa dentro do círculo 4;
- c) dentro das áreas delimitadas pelos círculos 6 e 7 as diferenças de localização ficaram por conta das mudanças temporais ocorridas no espelho d'água da lagoa e na retificação do riacho;
- d) na área delimitada pelo círculo 5 pôde-se observar a forte influência do relevo acidentado na retificação da aerofoto e *overlay*: i) a estrada subindo a vertente está deslocada em ambas as direções de 58 m em  $x$  e 38 m em  $y$ ; ii) na área plana a estrada de ferro não sofreu deslocamento;
- e) os erros de deslocamento planimétrico das feições delineadas na fotointerpretação, representadas no arquivo vetorial retificado, excedem aqueles permitidos para cartas classe C, estipulados pelo Padrão de Exatidão Cartográfica;
- f) o cruzamento dessas informações para análise temporal sofreu influência dos erros de localização, o que implica em erros qualitativos nas bordas dos temas analisados.

#### 5.2.4.3 REGISTRO DAS FOTOS DE 1956 E FOTO DE 1996

Considerando as fotos de 1956, para o registro com a foto de 1996, apesar das tentativas, foi impossível realizar um registro que apresentasse resíduos aceitáveis (menos que 5,00 m). As mudanças temporais foram tão expressivas que apenas 12 pontos comuns foram encontrados em toda a área, e ainda assim sem confiabilidade, pois, alguma modificação foi introduzida no traçado de estradas e arruamentos que foram alargados ou retificados nas curvas. Além disso, a maioria destes pontos localiza-se na área urbana e outros poucos nas imediações desta, o que descaracteriza uma distribuição de pontos de controle para correção geométrica ou registro. Além das mudanças no tipo de uso nas áreas agrícolas, o avanço da mineração modificou totalmente o relevo que existia em 1956. As áreas de mineração já existentes naquela época aparecem em 1996 totalmente modificadas por cavas com águas ácidas provenientes da mineração e pela expansão urbana (vide mapas temáticos das Figuras 21e 22). Fatos semelhantes também impossibilitaram que se utilizassem as fotos de 1978 retificadas para servir como base para a retificação das fotos de 1956.

Os fatos apontados indicaram que em uma análise temporal, com um intervalo grande de tempo e onde a dinâmica local é rápida, pode se tornar inviável o registro de fotografias aéreas de uma data para outra, o que, conseqüentemente, impedirá as análises temporais em um SIG, a não ser que se faça a restituição fotogramétrica de cada data. No caso, porém, já não existe mais o filme negativo do vôo de 1956.

No caso em estudo, só se conseguiu superar o problema acima descrito porque se descobriu a existência de uma folha cartográfica em poliéster, na escala 1:10 000, oriunda da restituição das fotos de 1956. Porém, nessa folha não consta legenda nem dados referentes ao apoio de campo ou *datum* de referência; apenas estão indicadas as coordenadas UTM. Comparando as coordenadas dos poucos pontos comuns à cartografia executada em 1996, verificou-se que existe uma diferença nos valores das coordenadas na ordem de 4 m em *E* e

300 m em *N*. Essas diferenças mostram que as coordenadas UTM da carta de 1956 não poderiam ser oriundas do Datum Hayford.

Considerando as coordenadas da base cartográfica de 1996 (obtidas com base no Datum SAD-69), efetuou-se o cálculo para verificar qual seria a diferença, em metros, da localização destas coordenadas, se o *datum* da carta antiga fosse Hayford. O valor obtido apontou uma diferença de 4 m na coordenada *E* e de 38 m na coordenada *N*. Portanto, não foi possível determinar qual seria o *datum* utilizado ou se havia algum erro nesta carta. Verificou-se, no entanto, que a escala descrita como sendo 1:10 000 estava correta, quando comparada com a cartografia de 1996, que tem a mesma escala.

Para resolver o problema, isto é, registrar a carta de 1956 em relação à base de 1996, via malha de coordenadas, locaram-se na base cartográfica digital de 1996 as coordenadas de 2 pontos comuns em ambas as cartas, lidos na folha de 1956, e determinaram-se as coordenadas inteiras para compor a malha de 1956. Todo o processo foi efetuado em meio digital utilizando o programa MicroStation e o módulo Descartes para fazer o registro da folha de 1956 (digitalizada matricialmente) para o mesmo sistema de projeção e Datum Geodésico. Estando a cartografia de 1956 no mesmo sistema de coordenadas, pode-se, então, utilizá-la como base cartográfica para a correção das fotos e *overlays* de 1956, ficando, finalmente, todos os produtos, fotos aéreas e *overlays* referenciados em um único sistema de coordenadas. Os resíduos encontrados para os pontos de apoio são aceitáveis para uma base cartográfica na escala 1:10 000, onde 1 mm na carta representa 10 m no terreno.

A figura 20 mostra a sobreposição do arquivo vetorial contendo a hidrografia e rede viária resultante da digitalização da base cartográfica de 1956 e a base cartográfica de 1996. Como se pode observar, os rios que não foram alterados pela mineração coincidem nas duas bases cartográficas, assim como a ferrovia. Outras comparações são impossíveis de serem feitas, porque o uso da terra foi totalmente modificado no período considerado.

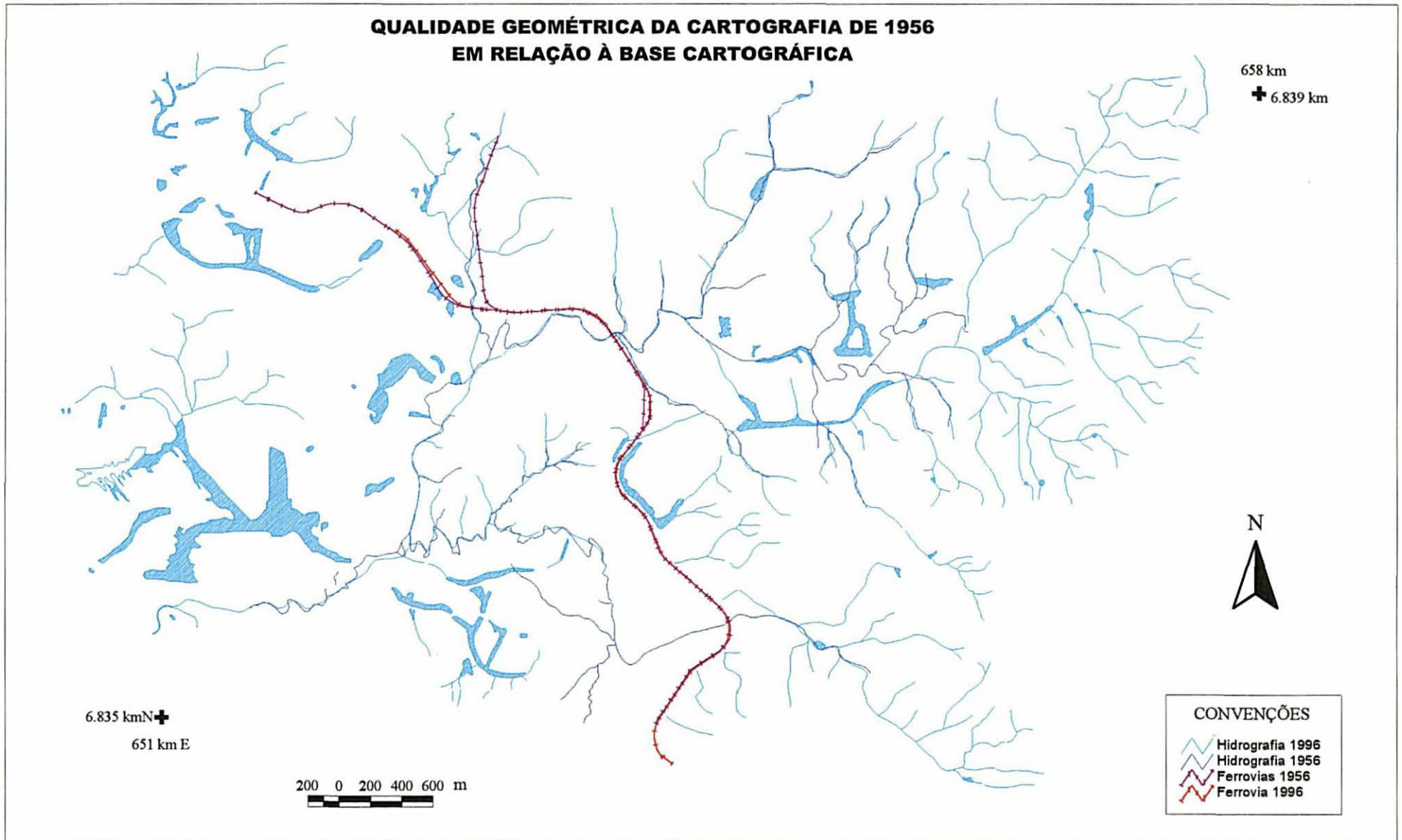


FIGURA 20 - QUALIDADE GEOMÉTRICA DA CARTOGRAFIA DE 1956 EM RELAÇÃO À BASE CARTOGRÁFICA : SOBREPOSIÇÃO DAS HIDROGRAFIAS DE CADA ANO.



### 5.2.5 RESULTADOS DA FOTOINTERPRETAÇÃO

Tendo em vista uma análise visual preliminar do comportamento espacial dos principais usos da terra na área fotointerpretada, fez-se uma saída gráfica, apresentando uma seqüência temporal de mapas, distribuída segundo o tema, em uma única folha de papel. As medições das áreas ocupadas por cada categoria de uso da terra foram efetuadas somente na etapa seguinte, que utilizou o SIG para proceder às análises espaciais qualitativas e quantitativas das mudanças temporais ocorridas.

Nas figuras 21, 22, 23 e 24 apresenta-se uma seqüência temporal de mapas divididos segundo cinco temáticas: Mineração, Área Agropecuária, Área Urbana (esta, somente para a apresentação no relatório desta pesquisa, foi incluída junto com o tema Área Agropecuária), Reflorestamento de Eucalipto e Vegetação Nativa Secundária. Esses mapas, nada mais são que o resultado da digitalização dos *overlays* da fotointerpretação no CAD, após terem sido agrupados no SIG, segundo as principais categorias de uso da terra predominantes na paisagem local. A diferença nos limites da área interpretada (vide mapas) em cada ano é consequência da direção diferente dos recobrimentos fotogramétricos (o vôo de 1996 foi executado na direção Norte-Sul, enquanto os outros foram na direção Leste-Oeste) e também da posição diferente das faixas de vôo de 1956 em relação àquelas de 1978. Para facilitar os trabalhos de retificação de aerofotos e evitar maiores erros, suprimiu-se a interpretação das áreas a leste, confrontantes com a mineração, no ano de 1996, e a área urbana ao sul das fotos de 1978. Essa diferença não impediu uma análise geral da área minerada, que está toda contida na área interpretada de todas as datas.

#### 5.2.5.1 EVOLUÇÃO DA ÁREA DE MINERAÇÃO

Na figura 21, o tema Mineração, mostrado nos mapas das três datas deixa perceber claramente que, em 1956, a área de mineração a céu aberto estava em franco desenvolvimento e concentrada mais ao sul da microbacia, local para onde a cidade se expandiu nos anos

seguintes. Havia basicamente locais de depósito de estéril (onde já havia sido minerado) e locais onde o carvão estava sendo extraído. As poucas áreas com vegetação eram ocupadas por capoeira (nos locais de mineração mais antigos). Existiam apenas três pequenas lagoas mais ao norte da área, pois nessa época ainda não havia dragas capazes de remover grande volume de estéril e provocar desvios acentuados na rede de drenagem.

Na foto aérea de 1978 observou-se que a área de mineração aumentou consideravelmente para o noroeste. O mapa mostra o passivo da mineração a céu aberto, representado por uma extensa área degradada classificada como Estéril e Rejeito; atualmente, as empresas estão reaproveitando os rejeitos de carvão ali depositados e abandonados. Os depósitos de estéril formam pilhas de material inerte que atingem até 25 m de altura, podendo ou não estar aplainadas e cobertas por vegetação natural ou plantada. As lagoas ácidas, represadas entre os montes de estéril, formadas pela água da chuva e/ou desvios de cursos d'água, cobrem vasta área ao norte, onde, em 1956, havia pequenos lagos (vide Figura 21).

Na foto aérea de 1996 verificou-se que a paisagem começava a dar sinal de recuperação das áreas deterioradas pela mineração, as quais eram conhecidas como “paisagem lunar” devido aos montes de estéril depositados em vasta área. Nessa data a vegetação espontânea ou reflorestamentos aparecem disseminados principalmente nas bordas da área minerada. As áreas abandonadas estão cobertas por diversos estágios de regeneração da vegetação nativa ou nativa misturada ao eucalipto, o qual se espalhou pela área devido à ação do vento. Onde os cones de estéril permaneceram totalmente invertidos, praticamente não há vegetação, por isso aparecem no mapa classificados como Estéril. As lagoas ácidas aumentaram em número, compondo a área a leste da bacia do Fiorita, local para onde a mineração se estendeu no período de 1978 a 1996.

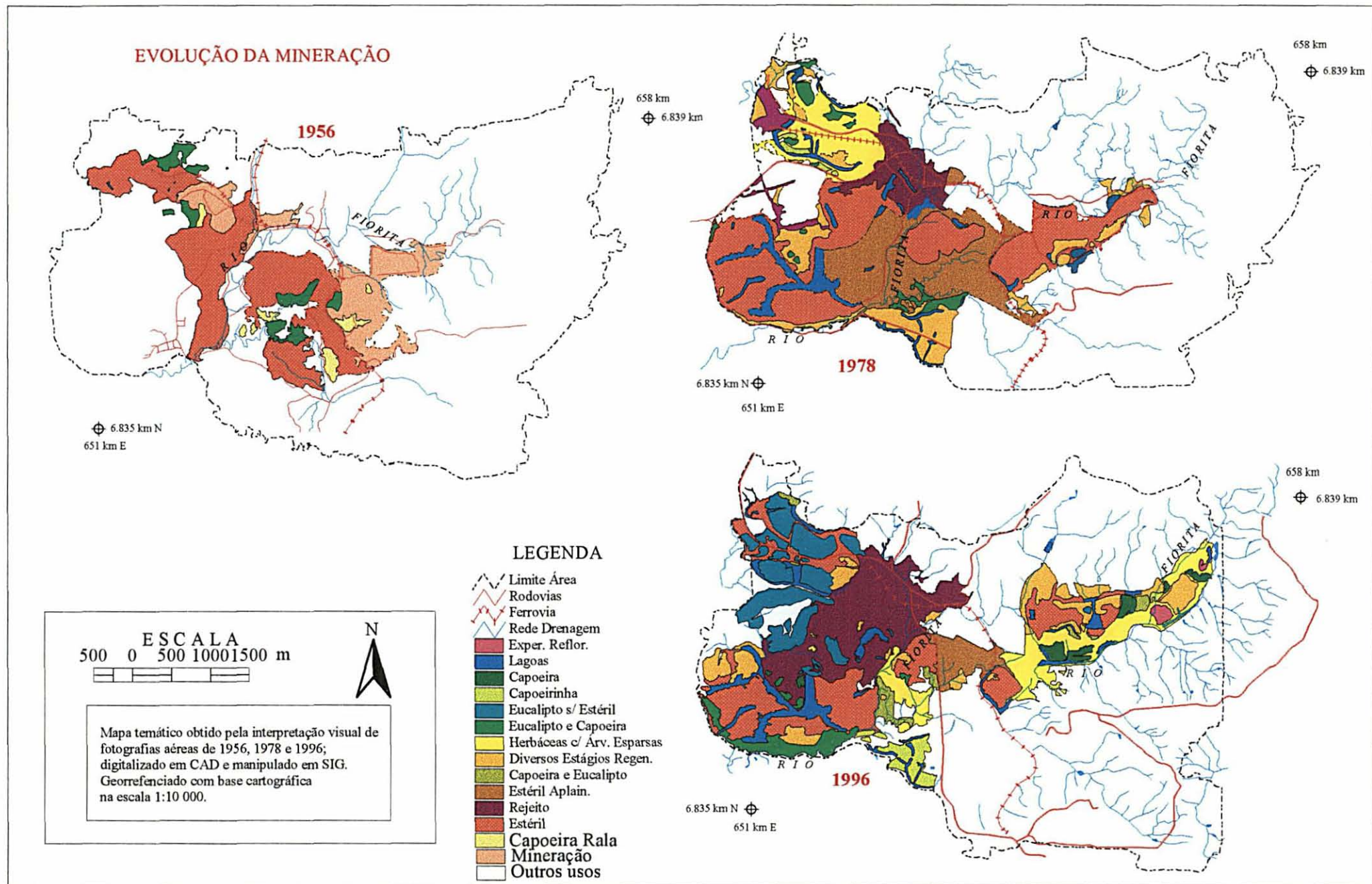


FIGURA 21 - EVOLUÇÃO DA MINERAÇÃO NO PERÍODO 1956 A 1996.



Nos trabalhos de campo verificou-se que, segundo a coloração das águas das lagoas, pode-se deduzir qual é seu pH : as medições efetuadas nas lagoas em tons laranja apresentaram pH em torno de 2 a 3,5 pontos, enquanto aquelas de coloração esverdeada apresentaram melhor qualidade de água, com pH entre 4 a 6 pontos, quando, então, já se percebe a presença de vegetação ribeirinha, como a taboa e o capim cola-de-burro.

#### 5.2.5.2 EVOLUÇÃO DA ÁREA AGROPECUÁRIA E DA ÁREA URBANA

No tema Agropecuária foram englobadas as áreas de cultivo anual, os pequenos pomares e as pastagens. Para fins de análise temática incluíram-se também as áreas de cultura de banana.

Considerando a área analisada, verifica-se facilmente na figura 22 que, de 1956 para 1996, a área de agropecuária diminuiu, enquanto a área de uso urbano aumentou. Em que pese a diminuição da área agrícola, ressalta-se o crescimento da área de bananal no período de 1956 a 1978. Atualmente, o cultivo de banana é uma das principais culturas no local, ocupando extensas áreas nas encostas dos morros e locais mais altos, ao norte da área analisada, concorrendo com o reflorestamento de eucalipto.

Com relação às áreas urbanas, observa-se que, em 1996, o núcleo Rio Fiorita diminuiu em relação a 1956. Tal fato foi justificado pelo desaparecimento das vilas dos mineiros, as quais compunham quase a totalidade do bairro ou distrito Fiorita. Em 1956, esse distrito municipal era maior e mais densamente povoado que a sede do município de Siderópolis, apesar de essa apresentar os serviços e o comércio local.

Verifica-se também, no mapa de 1956 da figura 22, em verde claro, a existência de áreas que seriam classificadas como agropecuária mas aparentam estar abandonadas. Tais áreas, na foto aérea do ano subsequente, aparecem ocupadas por estéril e lagoas ácidas, confirmando a hipótese de que, em 1956, elas já estavam reservadas a atividades futuras de mineração.

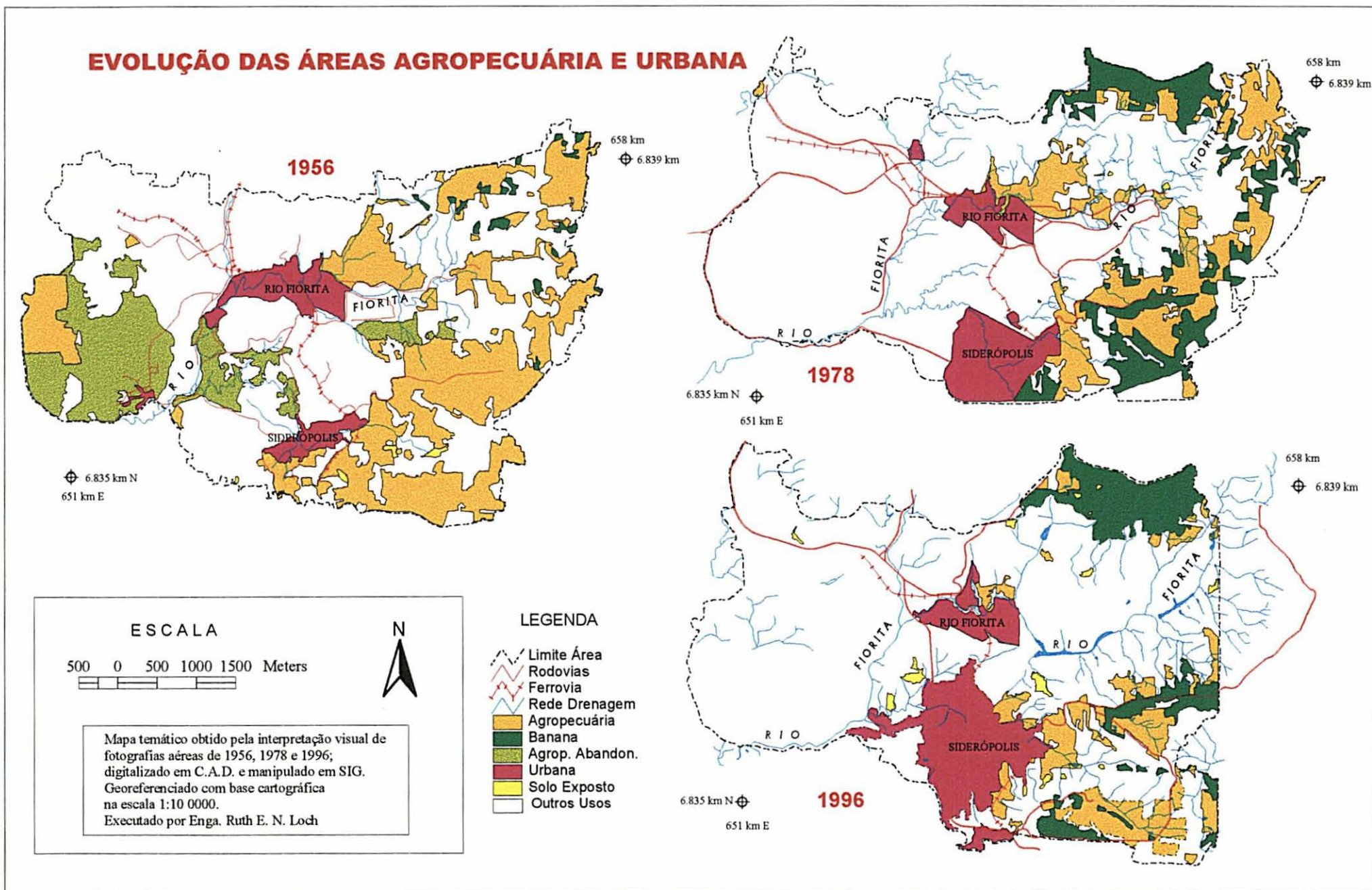


FIGURA 22 - EVOLUÇÃO DAS ÁREAS AGROPECUÁRIA E URBANA NO PERÍODO 1956 A 1996.

### 5.2.5.3 EVOLUÇÃO DA ÁREA DE REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO

É interessante observar na figura 23, a presença de floresta plantada em todas as datas de fotografias analisadas. O reflorestamento com eucaliptos faz parte da cultura local, fato que se observa, inclusive, no mapa de 1956. Nessa data a cultura desta espécie exótica ocorria por toda a área e mesmo em locais onde não havia mineração. Portanto, a presença de eucalipto misturado à vegetação nativa nas datas mais recentes, observada nos mapas referentes ao tema Vegetação Nativa, pode ser explicada pela disseminação de sementes pela ação do vento.

As diversas classes em que foi possível separar o eucalipto mostram que as escalas 1:25 000 e 1:30 000 propiciam a separação por classe de idade (muito jovem e adulto), corte raso e começo de rebrota, e também propiciam distinguir duas espécies diferentes que existem no local: *Saligna* e *Viminalis*. Essas espécies puderam ser distinguidas pela fisionomia do dossel, e, apesar de terem a mesma tonalidade, apresentavam texturas diferentes na aerofoto.

O mapa de 1978 mostra que nessa data a presença de eucaliptos diminuiu em relação a 1956, mantendo, entretanto, o mesmo comportamento no período seguinte, apesar de serem cultivados sobre a massa estéril depositada a noroeste da área de mineração.

As fotografias aéreas de 1956 mostraram diversas áreas com plantações recentes, que foram classificados como Eucalipto Muito Jovem (cor verde-água, no mapa de 1956 da Figura 23). Nas fotos aéreas dos anos posteriores essa classe não foi constatada.

O corte raso tornou-se uma prática freqüente nas décadas de 70 a 90, pois as aerofotos dessas datas mostraram diversas e extensas áreas com essa classe, enquanto em 1956, como se pode observar no mapa, isso praticamente não ocorreu.



## EVOLUÇÃO DO REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO

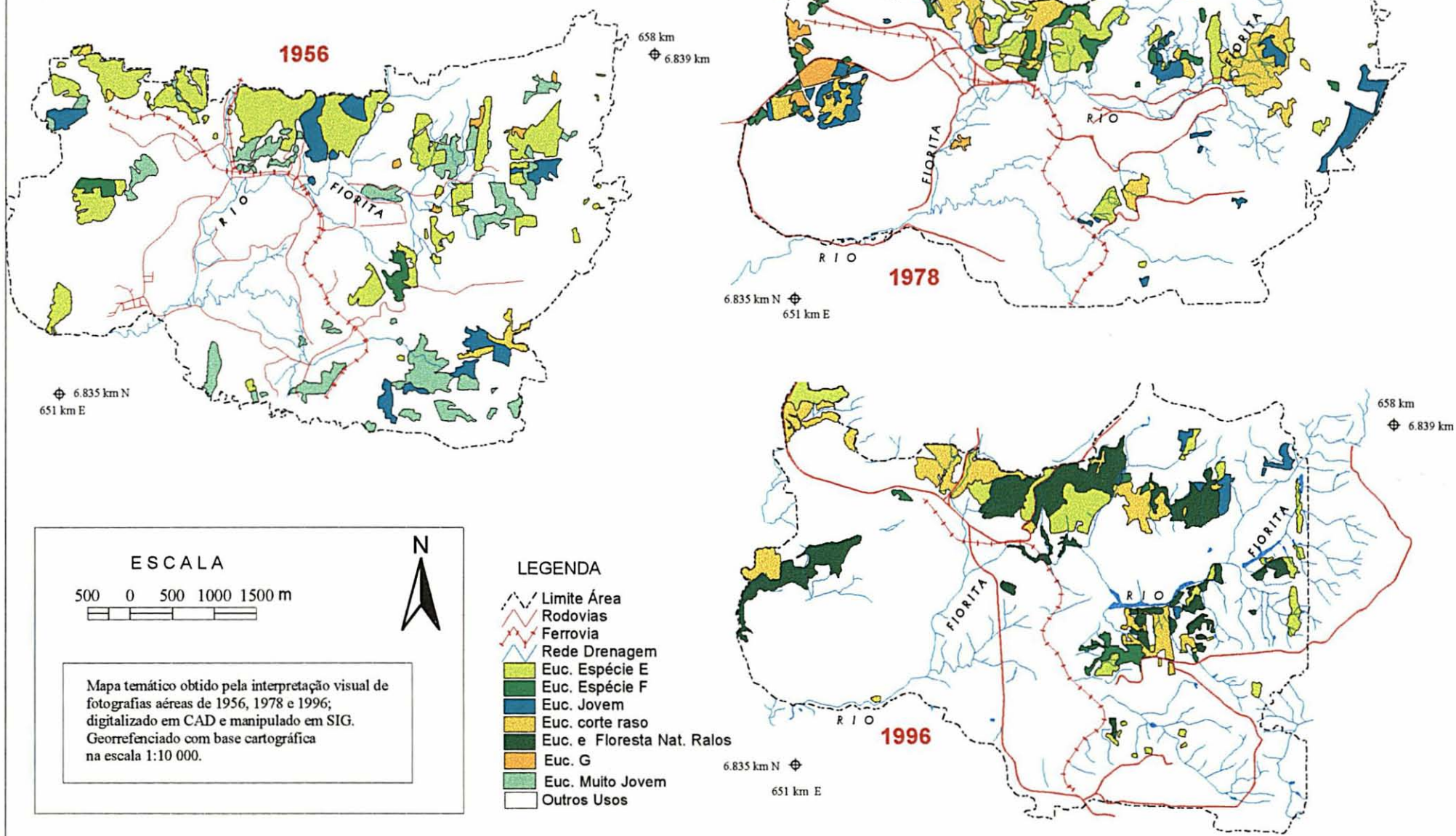


FIGURA 23 - EVOLUÇÃO DO REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO NO PERÍODO 1956 A 1996.

#### 5.2.5.4 EVOLUÇÃO DA ÁREA DE VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA

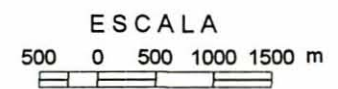
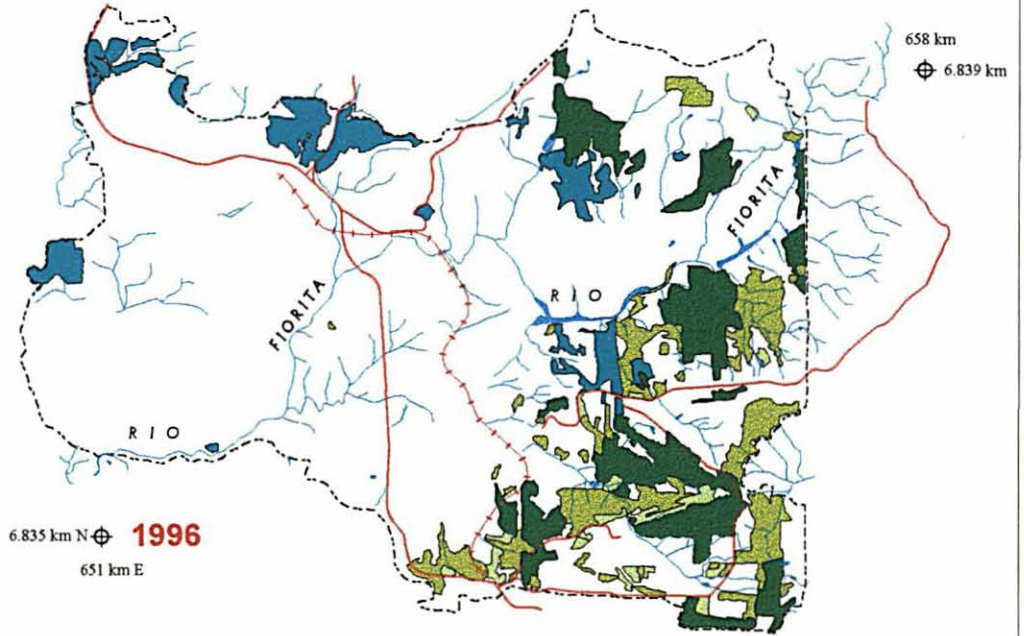
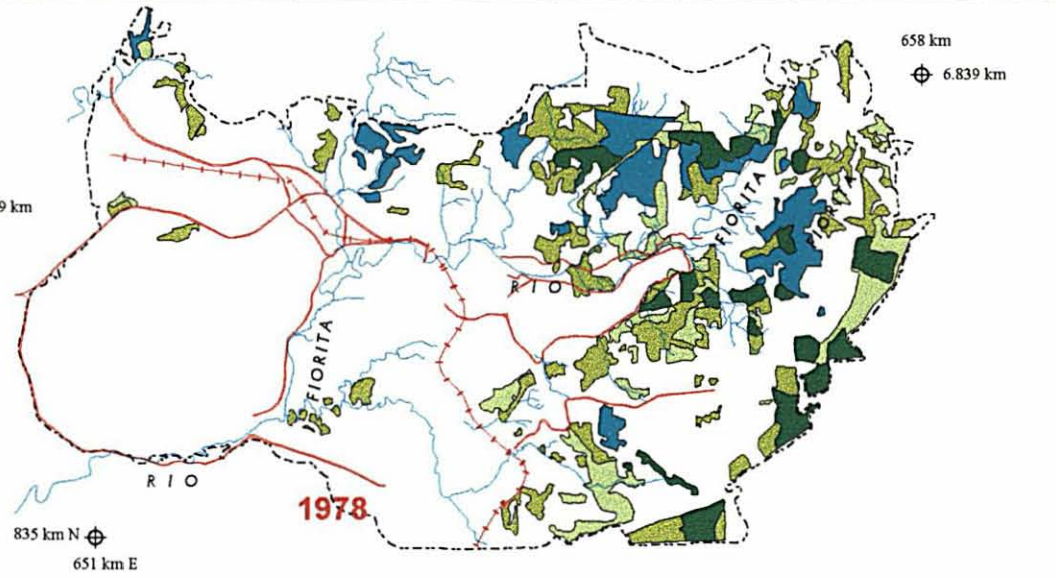
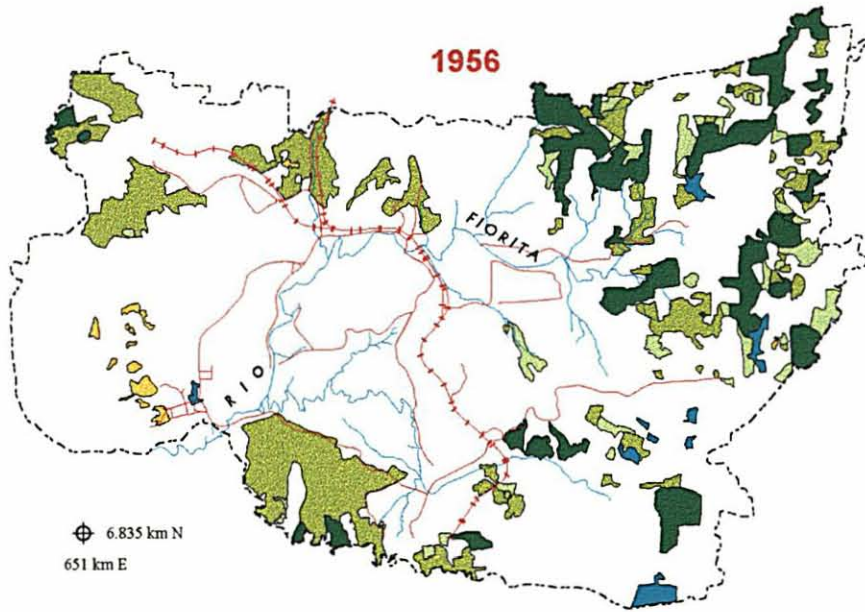
O terceiro tema, apresentado nos mapas da figura 24, mostra que a vegetação nativa do local apresenta basicamente três estágios de regeneração: capoeirão, capoeira e capoeirinha. A vegetação primária, em 1956, já estava toda dizimada, dando lugar ao uso agrícola, e à mineração. A seqüência temporal dos mapas mostrou que nessa data a vegetação nativa secundária ocupava principalmente a parte nordeste da área, enquanto, em 1978, ela ocupava mais densamente o sul. A capoeira, que em 1956 foi observada na porção leste da área, praticamente desapareceu em 1978.

Considerando as fotografias de 1996, percebeu-se no mapa da fotointerpretação que vegetação nativa secundária predominava na parte sudeste, enquanto no leste e centro da área analisada esse tipo de vegetação desapareceu por causa da mineração a céu aberto. Com relação às datas anteriores as nativas aumentaram no sudeste como consequência do abandono de áreas que eram de uso agropecuário nos anos anteriores.

A partir de 1978, observa-se nos mapas o surgimento de uma nova classe de vegetação formada pela mistura de eucalipto e espécies nativas secundárias. A mistura da espécie exótica às nativas aconteceu de tal forma que foi impossível separá-las visualmente, considerando a escala das aerofotos utilizadas.



## EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA



Mapa temático obtido pela interpretação visual de fotografias aéreas de 1956, 1978 e 1996; digitalizado em C.A.D. e manipulado em SIG. Georreferenciado com base cartográfica na escala 1:10 000.

### LEGENDA

- Limite Área
- Rodovias
- Ferrovia
- Rede Drenagem
- Capoeirão
- Capoeira
- Capoeirinha
- Nativa e Eucalipto
- Árvores Aglomeradas
- Outros Usos

FIGURA 24 - EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA NO PERÍODO 1956 A 1996.

### 5.3 ANÁLISE DAS MUDANÇAS TEMPORAIS NO USO DA TERRA UTILIZANDO SIG

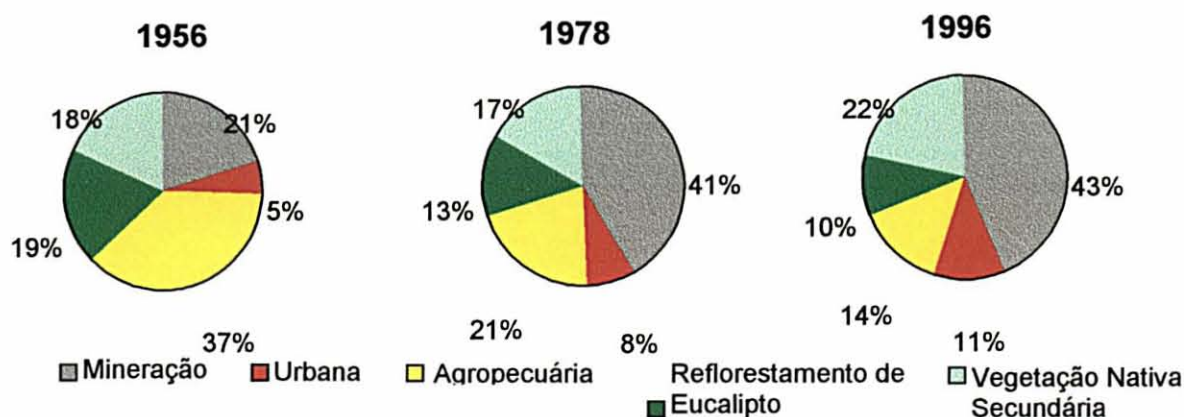
#### 5.3.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

A tabela 4 mostra a área ocupada por categoria de uso da terra nas três datas interpretadas. O cálculo das áreas foi obtido no ArcView Spatial Analyst. Para uma melhor visualização e comparação das mudanças temporais quantitativas foi utilizado um gráfico de setores para representar o percentual de ocupação de cada classe em cada data (vide Figura 25). Como os limites de interpretação são diferentes (conforme já explicado), utilizou-se o menor limite para o cálculo das áreas.

TABELA 4 – ÁREA OCUPADA POR CATEGORIA DE USO/COBERTURA DA TERRA

ANO	TIPO DE USO/COBERTURA (em hectares e porcentagem)				
	Mineração	Urbana	Agropecuária	Reforest. Eucalipto	Vegetação Nativa Secundária
1956	456,25	107,79	819,26	420,04	402,72
	21 %	5 %	37 %	19 %	18 %
1978	911,26	165,57	460,49	294,69	374,05
	41 %	8 %	21 %	13 %	17 %
1996	953,85	246,55	307,28	215,92	482,46
	43 %	11 %	14 %	10 %	22 %

#### USO DA TERRA



## FIGURA 25 - COMPARAÇÃO DA ÁREA OCUPADA POR CATEGORIA DE USO/COBERTURA DA TERRA.

Considerando a área total de 22,06 km<sup>2</sup> ocupada pelas cinco categorias principais de uso da terra, verificou-se no gráfico da figura 25 que:

1. a área de mineração duplicou de 1956 para 1978 (21% para 41%) e no período seguinte se manteve quase estável, aumentando apenas 2%;
2. a área urbana cresceu 3% em cada período;
3. a área agropecuária diminuiu mais da metade: em 1956 ocupava 37% da área total, passando a ocupar apenas 14% em 1996.
4. os reflorestamentos de eucalipto diminuíram ao longo do período, representando apenas 10% da área em 1996, enquanto em 1956 chegou a ocupar 19% da área total;
5. a vegetação nativa secundária mostrou um comportamento diferenciado dos demais temas. Em 1956, ela representava 18% da área; em 1978, diminuiu para 17% e, em 1996, ela mostrou um sensível aumento, ocupando 22% da área total.

### 5.3.2 ANÁLISE ESPACIAL QUALITATIVA E QUANTITATIVA

Os mapas temáticos da área fotointerpretada da microbacia do rio Fiorita foram reestruturados dentro do ArcView Spatial Analyst para proceder às análises das mudanças temporais segundo a matriz de análise espacial já definida. Os resultados dessas análises são mostrados a seguir em dez mapas temáticos, representados nas figuras 27, 28, 30, 31, 33, 34, 36, 37, 39 e 40 e nos diagramas de setores das figuras 26, 29, 32, 35 e 38, sendo discutidos na seqüência de cada representação.

Visando melhorar a visualização e interpretação das informações geográficas, foi preparado um *layout* para as saídas cartográficas em papel, de forma que os mapas fossem distribuídos da melhor maneira na folha.



Considerando a figura 27, por exemplo, verifica-se que existem três representações cartográficas na folha: a) um mapa mostra a área de mineração em 1956 dentro dos limites da área de estudo; b) em destaque (sempre que possível, em escala maior que o primeiro mapa) representaram-se as mudanças ocorridas na área em 1978; e c) um adendo em escala reduzida, com a função de situar o tema Mineração no mapa, contém os cinco temas do uso da terra no ano-base de análise, no caso, 1956.

O mesmo tipo de saída foi adotado para a análise temporal da mineração no período seguinte e para todos os outros temas.

### 5.3.2.1 RESULTADO QUANTITATIVO DOS CRUZAMENTOS TEMÁTICOS NO SIG

As tabelas 5 e 6 contêm os resultados quantitativos obtidos através da matriz de análise temporal dos temas analisados espacialmente no ArcView Spatial Analyst. A leitura das tabelas deve ser feita da mesma forma que aquela descrita para a matriz de análise espacial no item 4.3.3 da metodologia. Por exemplo, na primeira linha do quadro 2, verifica-se que, dos 456,25 hectares de mineração de 1956, permaneceram 382,71 hectares com uso de mineração em 1978. Nessa mesma linha verifica-se que o restante da área foi transformado da seguinte maneira: 8,74 hectares passaram a ser de agropecuária, enquanto 16,59 hectares foram utilizados para reflorestamento de eucalipto; outros 15,92 hectares da área foram cobertos por vegetação nativa secundária e 32,29 hectares foram ocupados pela expansão urbana. Dessa maneira, deve ser lido todo o quadro 2 e também o quadro 3, considerando cada um dos temas dispostos nas outras linhas.

Para facilitar a interpretação das mudanças quantitativas relacionadas nas tabelas 5 e 6, utilizou-se o recurso gráfico de diagramas para representar as transformações temporais em cada período. Os diagramas de setores propiciam que se tenha uma resposta visual instantânea da quantidade de mudanças ocorridas, sem que seja necessário analisar as tabelas 5 e 6. Para a análise dos diagramas é preciso considerar que o círculo todo representa a área total existente

na data mais antiga e que as cinco subdivisões que aparecem em cada diagrama representam as transformações ocorridas nesta mesma área, na data mais atual. A análise desses diagramas foi feita concomitantemente à análise dos mapas.

TABELA 5 - MUDANÇAS TEMPORAIS NOS CINCO TEMAS DE USO/COBERTURA DA TERRA: 1956 – 1978 (em hectares)

1956	1978					TOTAL
	MINERAÇÃO	AGROPECUÁRIA	REFLOREST. EUCALIPTO	VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA	URBANO	
MINERAÇÃO	382,71	8,74	16,59	15,92	32,29	456,25
URBANO	23,89	7,00	3,95	0,00	72,95	107,79
AGROPECUÁRIA	316,83	279,11	61,05	133,82	28,45	819,26
REFLOREST. EUCALIPTO	83,33	65,14	156,93	102,25	12,39	420,04
VEGET. NAT. SECUNDÁRIA	104,50	100,50	56,17	122,06	19,49	402,72
TOTAL	911,26	460,49	294,69	374,05	165,57	2.206,06

TABELA 6 - MUDANÇAS TEMPORAIS NOS CINCO TEMAS DE USO/COBERTURA DA TERRA: 1978 – 1996 (em hectares)

1978	1996					TOTAL
	MINERAÇÃO	AGROPECUÁRIA	REFLOREST. EUCALIPTO	VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA	URBANO	
MINERAÇÃO	725,81	13,83	26,62	58,10	86,90	911,26
URBANO	7,94	6,88	0,00	7,73	143,02	165,57
AGROPECUÁRIA	54,71	207,40	38,16	153,73	6,49	460,49
REFLOREST. EUCALIPTO	120,89	6,80	83,77	78,20	5,03	294,69
VEGET. NAT. SECUNDÁRIA	44,50	72,37	67,37	184,70	5,11	374,05
TOTAL	953,85	307,28	215,92	482,46	246,55	2.206,06

### 5.3.2.2 MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE MINERAÇÃO

Na análise dos mapas da figura 27 e do gráfico da figura 26 verificou-se que dos 456,25 hectares de mineração de 1956, permaneceram em 1978 com o mesmo uso 382,7 hectares, isto é, a maior parte da área continuou a apresentar características da mineração a céu aberto. Os fatos que chamam a atenção são: a expansão da cidade sobre a área de mineração (ocupando 32,29 ha) e o surgimento das cavas com lagoas. Em pequena percentagem da área houve a regeneração espontânea da vegetação ou reflorestamento com eucalipto.

No período seguinte, a figura 26 mostra que em 1996 permaneceram com o mesmo uso 725,81 ha. No mapa da figura 28 observa-se o aumento de áreas com lagoas e a expansão da cidade (86,90 ha) sobre as áreas mineradas. Nas bordas da área de mineração identificou-se a existência de vegetação nativa secundária ou reflorestamentos de eucalipto.

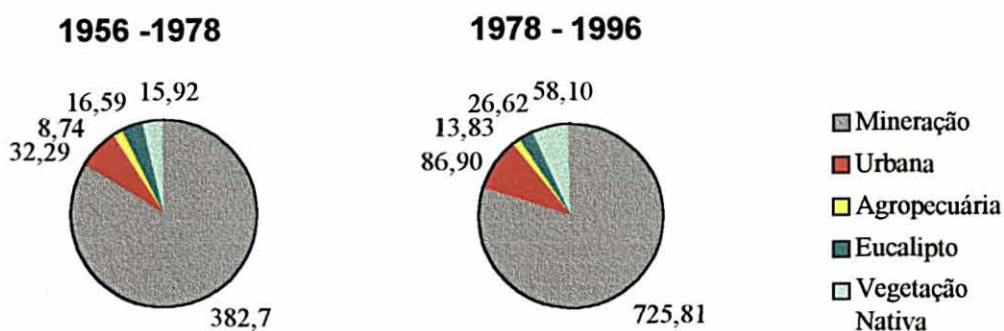


FIGURA 26 - MUDANÇAS TEMPORAIS NA MINERAÇÃO ( área em hectares).

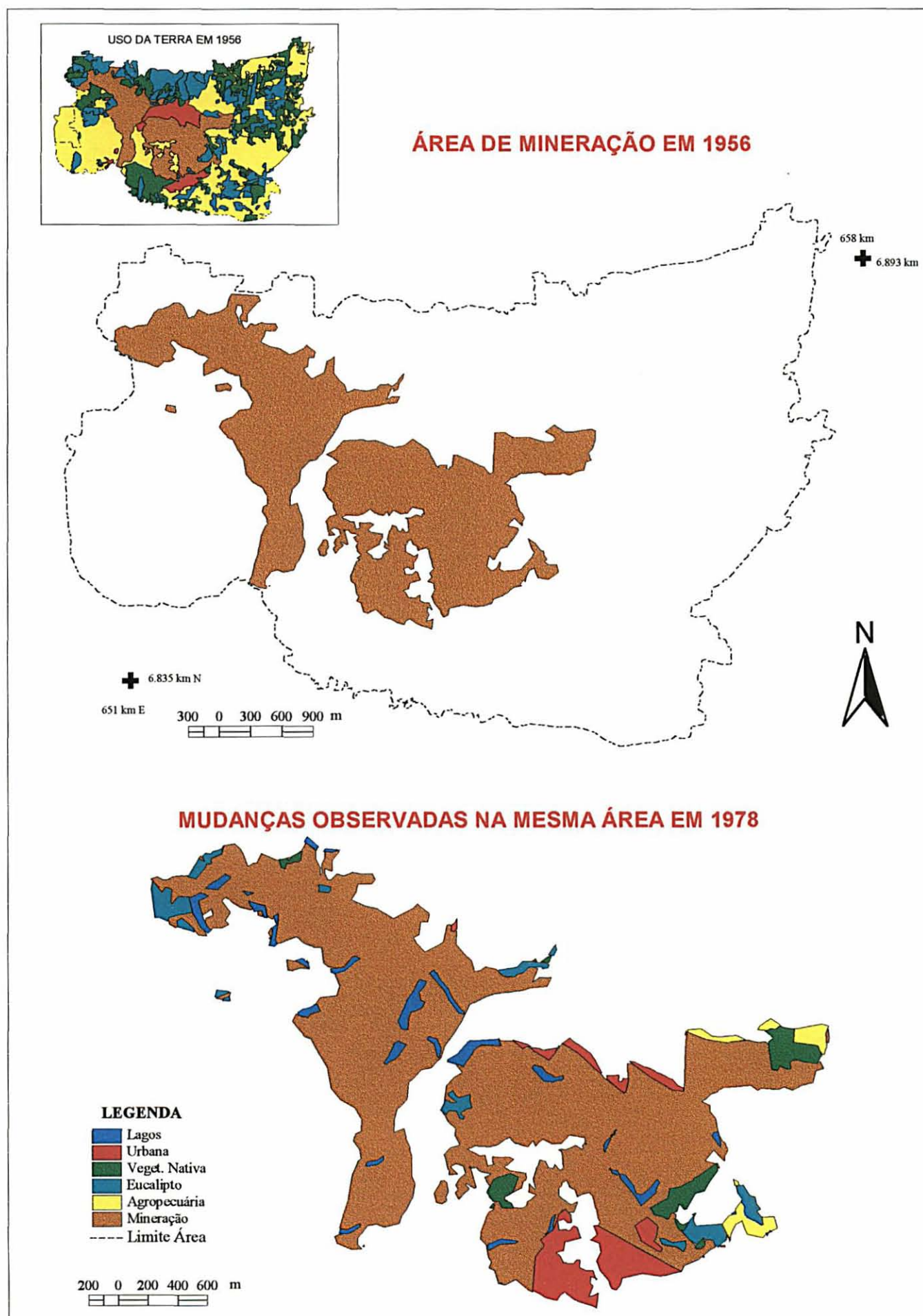


FIGURA 27 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE MINERAÇÃO, 1956/1978.



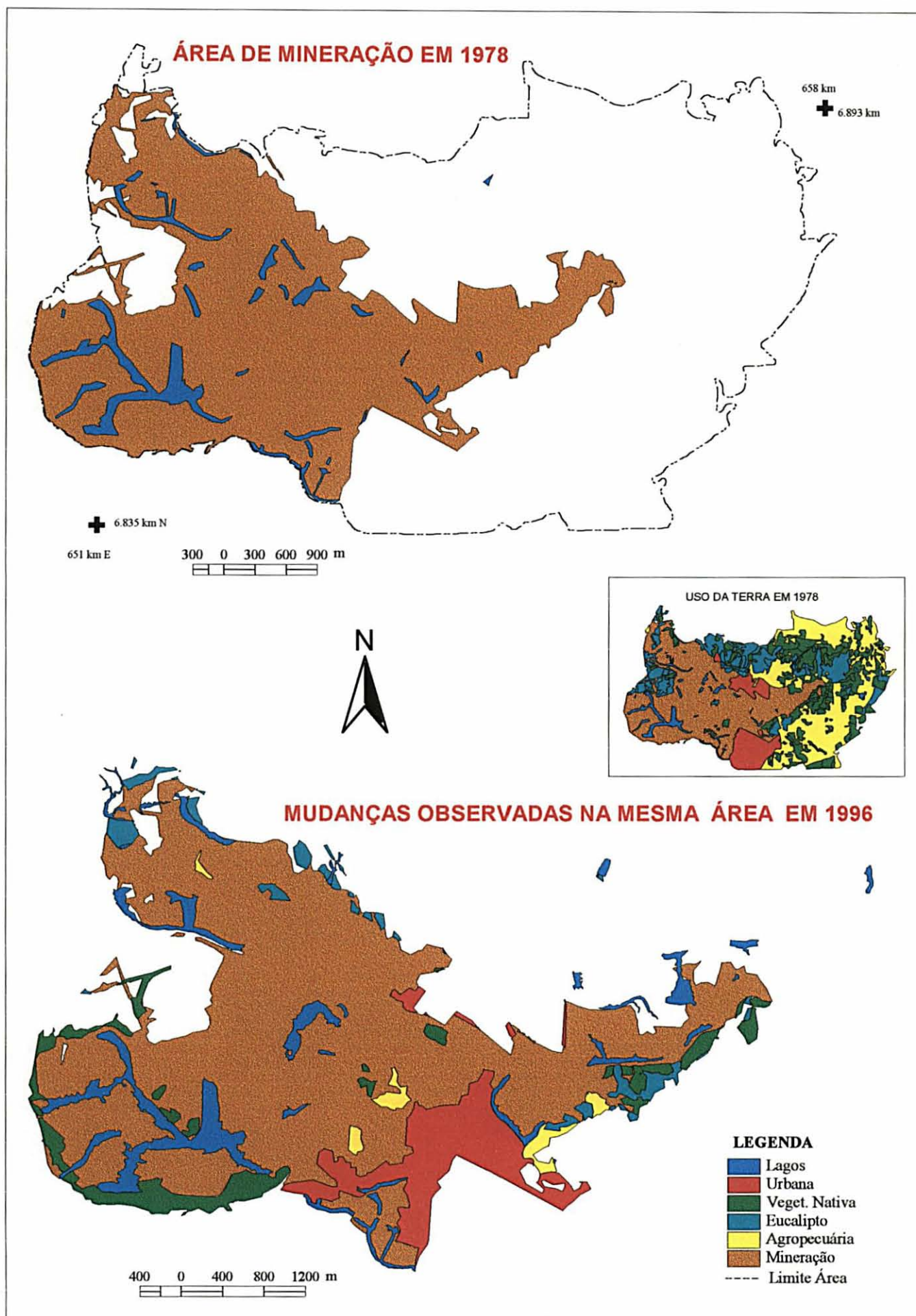


FIGURA 28 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE MINERAÇÃO, 1978/1996.

### 5.3.2.3 MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA URBANA

Aproximadamente um terço da área urbana de 1956 deixa de sê-lo em 1978, sendo transformada principalmente em área de mineração (observem-se os mapas da Figura 30 e o gráfico da Figura 29).

Em 1956, o distrito Rio Fiorita apresentava duas vezes o tamanho da cidade de Siderópolis, abrigando basicamente as habitações dos mineiros. À medida que a mineração avançou sobre o distrito, as construções foram retiradas, restando, finalmente, só o passivo da mineração.

O mapa da área urbana de 1978, na figura 31, mostra que, nessa data, a área urbana de Siderópolis suplantou a do distrito, ocupando pelo menos o dobro da área de Fiorita.

No período de 1978 a 1996 as mudanças observadas na área urbana, sem considerar a expansão da cidade, foram menos significativas que no período anterior. A área urbana do distrito Rio Fiorita continuou se reduzindo, desta vez pelo abandono de loteamentos, que apareceram cobertos por capoeira e, na periferia, pelo uso agrícola.

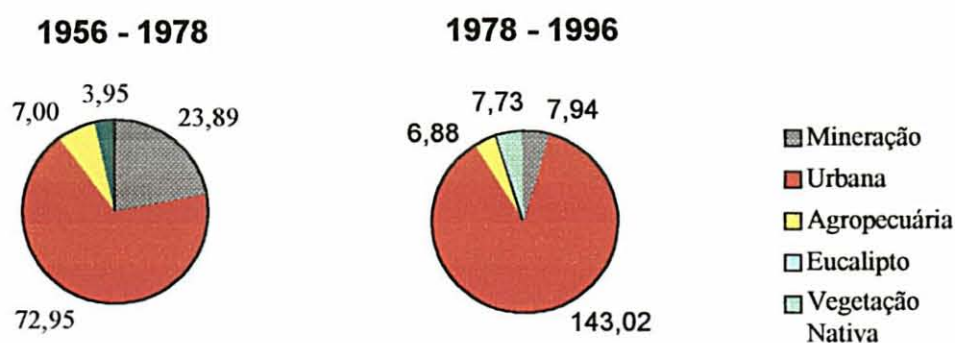
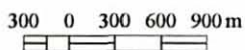
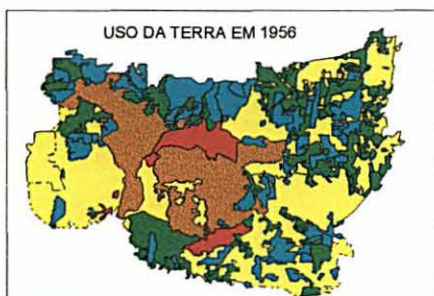


FIGURA 29 - MUDANÇAS TEMPORAIS NA ÁREA URBANA (área em hectares).

### ÁREA URBANA EM 1956



### MUDANÇAS OBSERVADAS NA MESMA ÁREA EM 1978

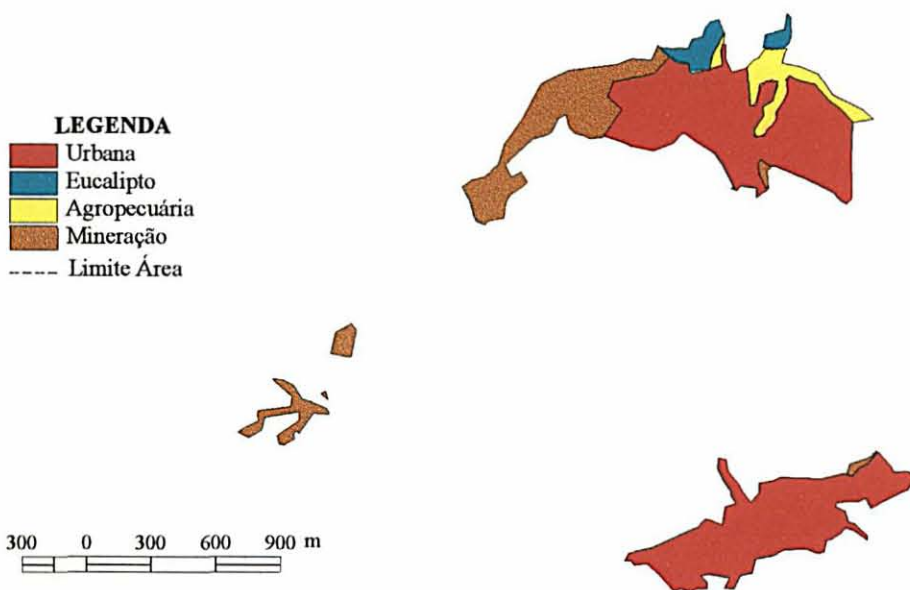


FIGURA 30 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA URBANA, 1956 / 1978.



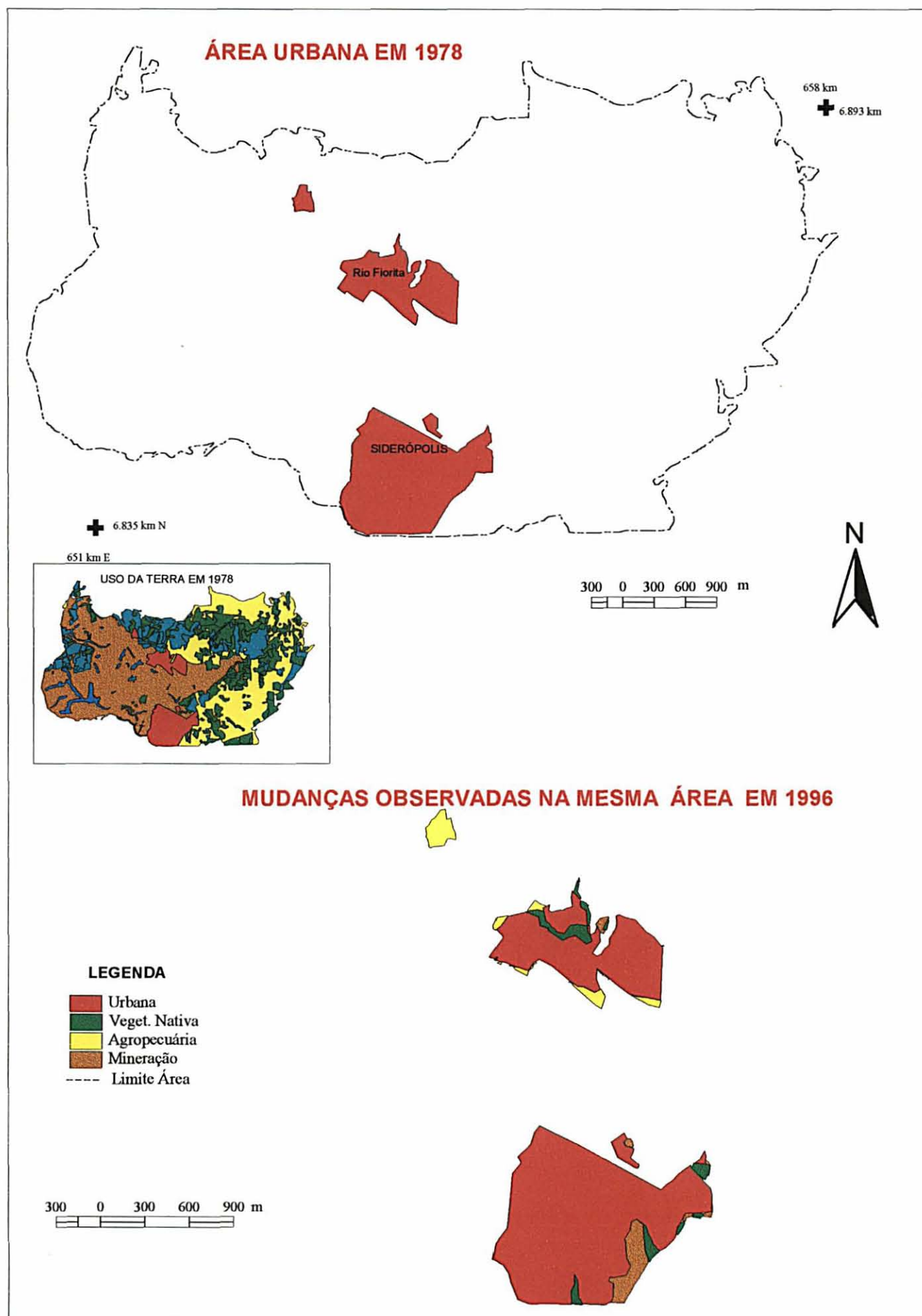


FIGURA 31 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA URBANA, 1978/1996.



### 5.3.2.4 MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA AGROPECUÁRIA

É interessante observar no mapa da figura 32 a transformação ocorrida na área de uso agropecuário entre os anos de 1956 e 1978. A área a leste foi toda minerada, aparecendo, inclusive, as primeiras lagoas devido ao desvio do rio Fiorita para a lavra do carvão. O gráfico da figura 32 comprova que, dos 819,26 hectares de uso agropecuário em 1956, apenas 279,1 hectares permaneceram com o mesmo tipo de uso em 1978. Das transformações de uso, a mineração é a que ocupou maior área, com 316,8 hectares, seguida da vegetação nativa secundária (capoeira e capoeirinha), que resultou do abandono de áreas agrícolas.

No período seguinte continuou o decréscimo da área agropecuária pelo abandono das terras agrícolas. A vegetação nativa ocupou antigas áreas de agricultura, principalmente ao sul da área analisada. A mineração avançou sobre 54,71 hectares da área agropecuária (vide as Figuras 32 e 34).

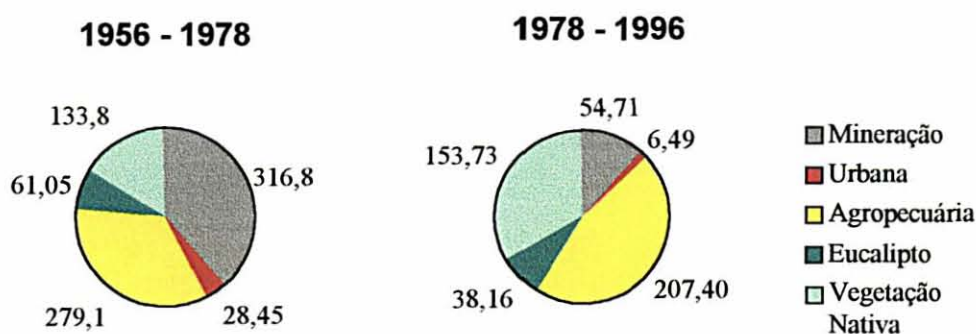


FIGURA 32 - MUDANÇAS TEMPORAIS NA ÁREA AGROPECUÁRIA (área em hectares).

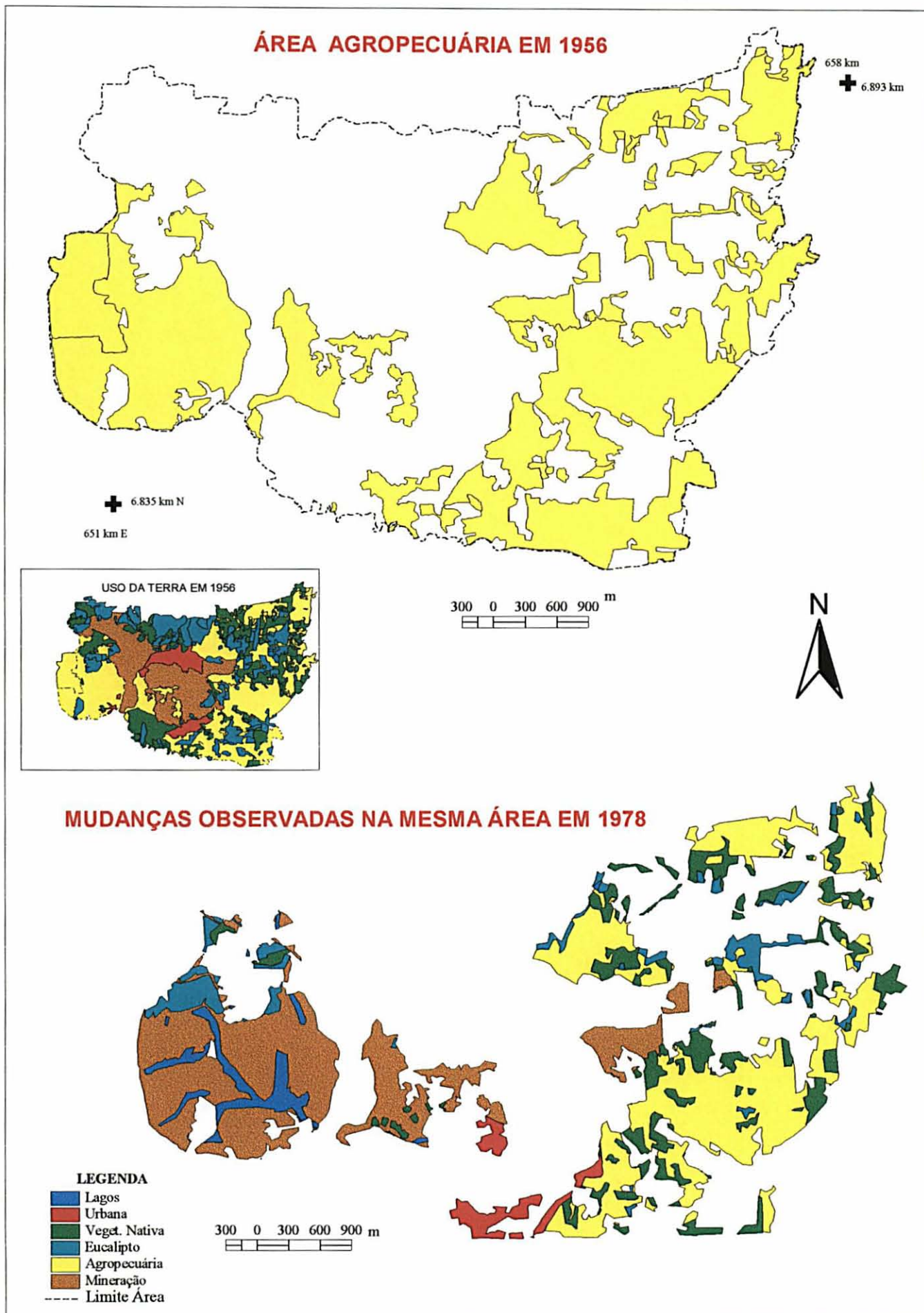


FIGURA 33 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA AGROPECUÁRIA, 1956/1978.

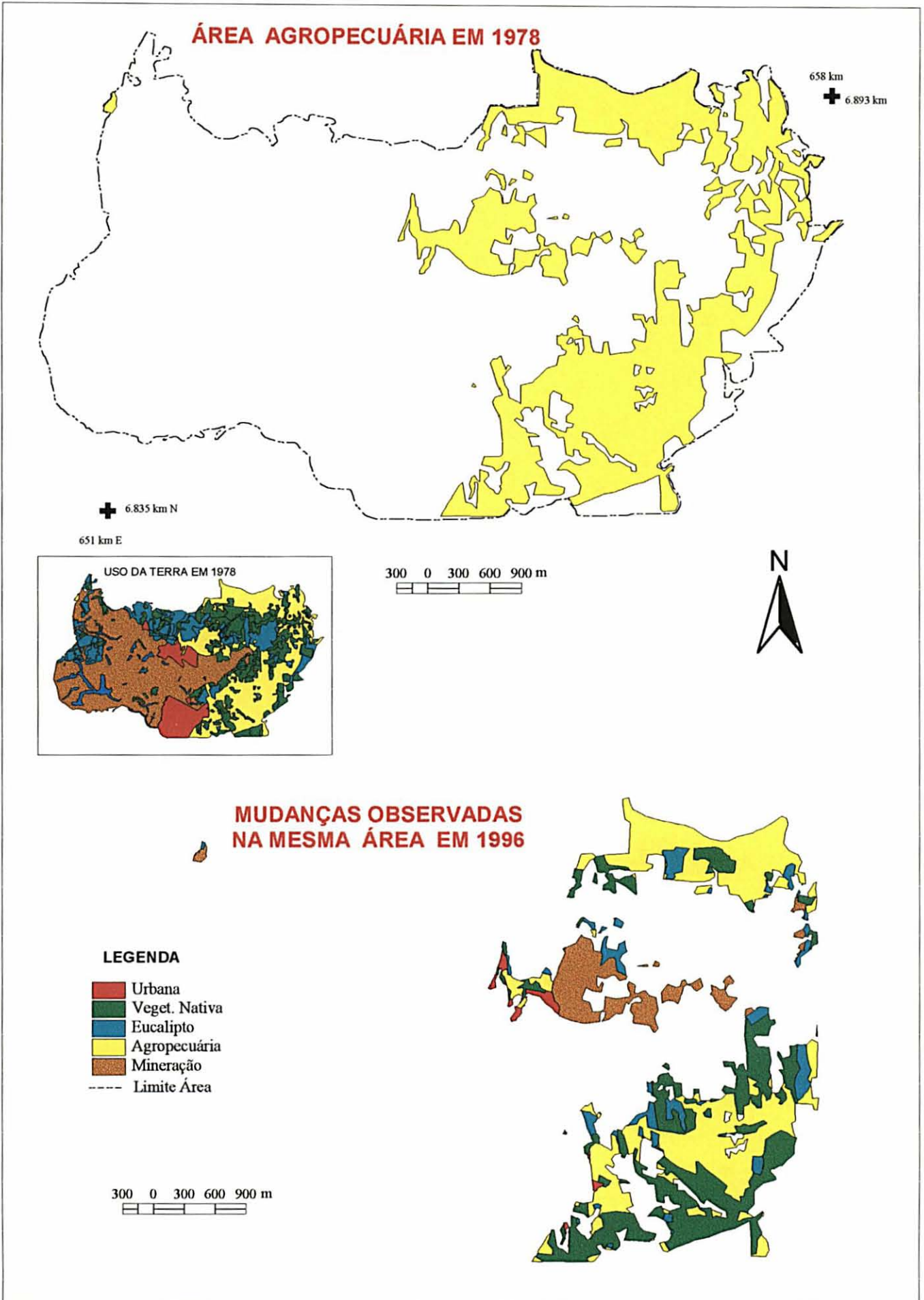


FIGURA 34 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA AGROPECUÁRIA, 1978/1996.



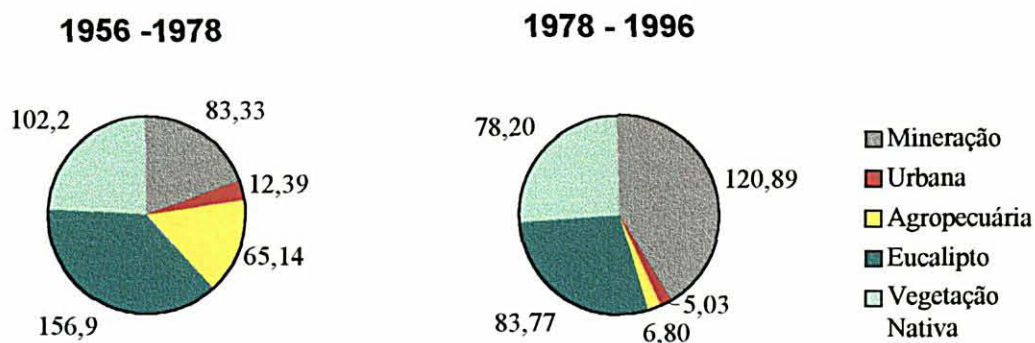


FIGURA 35 - MUDANÇAS TEMPORAIS NA ÁREA DE REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO (área em hectares).

#### 5.3.2.5 MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO

O gráfico da figura 35 e os mapas das figuras 36 e 37 mostraram que mais da metade da área ocupada por reflorestamento de eucalipto, em 1956, sofreu transformação de uso até 1978. Dos 420,045 hectares existentes inicialmente, permaneceram apenas 156,9 hectares com reflorestamento, o restante foi ocupado principalmente pela mineração (83,33 ha) e pela vegetação nativa secundária (102,2 ha). Essa última é consequência do corte raso do eucaliptal seguido de queima e depois do abandono da área. No período seguinte (1978/1996) verificou-se o mesmo comportamento, fato que contribuiu para reduzir ainda mais a área de eucalipto, permanecendo somente 83,77 hectares com esse uso. No extremo leste e oeste a maior parte dos reflorestamentos de eucalipto foi transformada em uso de mineração (120,89 ha). A agropecuária e a vegetação nativa secundária substituíram os reflorestamentos ao norte da área analisada.

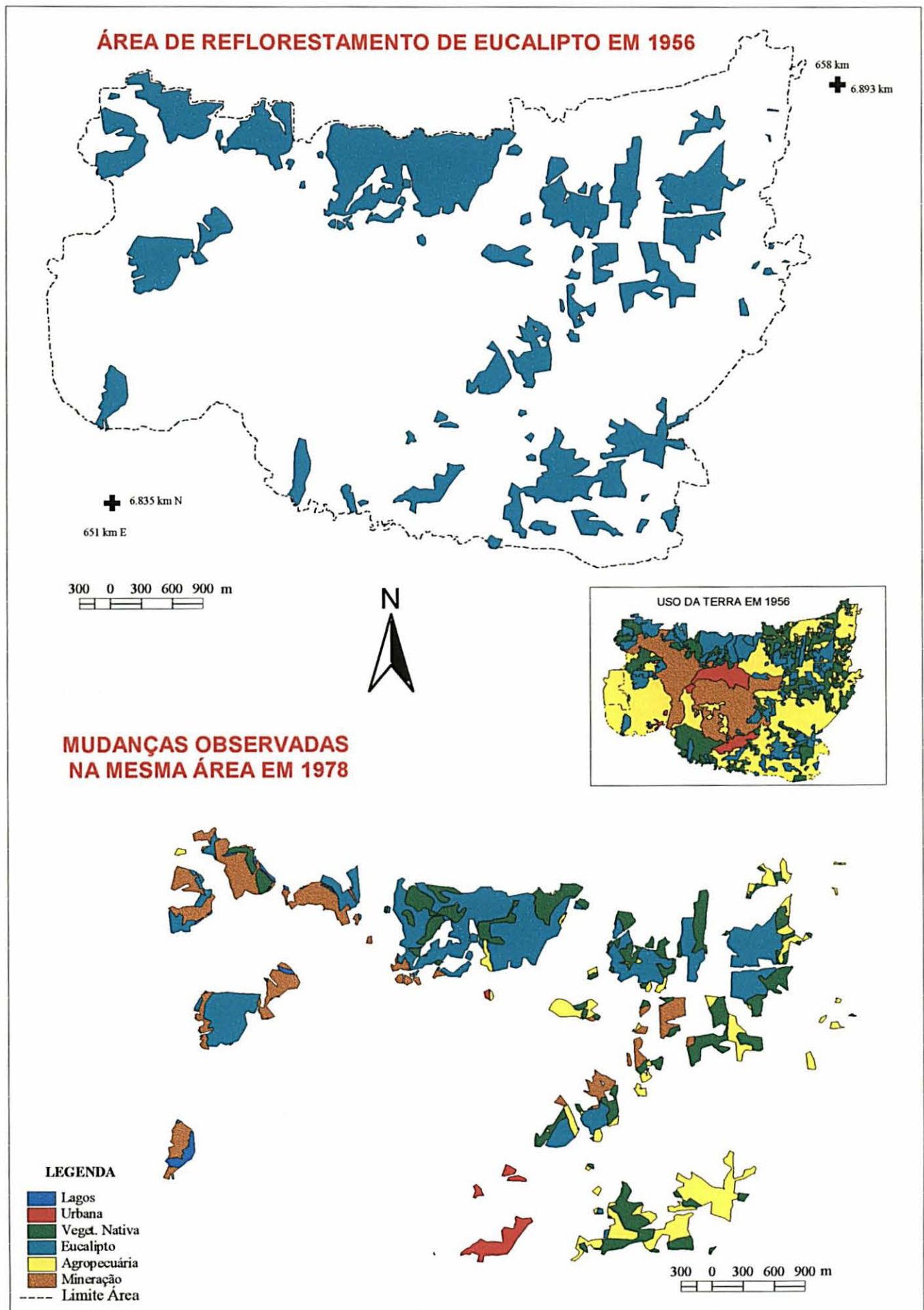


FIGURA 36 - MUDANÇAS OBSERVADAS NO REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO, 1956/1978.

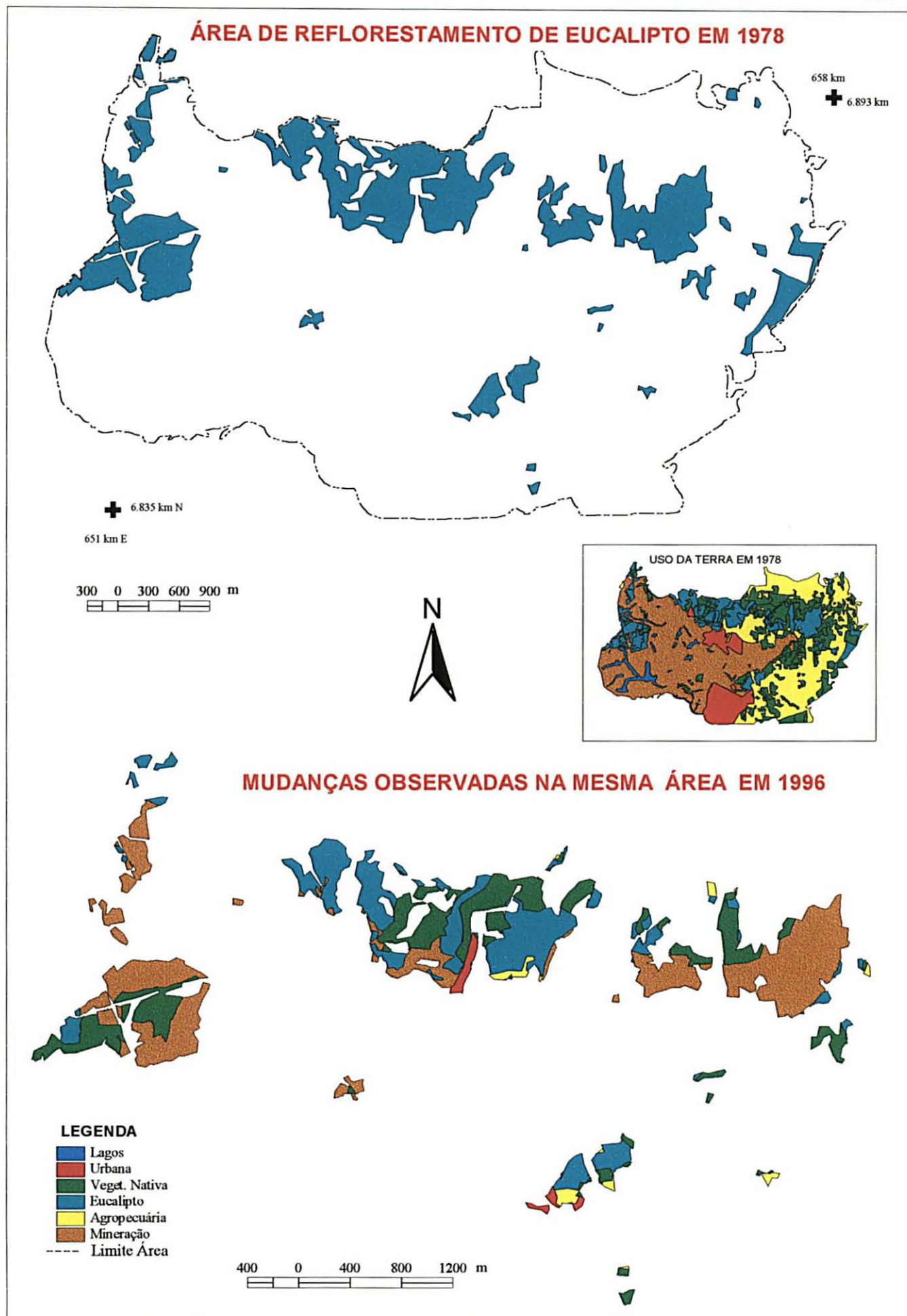


FIGURA 37 - MUDANÇAS OBSERVADAS NO REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO, 1978/1996.



### 5.3.2.6 MUDANÇAS OBSERVADAS NA ÁREA DE VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA

Dos 402,72 hectares de vegetação nativa secundária de 1956, apenas 122,06 hectares permaneceram com esse tipo de uso em 1978, e o restante foi substituído por outros usos. A mineração e a agropecuária foram as principais novas formas de ocupação (vide Figuras 38 e 39). A primeira ocupou 104,56 hectares a oeste, enquanto a agropecuária ocupou 100,50 hectares distribuídos na área mais oriental. O reflorestamento de eucalipto surgiu a noroeste, e a área urbana expandiu-se em 19,49 hectares da área de vegetação nativa secundária existente em 1956.

No período seguinte, a metade da área de vegetação nativa não sofreu alterações. A outra metade foi ocupada pela agropecuária (72,37 hectares) e para reflorestamento (67,37 hectares); uma pequena parte (44,50 hectares) foi utilizada para expansão da mineração a nordeste da área analisada, e 5,11 hectares foram ocupados pela expansão urbana (vide Figura 40).

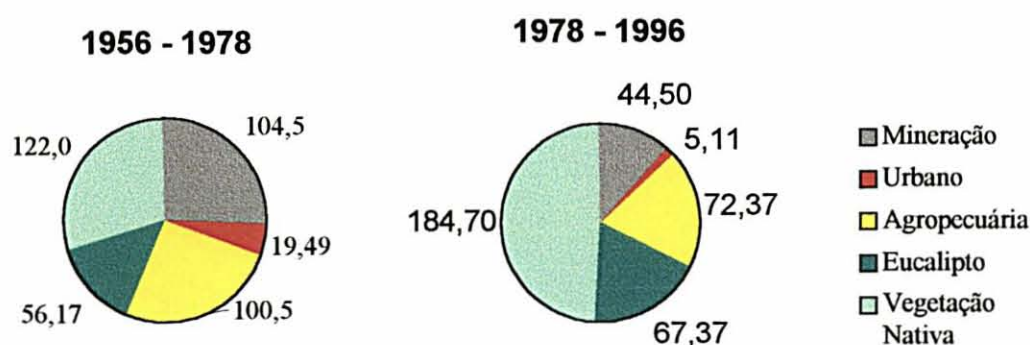
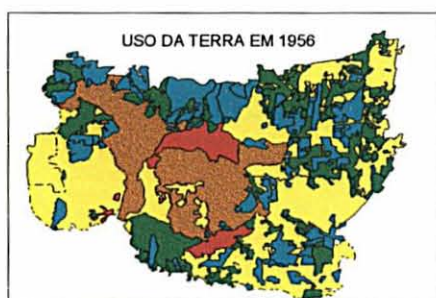


FIGURA 38 - MUDANÇAS NA ÁREA DE VEGETAÇÃO NATIVA (área em hectares).

## ÁREA DE VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA EM 1956



## MUDANÇAS OBSERVADAS NA MESMA ÁREA EM 1978

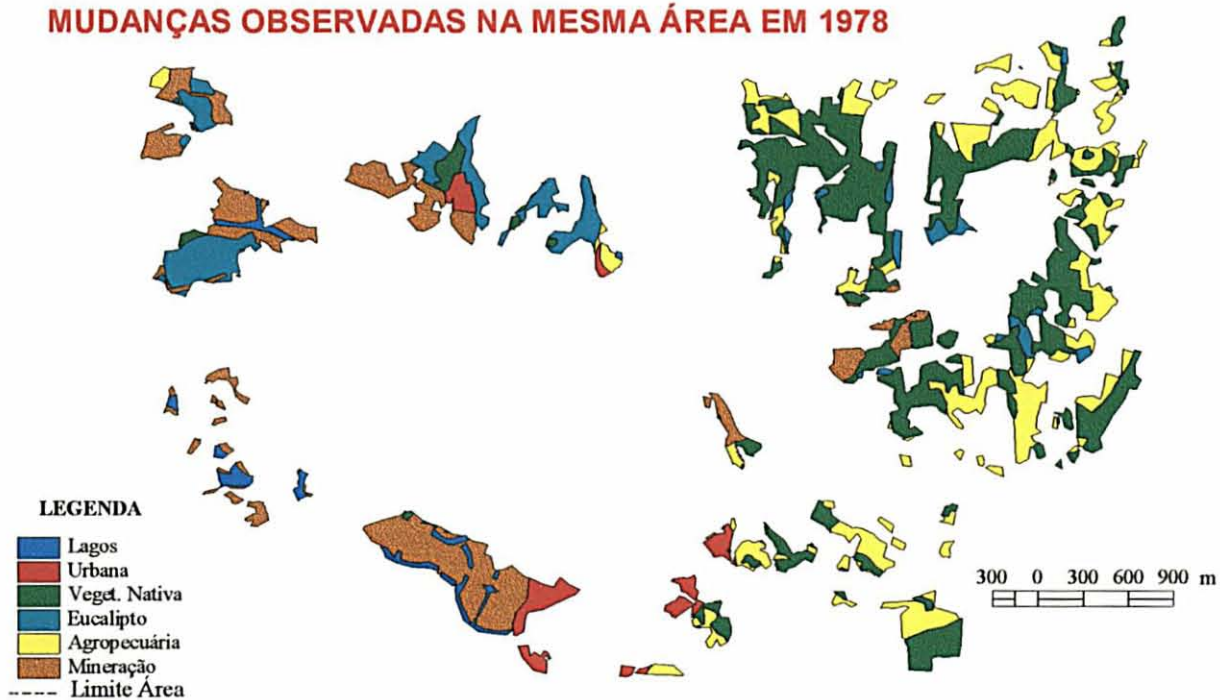
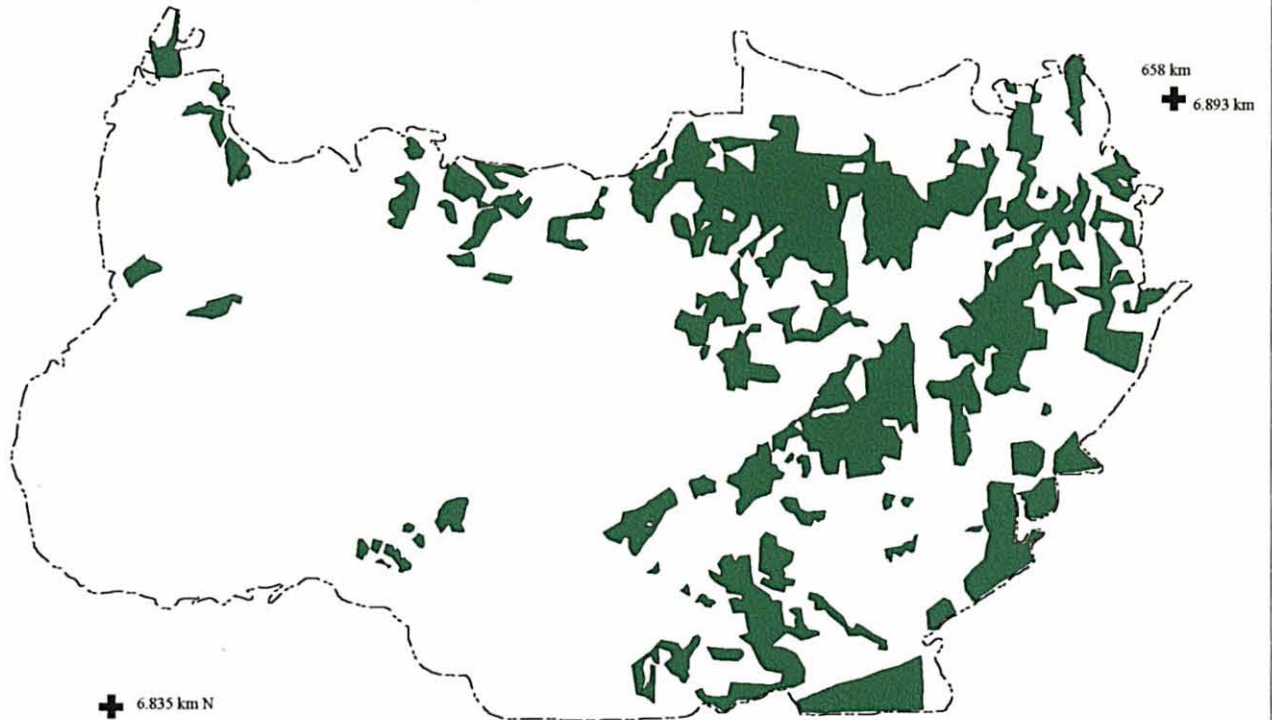


FIGURA 39 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA, 1956/1978.



**ÁREA DE VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA EM 1978**



**MUDANÇAS OBSERVADAS NA MESMA ÁREA EM 1996**

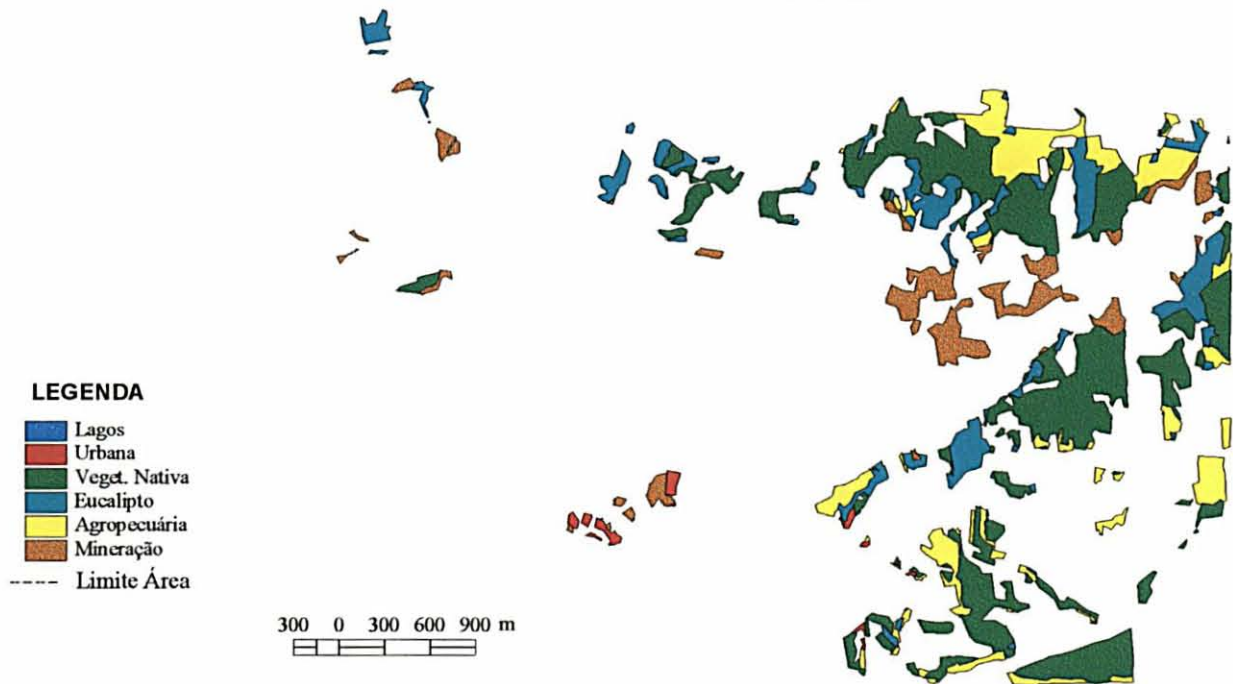


FIGURA 40 - MUDANÇAS OBSERVADAS NA VEGETAÇÃO NATIVA SECUNDÁRIA, 1978/1996.

#### 5.4 IMAGENS LANDSAT- 5 TM

Considerando a cena total, recortou-se digitalmente a área de interesse, ou seja, a área que continha a bacia do rio Fiorita, que ficou com dimensões de 351 x 495 pixels. O passo seguinte constituiu o processamento das imagens, procedendo-se ao cálculo de alguns indicadores estatísticos para exame de cada uma das imagens TM.

TABELA 7 - INDICADORES ESTATÍSTICOS DA IMAGEM DE 1986 E 1996

Imagem de 1986				
Banda	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
1	72	175	85,2558	6,8383
2	27	100	38,2592	5,9588
3	21	145	37,6371	11,3371
4	11	228	80,4771	17,0195
5	03	255	83,7225	24,2986
7	0	255	24,2563	12,4212
Imagem de 1996				
1	51	215	65,0414	6,2555
2	2	255	30,4806	5,4114
3	14	173	29,9580	9,5314
4	7	169	86,5237	19,5093
5	6	255	81,4623	20,6874
7	0	175	22,0328	9,2000

Observando a tabela 7, nota-se que a banda 5 da imagem de 1986 é a que apresenta maior contraste, fato demonstrado pelos níveis de cinza que estão distribuídos por todo o intervalo (3 a 255). O desvio-padrão é também o maior (24,2986), demonstrando a melhor distribuição no intervalo. A banda 7, apesar de abranger todos os níveis de cinza (0-255), tem um desvio-padrão menor que aquele da banda 5 (apenas 12,4212). Isso caracteriza que não há uma boa distribuição de pixels. A banda 2 tem menor distribuição desvio-padrão (5,9588) e menor contraste, pois seus pixels distribuem-se no intervalo de 27 a 100.

Para a imagem de 1996, com a estatística mostrada na tabela 8, constata-se que a banda 5 é que apresenta melhor contraste, pois a distribuição dos níveis de cinza atinge praticamente todo o intervalo de 6 a 255 e o desvio-padrão é o maior de todos (20,6874). A banda 2, apesar de apresentar uma distribuição dos níveis de cinza por todo intervalo (2 a

255), tem um desvio-padrão muito pequeno, o menor de todos. Isso mostra que os pixels não têm boa distribuição nesse intervalo (a imagem é muito escura). Comparando as duas tabelas, percebe-se que a imagem de 1996 é mais nítida que a de 1986, pois os pixels aparecem mais bem distribuídos nos intervalos de cinza das bandas. O desvio-padrão das bandas homólogas das imagens é maior na imagem de 1986.

TABELA 8 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS IMAGENS DE 1986 E 1996

1986						
Banda	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6
1	1,000	0,894	0,893	-0,211	0,654	0,800
2	0,894	1,000	0,947	-0,026	0,773	0,847
3	0,893	0,947	1,000	-0,199	0,707	0,861
4	-0,211	-0,026	-0,199	1,000	0,285	-0,107
5	0,654	0,773	0,707	0,285	1,000	0,851
7	0,800	0,847	0,861	-0,107	0,851	1,000
1996						
Banda	BANDA 1	BANDA 2	BANDA 3	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 6
1	1,000	0,861	0,879	-0,250	0,591	0,785
2	0,861	1,000	0,908	-0,023	0,731	0,822
3	0,879	0,908	1,000	-0,294	0,602	0,830
4	-0,250	-0,023	-0,294	1,000	0,326	-0,117
5	0,591	0,731	0,602	0,326	1,000	0,820
7	0,785	0,822	0,830	-0,117	0,820	1,000

Observando a tabela 8, verifica-se que a menor correlação da imagem de 1986 e 1996 ocorre para as bandas 2 e 4, com 2,6% e 2,3% de informações comuns, respectivamente. A maior correlação nas imagens de 1986 e 1996 corresponde às bandas 2 e 3, apresentando 94,75% e 90,8% de informações comuns.

Os dados da matriz de correlação junto com os desvios-padrão de cada banda serão utilizados para calcular o fator de índice ótimo – FIO.

### 5.4.1 CÁLCULO DO FATOR ÍNDICE ÓTIMO - FIO

Com base no FIO (JENSEN, 1996) calculou-se a combinação de bandas que melhor representavam os dados para a interpretação visual das imagens de 1986 e de 1996.

TABELA 9 - CÁLCULO DO FIO PARA A IMAGEM TM DE 1986

Composição	FIO	Composição	FIO
1-2-3	7,75	2-3-4	29,40
1-2-4	11,43	2-3-5	14,68
1-2-5	13,94	2-3-7	9,09
1-2-7	8,35	<b>2-4-5</b>	<b>42,07</b>
1-3-4	27,09	2-4-7	34,82
1-3-5	16,18	2-5-7	14,29
1-3-7	9,78	3-4-5	35,78
<b>1-4-5</b>	<b>40,39</b>	3-4-7	32,77
1-4-7	31,27	3-5-7	16,30
1-5-7	15,68	4-5-7	39,74

TABELA 10 - CÁLCULO DO FIO PARA A IMAGEM TM DE 1996

Composição	FIO	Composição	FIO
1-2-3	9,09	2-3-4	28,13
1-2-4	26,39	2-3-5	18,57
1-2-5	17,16	2-3-7	11,61
1-2-7	10,21	<b>2-4-5</b>	<b>43,82</b>
1-3-4	24,79	2-4-7	36,87
1-3-5	20,52	2-5-7	18,01
1-3-7	12,24	<b>3-4-5</b>	<b>43,16</b>
1-4-5	41,16	3-4-7	32,89
1-4-7	31,28	3-5-7	21,36
1-5-7	16,69	4-5-7	42,31

Observando as tabelas 9 e 10, verifica-se que o cálculo do FIO para as duas imagens TM mostrou maior valor para a combinação das bandas 2, 4 e 5 da imagem de 1996 (43,82), seguido da combinação 3, 4 e 5, com valor de 43,16. Para a imagem de 1986 a melhor combinação também foi indicada como sendo 2, 4 e 5 com o valor de 42,07, seguido da combinação 1, 4 e 5, com valor de 40,39.



FIGURA 41 - COMPOSIÇÃO  
COLORIDA NAS BANDAS  
5(R), 4(G) E 2(B), DA IMAGEM  
LANDSAT-5 DE 17/NOV/1986.

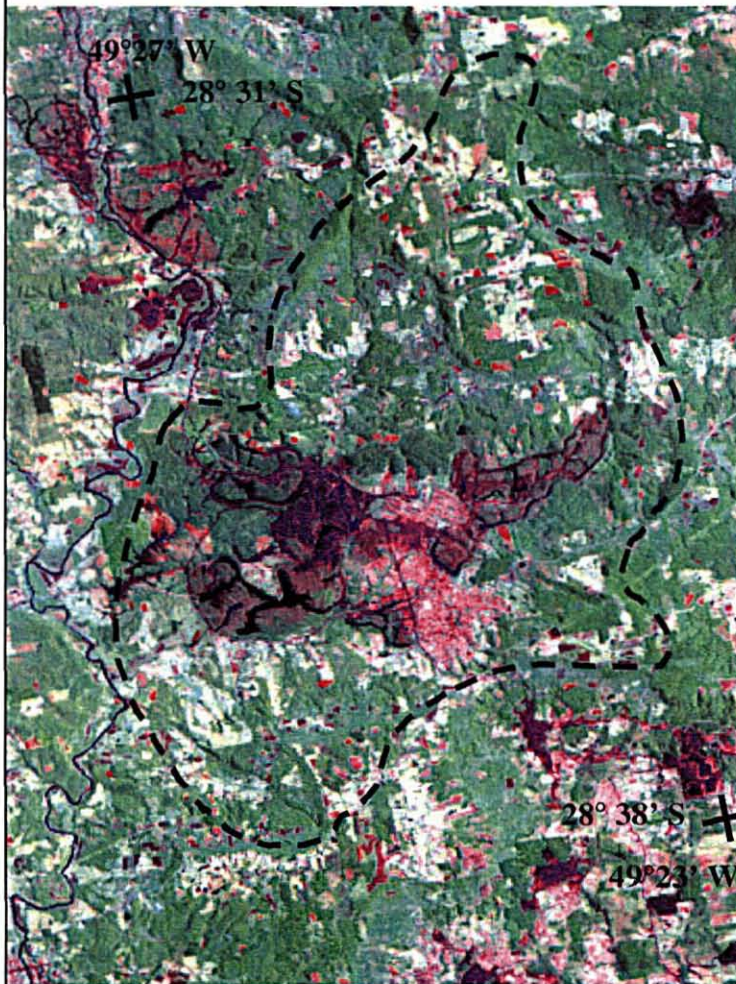


FIGURA 42 - COMPOSIÇÃO  
COLORIDA NAS BANDAS  
5(R), 4(G) E 2(B), DA IMAGEM  
LANDSAT-5 DE 12/NOV/1996.

Para a composição RGB na tela do monitor visando comparar visualmente às imagens das duas datas, e também para a escolha das áreas amostrais, utilizou-se a composição das bandas 2, 4 e 5, conforme determinado pelo FIO. Foi aplicado um aumento linear de 2% de contraste para as três bandas. Nesse volume sempre que se mostrarem as imagens primitivas também será utilizada a mesma composição (vide Figuras 41 e 42).

## 5.4.2 RESULTADOS DA CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS DE SATÉLITE

### 5.4.2.1 REGISTRO DA IMAGEM DE 1986

O resultado do registro da imagem TM de 1986 em relação a de 1996, utilizando seis pontos distribuídos na imagem e o modelo polinomial de 1º grau, apresentou um erro médio quadrático (EMQ) de 0,19 pixels, o que é um excelente resultado, considerando que na detecção automática de mudanças, segundo GREEN, KEMPLA e LACKLEY (1994) os erros de registro devem ser inferiores a 1,7 pixels. Os dados desta operação estão na tabela a seguir.

TABELA 11 - DADOS DO REGISTRO DA IMAGEM TM DE 1986 EM RELAÇÃO À IMAGEM TM DE 1996

Ponto	Coord. Imagem 1996		Coord. Imagem 1986		Erros		EMQ
	x	y	x	y	x	y	
1	1655	407	1612	428	-0,09	0,12	0,15
2	1636	222	7584	241	-0,00	-0,17	0,17
3	1385	197	1334	215	0,05	0,26	0,26
4	1389	396	1337	417	-0,03	-0,31	0,31
5	1656	565	1602	588	0,10	0,04	0,10
6	1378	591	1325	614	0,03	0,06	0,07

### 5.4.2.2 GEORREFERENCIAMENTO

Na correção geométrica final, isto é, no georreferenciamento das imagens classificadas em relação à carta digital na escala 1:20 000, utilizando o mesmo modelo matemático do registro das imagens, obteve-se EMQ de 0,48 pixels, ou seja, 14,40 m no terreno, o que é um erro muito pequeno, considerando uma saída gráfica na escala 1:50 000 (vide na tabela 12 os dados desta correção).

TABELA 12 – DADOS DA CORREÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS TM

Pt	Mapa		Imagem		Erro		EMQ
	x	y	x	y	x	y	
649990	6838488	1411	392	0,69	-0,02	0,69	
650989	6841581	1420	286	-0,62	-0,07	0,62	
650350	6836535	1439	453	-0,22	0,16	0,27	
656933	6838425	1636	353	0,04	0,46	0,46	
655433	6841246	1565	271	0,31	-0,18	0,36	
656466	6835293	1646	458	-0,19	-0,33	0,39	

## 5.5 ANÁLISE TEMPORAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE

### 5.5.1 MÉTODO DA SUPERPOSIÇÃO DE IMAGENS

Uma vez registradas as imagens de 1986 e 1996, foi possível fazer sua superposição. O processo de superposição digital consistiu em expor uma composição colorida RGB (vermelho, verde e azul) na tela do vídeo, utilizando apenas uma banda de cada imagem.

A superposição de bandas foi aplicada primeiro para a banda 3 e depois para a banda 5, da seguinte maneira: uma composição colorida foi formada pela banda 3 da imagem de 1986, nas cores verde e azul, e pela banda 3 da imagem de 1996, em vermelho. Tudo que apareceu em azul mostra áreas com pouca ou sem vegetação em 1986, mas que na data mais recente aparecem cobertas por vegetação. O contrário aconteceu com a cor vermelha. Ela mostra áreas descobertas em 1996, que no passado eram ricas em vegetação. Os tons de cinza indicam que não houve mudanças significativas no local. O mesmo processo foi aplicado para a banda 5.

Uma inspeção visual das imagens resultantes de cada uma das composições mostrou que a superposição da banda 3 deu resultados melhores que a da banda 5. Ela proporcionou maior grau de contraste entre as áreas de mudança e não-mudança para o solo coberto-exposto.



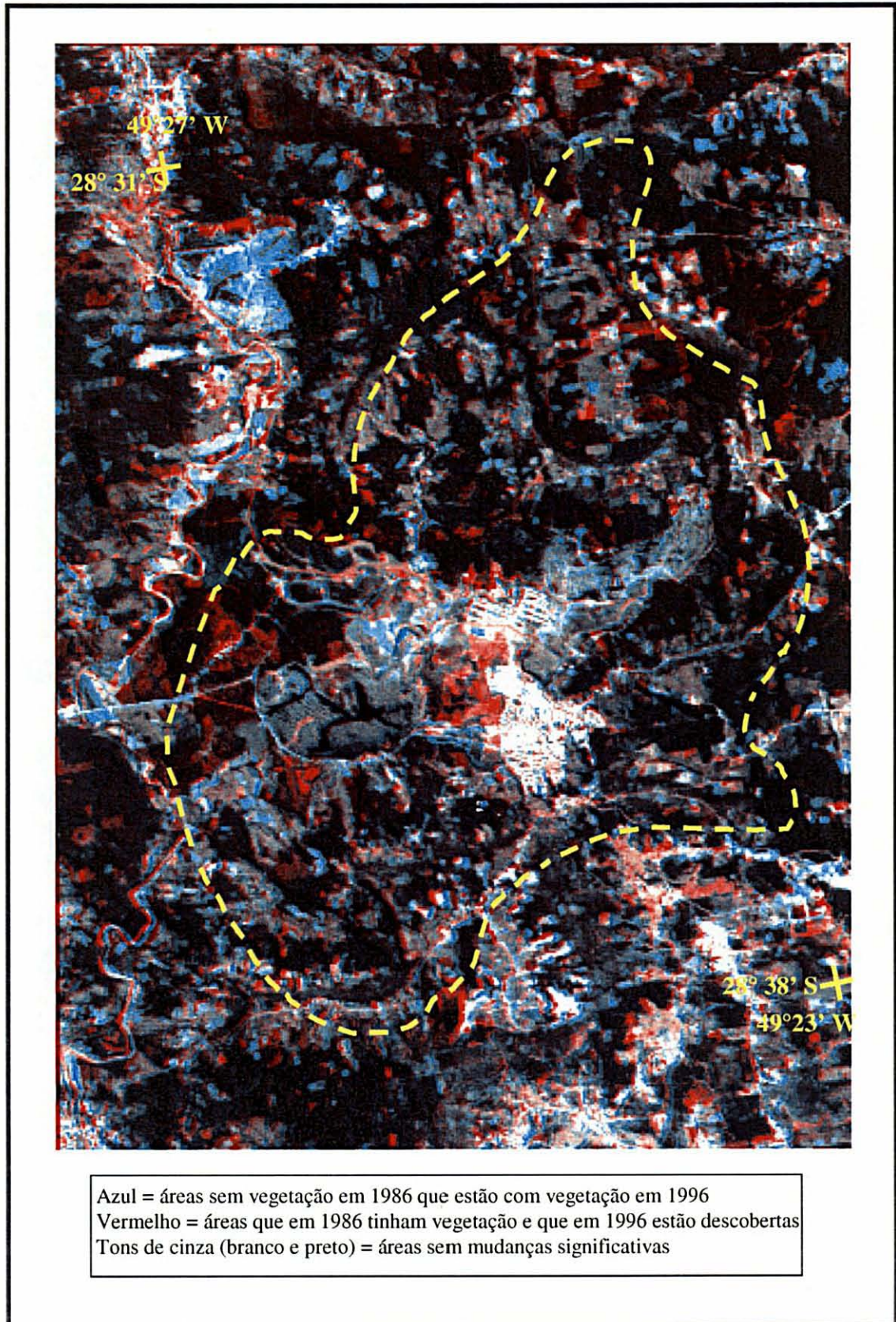


FIGURA 43 - ANÁLISE TEMPORAL, MÉTODO DA SUPERPOSIÇÃO DE IMAGENS USANDO BANDA 3 DAS IMAGENS TM DE 1986 E 1996.

Para realçar o contraste e produzir cores mais saturadas para a imagem resultante da superposição das bandas 3, utilizou-se o processo de transformação de cores RGB/VHS/RGB disponível no programa. Nesse procedimento, os canais R (com a banda 3 de 1996), G e B (com a banda 3 de 1986) foram transformados do espaço RGB para o espaço VHS (valor, matiz, saturação). Nesse processo é aplicado um aumento de contraste às bandas até atingir toda a extensão de saturação. Depois, os dados são transformados de volta ao espaço RGB. A figura 43 mostra o resultado da superposição de bandas, já com as cores saturadas.

### 5.5.2 MÉTODO DA ANÁLISE DAS COMPONENTES PRINCIPAIS SELETIVAS

No método de análise das componentes principais seletivas, primeiro é calculado o NDVI das imagens das duas datas, as quais servirão de entrada para o cálculo do PCAS. Utilizando duas bandas, a informação que é comum a elas fica mapeada na primeira componente – PC1, enquanto as informações que são exclusivas em cada imagem de entrada, são mapeadas como segunda componente principal – PC2. No presente caso de estudo, o contraste temporal das duas imagens tomadas em datas diferentes foi mapeada na PC2.

A seguir faz-se uma análise das imagens resultantes do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de cada data e depois da segunda componente principal, a qual comporta as mudanças temporais.

#### 5.5.2.1 ANÁLISE DAS IMAGENS NDVI DE 1986 E 1996

As figuras 44 e 45 mostram as imagens NDVI de 1986 e 1996, respectivamente. As rodovias, ruas na área urbana, lagos, rio, áreas de rejeito de carvão aparecem nitidamente nas imagens com pixels escuros, mas não têm relação com o NDVI.

Outras áreas escuras na imagem são aquelas relacionadas ao cultivo, como solo descoberto e terras úmidas; elas aparecem como áreas pequenas distribuídas em toda a



FIGURA 44 - IMAGEM  
RESULTANTE DA  
APLICAÇÃO DO NDVI  
NA IMAGEM TM DE 1986.

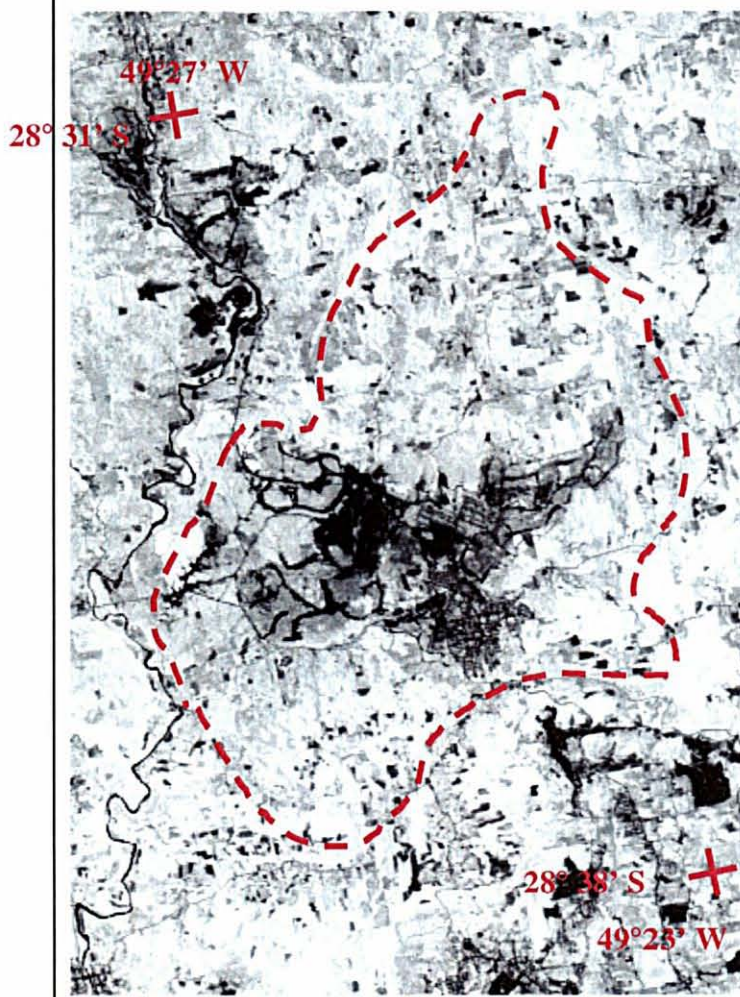
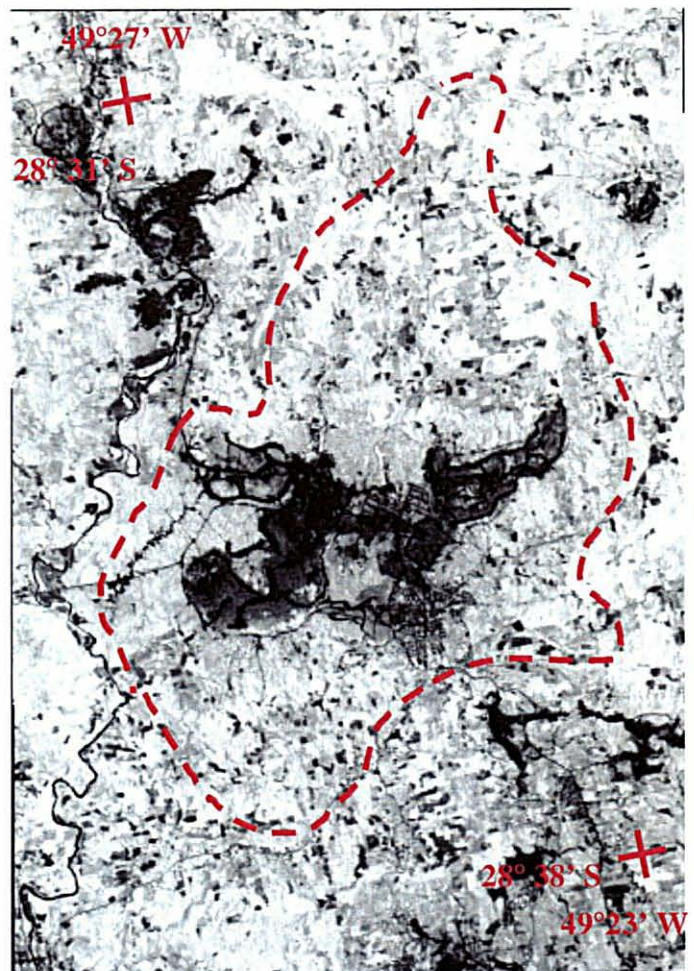


FIGURA 45 - IMAGEM  
RESULTANTE DA  
APLICAÇÃO DO NDVI NA  
IMAGEM TM DE 1996.

imagem de ambas as datas. As áreas de mineração onde há depósito dos estéreis também são mostradas por pixels escuros, mas, na data mais atual, essas mesmas áreas diminuíram em tamanho. Tal fato deve ser consequência da presença da vegetação que aí se instalou e cresceu no intervalo de tempo entre os dois imageamentos.

As áreas mais claras representam a vegetação fotossinteticamente ativa, incluindo reflorestamento de eucalipto, floresta nativa secundária, campos de cultivo e pastagem. Quanto maior o valor do nível de cinza, maior é a cobertura da área por vegetação fotossinteticamente ativa, como os eucaliptos e as florestas nativas secundárias.

#### 5.5.2.2 ANÁLISE DA SEGUNDA COMPONENTE – PC2, RESULTANTE DA TRANSFORMAÇÃO DAS COMPONENTES PRINCIPAIS

A imagem em diferentes tons de cinza, da figura 46, é relativa à segunda componente da transformação das componentes principais, que teve como entrada as imagens NDVI das datas de 1986 e 1996. Os tons de cinza indicam mudanças insignificantes ou ausência de mudanças no NDVI. Comparando essa imagem com aquelas de 1986 e 1996, verificou-se que tais áreas representam as florestas naturais e plantadas, as áreas de cultivo, as pastagens, as áreas urbanas áreas de mineração e rodovias. Os pixels brancos denotam aumento na vegetação de 1986 para 1996, e as áreas escuras mostram decréscimo da vegetação no período.

Para melhor visualizar as mudanças temporais em toda a imagem, foi aplicado *density slicing*, o qual permite a escolha iterativa de intervalos de valores de cinza em uma imagem para ser mostrada em cores. No caso, dividiu-se a imagem da segunda componente principal em 3 níveis principais de cinza, perceptíveis ao olho humano (vide Figura 47), conforme a seguinte interpretação: a) áreas que não sofreram mudanças receberam cor verde; b) áreas com acréscimo de vegetação receberam cor vermelha; c) áreas com decréscimo de vegetação receberam cor preta.



FIGURA 46 - IMAGEM DA SEGUNDA COMPONENTE PRINCIPAL OBTIDA A PARTIR DAS IMAGENS NDVI DE 1986 E 1996.

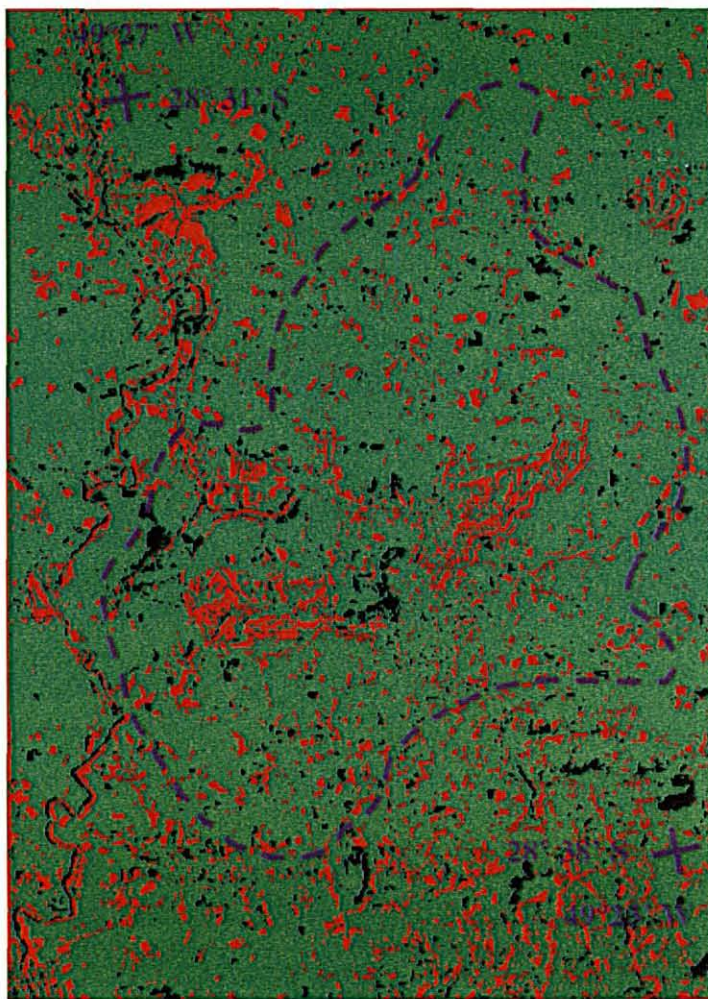
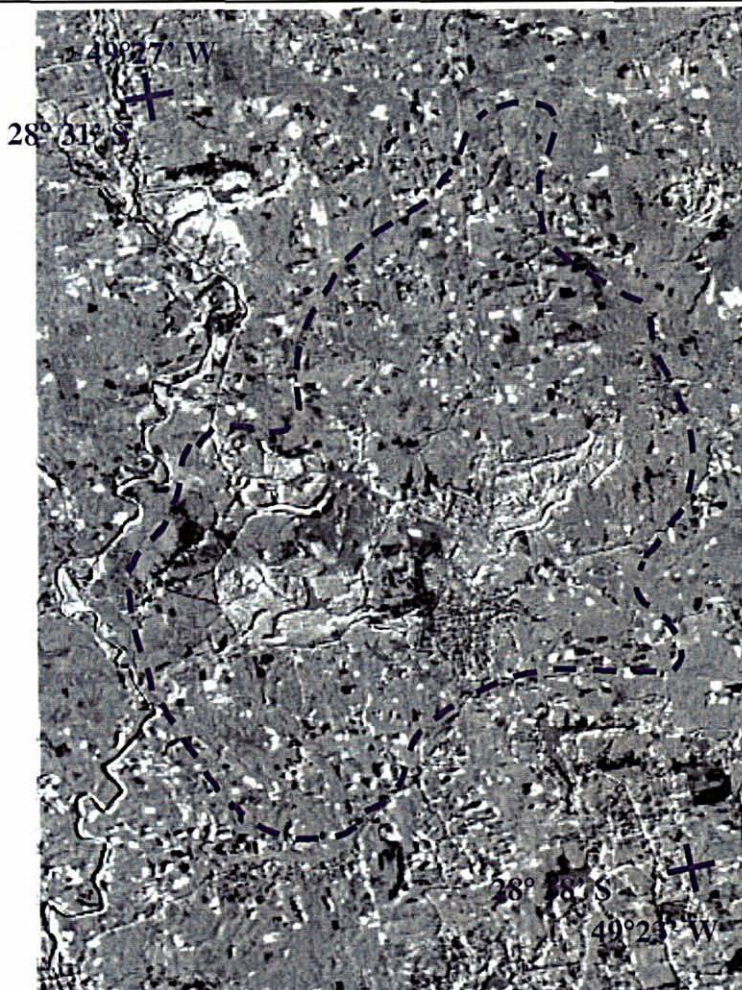


FIGURA 47 - MUDANÇAS TEMPORAIS REALÇADAS PELA TÉCNICA *DENSITY SLICING*.

LEGENDA

- Sem mudanças
- Acréscimo Vegetação em 1996
- Decréscimo Vegetação em 1996
- Limite da Bacia Hidrográfica

Nesta pesquisa o conhecimento da área de interesse foi adquirido através de trabalhos de campo e de interpretação de fotografias aéreas, as quais foram obtidas no mesmo ano da passagem do satélite (em 1996) e também em mais duas datas anteriores. Portanto, o sensor de maior resolução espacial associado ao conhecimento *in loco* deu subsídios abundantes à interpretação dos dados de satélite mostrados na PC2, ou seja, a análise das mudanças temporais.

Na seqüência fez-se a análise de quatro áreas características de mudanças locais.

#### Área degradada onde aparece estéril da mineração na figura 48A

Analisando as imagens de 1986 e 1996 (mostradas aqui na composição 5R, 4G e 2B), verificou-se que, nas margens das cavas (lagoas), em 1996, o solo aparece desnudo (em cor rosa forte), ou seja, na massa estéril da mineração aí depositada há ausência de vegetação. Na imagem do ano mais atual essa área está coberta com uma vegetação em diversos estágios de regeneração, deixando ainda ver o solo em alguns locais. Na imagem da segunda componente principal essa mudança é mostrada em pixels brancos indicando acréscimo de vegetação e alguns tons de cinza indicando não-mudança, ou seja, o solo ainda exposto.

#### Área de reflorestamento de eucalipto na figura 48B

Na imagem de 1996 os tons rosados mostram área de solo exposto, quando, em 1986, havia eucaliptos representados na tonalidade verde. Na imagem PC2 o decréscimo da vegetação nesse local é marcado pelos pixels escuros.

#### Área de mineração na figura 48C

O solo exposto mostrado em rosa forte na imagem de 1986 é lugar de depósito de estéril da mineração. Este local na data mais atual está coberto por vegetação (pixels esverdeados). Os pixels claros mostram esse acréscimo de vegetação na imagem PC2, e os pixels escuros mostram o decréscimo.



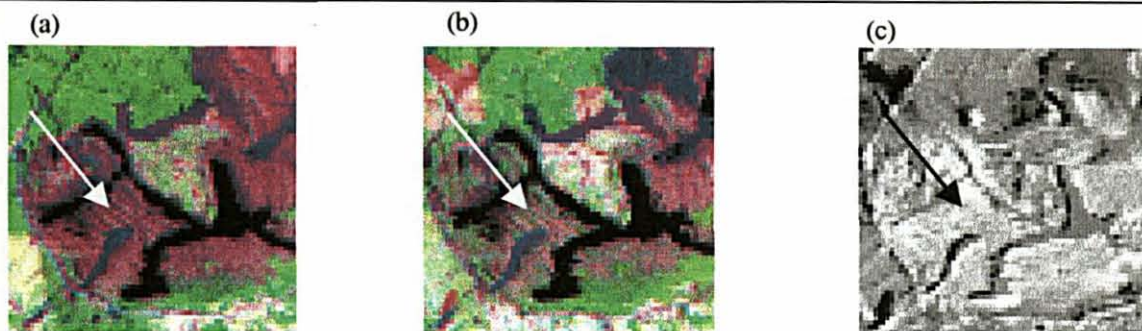


FIGURA 48A - MUDANÇAS TEMPORAIS:ÁREA DE ESTÉRIL DA MINERAÇÃO.

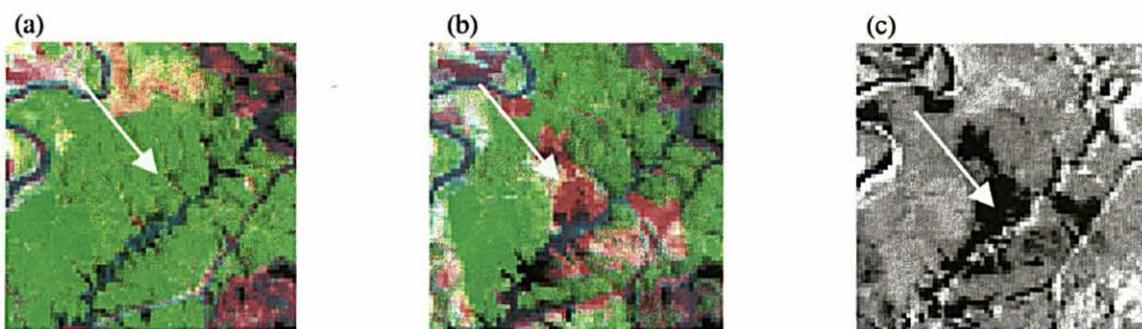


FIGURA 48B - MUDANÇAS TEMPORAIS REFLORESTAMENTO DE EUCALIPTO.

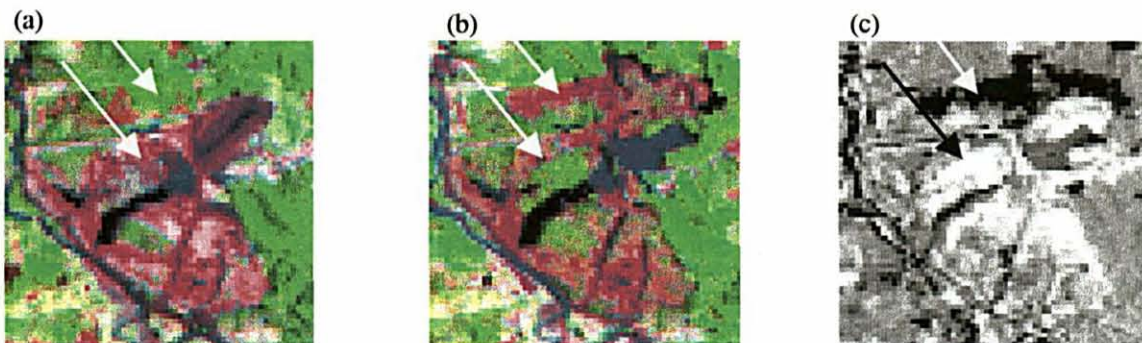


FIGURA 48C - MUDANÇAS TEMPORAIS:ÁREA DE MINERAÇÃO.

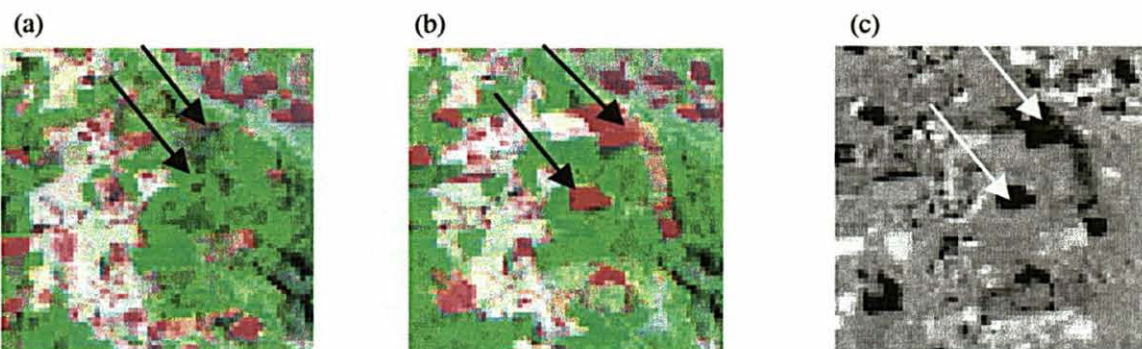


FIGURA 48D - MUDANÇAS TEMPORAIS:NOVAS ÁREAS DE AGRICULTURA.

FIGURA 48 - DETALHES DAS TRANSFORMAÇÕES TEMPORAIS NAS IMAGENS (a) LANDSAT-5 TM 1986, (b) LANDSAT-5 TM 1996 E (c) CP2.



### Novas áreas de agricultura na figura 48D

A imagem de 1986 mostra nesse local uma cobertura florestal, a qual deu lugar a solo descoberto, preparado para o cultivo em 1996. Como já comentado, o decréscimo da vegetação, no caso corte da cobertura florestal, é mostrado com pixels escuros na imagem PC2.

### 5.5.3 MÉTODO DA PÓS-CLASSIFICAÇÃO

Para análise de mudanças temporais pelo método da pós-classificação é necessário classificar as imagens de cada data e depois confrontar os resultados das classificações.

Conhecendo a área de estudo em detalhes, devido à execução da fotointerpretação de aerofotos em três datas distintas, e tendo efetuado visitas de reconhecimento do local e de checagem da fotointerpretação, não foi difícil definir as classes a serem interpretadas na classificação supervisionada usando o algoritmo de classificação MaxVer. A seguir, mostram-se os gráficos das assinaturas espectrais considerando a média dos valores de cinza das áreas amostrais das 10 classes da imagem TM de 1996.

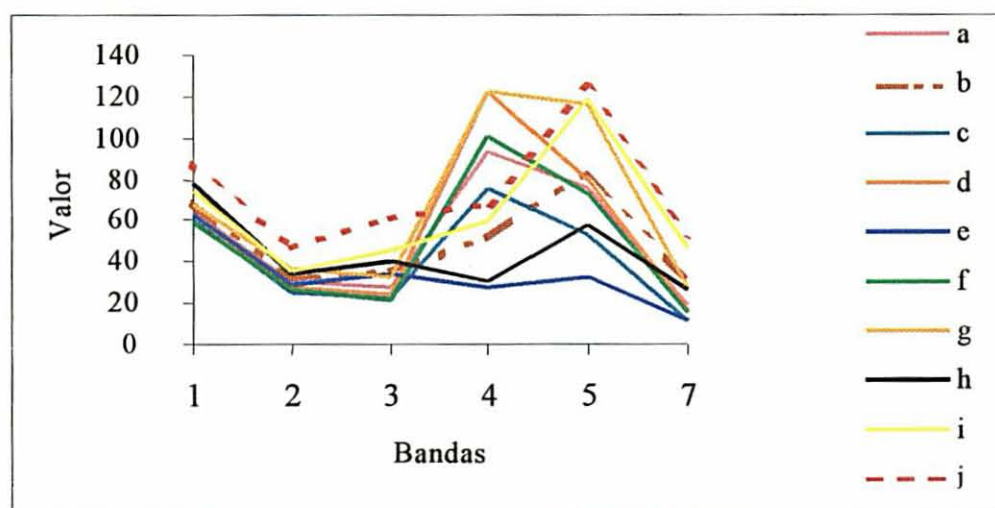


FIGURA 49: ASSINATURA ESPECTRAL DAS ÁREAS AMOSTRAIS DA IMAGEM TM DE 1996.

Onde: a = Banana; b = Estéril; c = Eucalipto; d = Eucalipto Jovem; e = Lagoas Ácidas; f = Floresta Nativa Secundária; g = Pastagem; h = Rejeito de Carvão; i = Solo Agrícola; e j = Área Urbanizada.

O resultado da classificação da imagem de 1996, considerando seis bandas, foi verificado pela Matriz de Confusão mostrada na tabela 13, a seguir, apresentando uma exatidão 95,788%.

TABELA 13 - MATRIZ DE CONFUSÃO: DESEMPENHO DO CLASSIFICADOR PARA A ANÁLISE MULTIESPECTRAL DA IMAGEM TM DE 1996 (em %)

Classes	Verdade Terrestre									
	Urbana	Solo Agríc.	Pastagem	Estéril	Rejeito	Lagoas	Eucalip. Jovem	Eucalipto	Fl. Nat. Secund.	Banana
Urbana	4,87	0,50								
Solo Agríc.	0,36	8,35								
Pastagem			8,13							
Estéril		0,07		10,24	0,07					
Rejeito					9,66	0,07				
Lagoas						13,94				
Euc. Jovem							8,79		1,23	0,07
Eucalipto								10,38	0,94	0,14
Fl. Nat. Sec.							0,14	0,14	11,91	0,07
Banana				0,07			0,07	0,07	0,14	9,51
Total	5,23	8,92	8,13	10,31	9,73	14,01	9,00	10,59	14,22	9,79

A inspeção visual da imagem classificada de 1996 em relação às aerofotos da mesma data revelou que existe, em alguns locais, uma confusão da classe Banana com as classes Eucalipto e Floresta Nativa Secundária (fato também apontado na matriz confusão, acima) e as sombras do relevo foram classificadas como Eucalipto. O Solo Agrícola e Área Urbana também foram classificados com alguma confusão (vide Tabela 13).

As assinaturas espectrais das médias dos valores de cinza das classes amostradas na figura 49 explicam as confusões entre algumas classes. Como se pode observar no gráfico, as classes Banana e Eucalipto têm assinatura semelhante para as bandas 1, 2, 3, 5 e 7. O mesmo comportamento pode ser verificado para as classes Floresta Nativa Secundária e Eucalipto Jovem.

Para uma classificação somente considerando as bandas 2, 4 e 5 da imagem de 1996 (bandas com maior FIO, classificação 3), verificou-se que a matriz de confusão acusou uma exatidão de 91,88% (vide Tabela 15).

A imagem resultante da classificação das 3 primeiras componentes principais das 6 bandas TM de 1996 (cl. 2), mostrou-se visualmente muito semelhante àquela resultante da classificação onde se usaram todas as bandas (cl.1). No entanto, conforme apontado na tabela 14, verifica-se que na classificação 2 a classe Área Urbana foi pior discriminada (83,33%), assim como o Solo Agrícola (86,17%) e Banana (76,53), contra 93%, 92,49% e 97,94%, na classificação 1, respectivamente, para cada classe.

TABELA 14 - DESEMPENHO DO CLASSIFICADOR PARA CADA CATEGORIA DE USO DA TERRA, CONSIDERANDO OS SETE TIPOS DE ENTRADA

CLASSE	DESEMPENHO (%)						
	cl. 1	cl. 2	cl. 3	cl. 4	cl. 5	cl. 6	cl. 7
Urbana	93.05	83.333	76.389	95.833	79.167	77.778	88.889
Solo Agrícola	92.49	86.179	77.236	92.683	77.236	78.862	82.114
Pastagem	100.00	100.00	83.036	100.00	98.214	97.321	98.214
Flor. Nativa Secund.	83,673	97.183	54.225	99.296	90.141	89.437	86.620
Estéril	99.296	94.776	96.269	99.254	92.537	85.075	90.299
Rejeito Carvão	99.254	96.373	84.456	99.482	90.674	93.264	86.010
Lagoas Ácidas	99.482	92.742	63.710	97.581	91.129	90.323	90.323
Eucalipto Jovem	97,581	97.945	86.986	98.630	96.575	95.205	97.260
Banana	97,037	76.531	64.286	83.163	67.857	67.857	65.306
Eucalipto	97,945	99.259	78.519	97.778	76.296	69.630	75.556

Classificação 1 = cl. 1= todas as bandas

Classificação 2 = cl. 2 = três primeiras componentes principais

Classificação 3 = cl. 3 = bandas 2, 4 e 5

Classificação 4 = cl.4 = todas as bandas + três texturas na banda 3

Classificação 5 = cl. 5 = três comp. princip. originadas das bandas 3, 4 e 5 + três texturas na banda 3

Classificação 6 = cl. 6 = bandas 4 e 5 + textura na banda 3 (contraste)

Classificação 7 = cl. 7 = bandas 4 e 5 + textura na banda 3 (homogeneidade)

Como o programa ENVI dispõe de filtros texturais, decidiu-se utilizar a experiência adquirida em outras pesquisas para tentar diminuir a confusão de algumas classes. As pesquisas de diversos autores como GORDON e PHILIPSON (1986); SHIKIDMORE, (1989); PEDDLE e FRANKLIN (1991); BRIGGS e NELLIS (1991); COGO (1993); KUSHWAHA, KUNTZ e OESTEN (1994); LOCH E KIRCHNER (1999) mostraram que a utilização de medidas de textura melhoraram significativamente o resultado da classificação de imagens multiespectrais.

A aplicação de medidas de textura, contraste, entropia e homogeneidade na banda 3, mais as seis bandas TM para a entrada da classificação MaxVer (cl. 4), melhorou o desempenho desse classificador para as classificações cl.1 e cl.4. Ambas mostraram bom desempenho do classificador, e a classificação multiespectral de todas as bandas (cl.1) apresentou uma exatidão de 95,79% contra 95,93% quando se utilizaram os canais de textura junto para a classificação da imagem (vide cl.4, na Tabela 14). Comparando os resultados individuais das duas classificações (cl.1 e cl.4), verifica-se na tabela 16 uma melhora significativa na discriminação da Floresta Nativa Secundária de 83,67% para 99,29%. O Eucalipto Jovem também foi melhor discriminado, aumentando de 97,58% para 98,63% de acerto na classificação; a classificação da Área Urbana teve uma sensível melhora, passando de 93,056% para 95,833% de acerto. Entretanto, as classes Banana e Lagoas foram pior discriminadas, caindo de 97,03% para 83,16% e de 99,48% para 97,5% de acerto, respectivamente. Para as outras classes não ocorreu melhora significativa na classificação.

Estes resultados foram um pouco diferentes daqueles obtidos por KUSHWAHA, KUNTZ e OESTEN (1994) na aplicação de medidas texturais em imagens do sensor indiano IRS LISS-II para a classificação do uso da terra. As áreas homogêneas, florestadas ou não, foram melhor categorizadas quando utilizada a classificação multiespectral sozinha. As medidas de textura como entropia e momento diferencial inverso, aliadas à classificação multiespectral, melhoram a discriminação das áreas heterogêneas em 5,8% em florestas de quatro anos, em 12,5% em florestas de um ano e em 19,2% em áreas não florestadas.

O resultado da classificação 5 (cl.5), que considerou para tanto as três primeiras componentes principais, originadas de três bandas texturais – homogeneidade, contraste e entropia, na banda 3 mais as bandas 3, 4 e 5, foi inferior àquele obtido nas outras entradas para classificação (vide Tabelas 14 e 15). Comparando a imagem resultante da classificação 4 com aquela da classificação 1, verificou-se que classes como, Solo Agrícola, Área Urbana, Estéril, Corpos d'água (Rio), Eucalipto e Floresta Nativa Secundária, de forma geral, ocupam áreas, e inclusive alguns locais, diferentes nas duas imagens classificadas. O Rio, na sua maioria, foi classificado como Solo Agrícola e a confusão Área Urbana/Solo Agrícola foi muito maior que na primeira classificação. As outras duas entradas para classificação, conforme mostrado nas duas últimas colunas da tabela 14, não melhoraram o desempenho do classificador para as classes analisadas.

As classes Eucalipto, Banana, Estéril e Lagoa foram pior discriminadas sempre que se utilizaram medidas de textura; em contrapartida, as classes Floresta Nativa e Eucalipto Jovem foram mais bem discriminadas pelo classificador. Os resultados obtidos por FRANKLIN e PEDDLE (1990) no mapeamento da cobertura utilizando matrizes de co-ocorrência espacial e medidas estatísticas da textura na classificação de imagens do sensor SPOT também apontaram melhoria na classificação de alguns tipos de uso, mas em outros isso não ocorreu. A exatidão média obtida para a classificação foi de 51% quando utilizaram somente a classificação espectral, e 86,37% quando somaram à classificação espectral a entropia medida na banda 2 e o momento diferencial inverso na banda 3. Os autores observaram que as classes homogêneas na superfície foram caracterizadas adequadamente com a classificação espectral sozinha, enquanto as classes de padrões mistos de vegetação ou de relevo acidentado foram caracterizadas com mais acurácia quando foi utilizada a análise textural junto à espectral. Dentro de diferentes tipos de florestas a contribuição da análise textural também foi diferenciada, mostrando-se mais eficaz na caracterização da floresta decídua (98%) e de coníferas adultas (72%) que nas áreas de capoeira (58%).

As observações efetuadas e a análise visual das imagens classificadas considerando cada entrada mostraram que as classificações 1 e 4 foram aquelas que apresentaram melhor desempenho do classificador. Dessa forma, decidiu-se utilizar para a análise temporal, no método de pós-classificação, a imagem classificada resultante da análise multiespectral de todas as bandas (bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7). Assim, para a imagem de 1986, procedeu-se apenas à análise multiespectral de todas as bandas, economizando tempo de processamento.

A figura 52 mostra a imagem classificada de 1996, corrigida geometricamente.

TABELA 15 - EXATIDÃO EM CADA TIPO DE ENTRADA

CÓDIGO	TIPO DE ENTRADA	EXATIDÃO
cl. 1	Todas as bandas	95,79
cl. 2	Três primeiras componentes principais	92,30
cl. 3	Bandas 2, 4 e 5	91,88
cl. 4	Todas as bandas + três texturas na banda 3	95,93
cl. 5	Três comp. princip. originadas das bandas 3, 4 e 5 + três texturas na banda 3	85,62
cl. 6	Bandas 4 e 5 + contraste na banda 3	84,31
cl. 7	Bandas 4 e 5 + homogeneidade na banda 3	84,89

#### 5.5.3.1 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM TM DE 1986

As áreas amostrais definidas sobre a composição colorida 5R, 4G e 2B apresentaram as assinaturas espectrais para cada classe de uso do solo, conforme ilustrado no gráfico da figura 50.



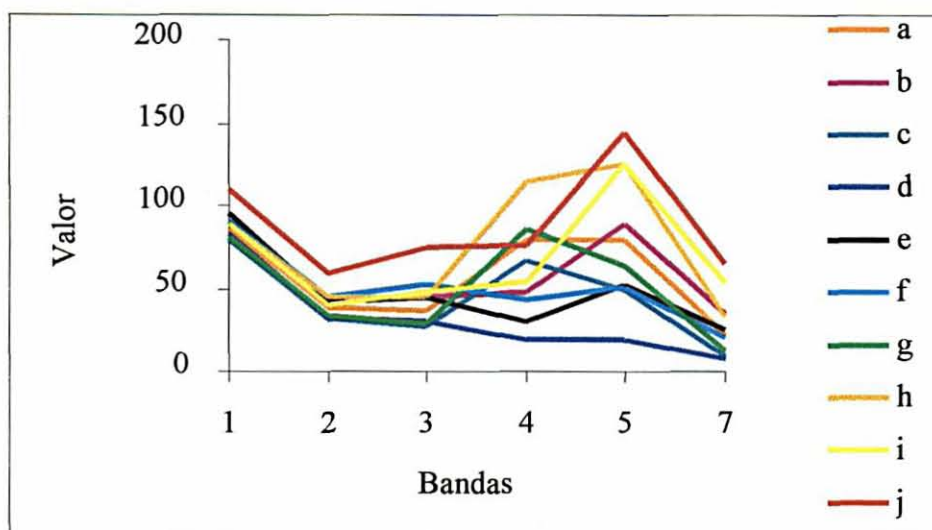


FIGURA 50 - ASSINATURA ESPECTRAL DAS ÁREAS AMOSTRAIS DA IMAGEM TM DE 1986

Onde: a = Banana ; b = Estéril; c = Eucalipto; d = Lagoas Ácidas; e = rejeito, f= Rio; g = Floresta Nativa Secundária; h = Pastagem; i = Solo Agrícola; j = Área Urbana.

A exatidão da classificação da imagem de 1986 considerando as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 foi de 94,407%. O desempenho do classificador é mostrado na Matriz de Confusão conforme a tabela 16, a seguir:

TABELA 16 - MATRIZ DE CONFUSÃO: DESEMPENHO DO CLASSIFICADOR PARA A ANÁLISE MULTIESPECTRAL DA IMAGEM TM DE 1986 (em %)

Classes	Verdade Terrestre									
	Pastagem	Flor. Nat. Secund.	Lagoas	Rios	Eucalipto	Banana	Rejeito	Estéril	Urbana	Solo Agríc.
Pastag.	11,85									
F. Nat. S.		11,56			1,14					
Lagoas			8,82	0,095			0,28			
Rios			0,38	7,109			0,28			
Eucalipto		0,85			10,24					
Banana		0,19				11,37				
Rejeito			0,28	0,190			6,45	0,10		
Estéril								11,00		
Urbana									5,21	1,04
Solo Agr.				0,095					0,66	10,81
Total	11,85	12,70	9,48	7,488	11,38	11,37	7,01	11,10	5,87	11,85

Os resultados da classificação da imagem de 1986 mostraram que, a exemplo da imagem de 1996, permaneceu confusão entre as classes Área Urbana e Solo Agrícola descoberto; a classe Floresta Nativa Secundária foi confundida em alguns locais com as classes Eucalipto e Banana (conforme apontado na matriz confusão da tabela 16). Tal qual a classificação de 1996, as sombras do relevo foram classificadas como Eucalipto. A imagem classificada, corrigida geometricamente, consta na figura 51.

#### 5.5.3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A CLASSIFICAÇÃO DIGITAL

Os bons resultados das classificações das imagens TM são frutos de intenso trabalho de campo e de fotointerpretação, considerando aerofotos de diversas datas. Este fato foi determinante na escolha das amostras de cada classe, o que realça a necessidade de trabalho de campo para o reconhecimento da área para se ter êxito na classificação digital.

As confusões (erros por comissão e omissão) estabelecidas em cada classe são inerentes ao poder de resolução espacial do sensor, que é de 30 m. Nesta área é comum uma mistura de vegetação nativa em diversos estágios de regeneração com eucaliptos, ou pequenos lotes de banana. A confusão de Área Urbana com Solo Agrícola descoberto tem razão de ser, devido à cidade ser pequena e, por isso, conter muitos terrenos baldios, além da cobertura das construções serem de telha de barro.



USO/COBERTURA DA TERRA EM 1986  
MICROBACIA DO RIO FIORITA

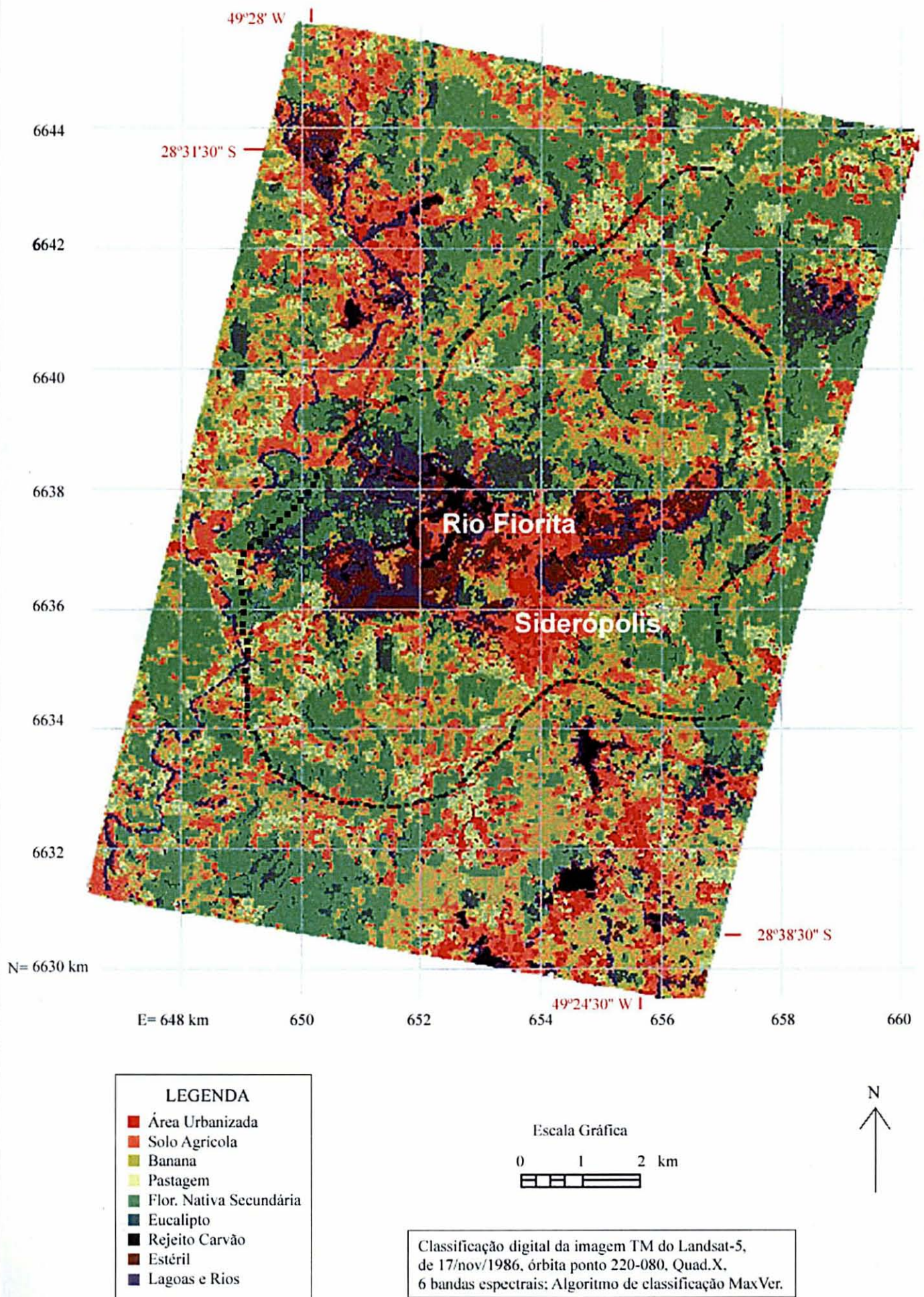
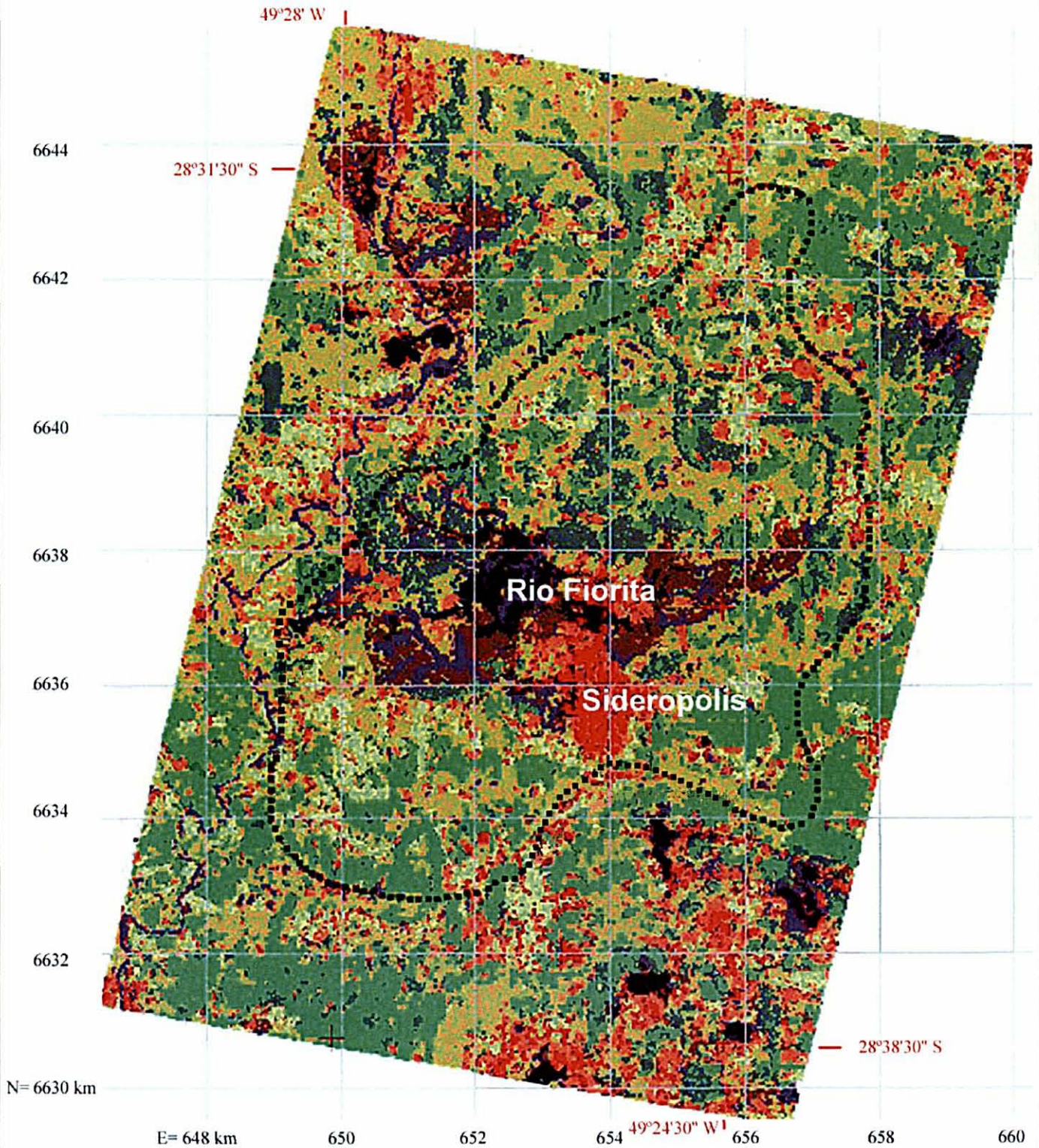


FIGURA 51 - CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DE 1986



USO/COBERTURA DA TERRA EM 1996  
MICROBACIA DO RIO FIORITA



- LEGENDA**
- Área Urbanizada
  - Solo Descoberto
  - Banana
  - Pastagem
  - Flor. Nativa Secundária
  - Eucalipto
  - Eucalipto Jovem
  - Rejeito Carvão
  - Estéril
  - Lagoas e Rios



Classificação digital da imagem TM do Landsat-5, de 12/nov/1996, órbita ponto 220-080, Quad.X, 6 bandas espectrais; Algoritmo de classificação MaxVer.

FIGURA 52 - CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DE 1996

### 5.5.3.3 ANÁLISE TEMPORAL NO SIG

Os mapas de uso e cobertura da terra obtidos na classificação das imagens TM de 1986 e 1996 foram vetorizados automaticamente no programa ENVI e transformados para o formato DXF, visando à entrada dos dados no ArcView.

Os dados vetoriais dos dois mapas foram estruturados no ArcView Spatial Analyst de forma a possibilitar o cruzamento dos dados para verificar as mudanças temporais; o resultado desse cruzamento consta na figura 53.

Uma inspeção visual no mapa das mudanças temporais (Figura 53) deixa perceber que as maiores mudanças ocorreram ao norte, principalmente com áreas agrícolas. As grandes áreas agropecuárias marcadas no mapa de mudanças são, na realidade, bananais, que com o tempo expandiram-se para o norte e atualmente fazem parte da paisagem rural local, representando o principal produto agrícola do município.

Dentro dos limites da microbacia, as mudanças marcantes aconteceram com maior intensidade do centro para o norte. No centro, na área minerada (representada em marrom), as mudanças ocorreram principalmente pelo aumento das áreas com rejeito entre os dois núcleos urbanos e a nordeste de Siderópolis. O aumento da área de exploração carbonífera foi pequeno e ocorreu à leste de Fiorita.

Com relação à área urbana, as mudanças temporais aconteceram pela densificação das edificações.

Ao sul da bacia as mudanças ocorreram pelo aumento de áreas com vegetação nativa, refletindo o abandono das áreas agrícolas e conseqüente êxodo rural no município.



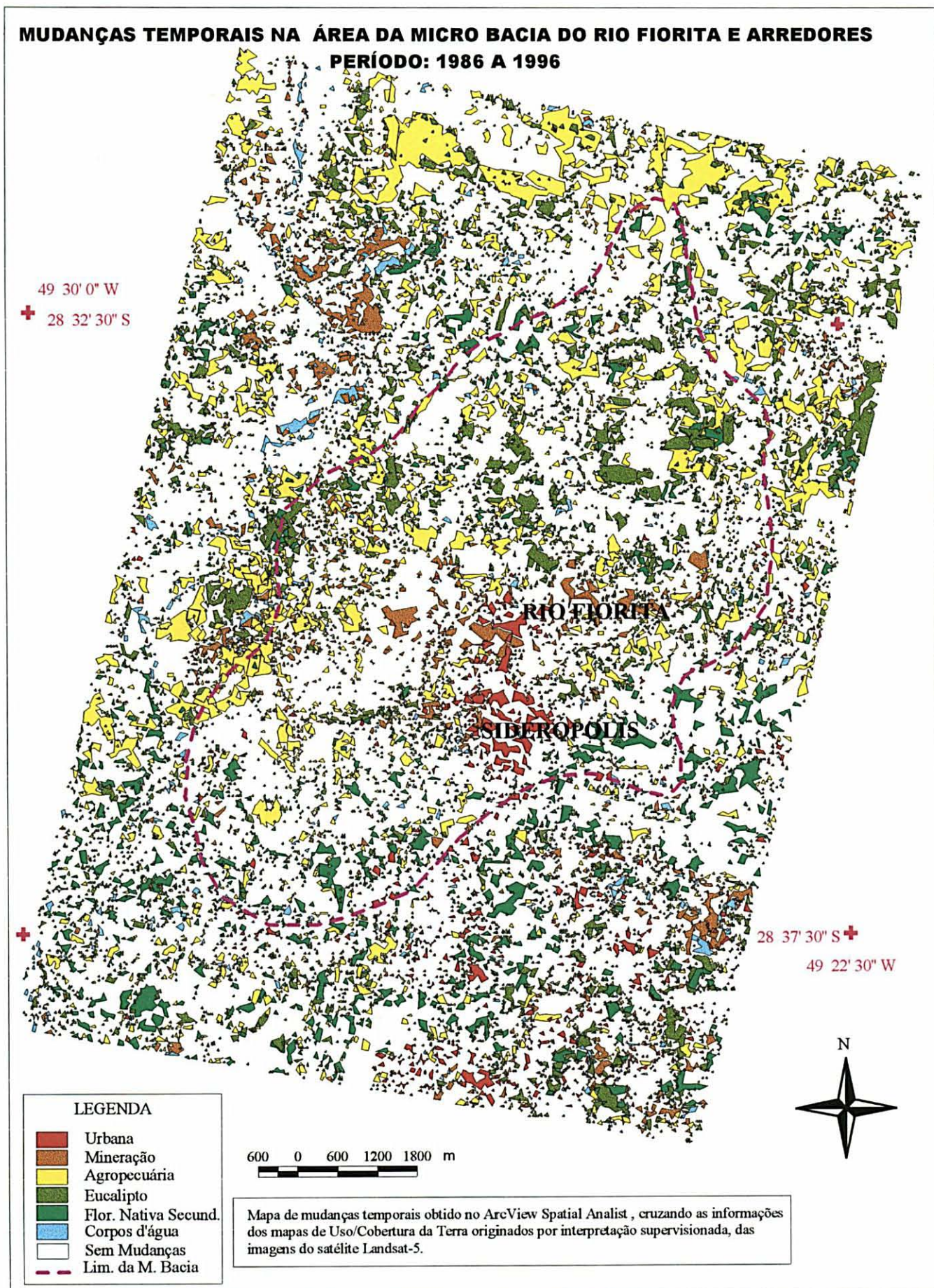


FIGURA 53 - MUDANÇAS TEMPORAIS MÉTODO DA PÓS-CLASSIFICAÇÃO.



#### 5.5.4 COMPARAÇÃO DOS TRÊS MÉTODOS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS TEMPORAIS

As principais vantagens do método de superposição de imagens são a simplicidade e a rapidez de execução. Basta apenas que se faça a superposição de bandas. As cores realçadas facilitam a detecção das mudanças.

Uma grande desvantagem desse método é não indicar diretamente a natureza das mudanças temporais. Somente pode ser observado que a terra estava coberta por vegetação e, posteriormente, aparece descoberta, ou vice-versa, mas não se sabe exatamente o que mudou. Por exemplo: pastagem em 1986 para eucalipto em 1996? Para chegar a este tipo de detalhamento é preciso ter conhecimento detalhado de campo; caso contrário, apenas se terá uma idéia da dinâmica do local.

O método de detecção de mudanças temporais pela PCAS exige muito mais trabalho de processamento de imagens que o de superposição de imagens. Ainda permanece desconhecida a natureza das mudanças ocorridas, porque os resultados mostram somente se houve acréscimo ou decréscimo da vegetação.

Outra desvantagem do método PCAS é que ele não detecta a mudança se a biomassa continua a mesma, apesar da mudança de uso. Um exemplo é a mudança ocorrida em uma área ao norte da imagem, que, em 1986, apresentava floresta nativa secundária e, em 1996, estava sendo usada para bananal. No método de pós-classificação esse tipo de mudança é detectado.

Entretanto, o método PCAS facilita a visualização das mudanças temporais quando comparado ao método da superposição de imagens, principalmente se for aplicada a técnica de realce das mudanças com cores, como foi efetuado. A principal vantagem desse método é a detecção do comportamento da biomassa, sendo, portanto, um método adequado para o monitoramento de áreas degradadas pela mineração. Os exemplos mostrados na figura 48 comprovaram a eficiência do método. Outra vantagem desse método é o tempo gasto para sua execução, que é bem menor que aquele despendido pelo método de pós-classificação.

Fazendo uma comparação do tempo de trabalho para se obterem os mapas das mudanças temporais em cada um dos métodos, considerando uma variação de 1 a 500, por exemplo, verificou-se que:

- a) Método da superposição de imagens → tempo gasto = 1
- b) Método PCAS → tempo gasto = 50
- c) Método da pós-classificação → tempo gasto = 500

O método da pós-classificação deve ser utilizado na detecção de mudanças temporais quando for necessário conhecer a natureza das transformações. É um método de execução demorada, pois, como o próprio nome diz, é preciso primeiro classificar as imagens e depois confrontá-las em um sistema de informações geográficas para se obter o mapa das transformações temporais. O resultado das mudanças depende, portanto, do resultado das classificações.

As possíveis fontes de erros na análise multitemporal considerando os três métodos aplicados são derivadas principalmente da resolução espacial das imagens Landsat TM. A escolha das imagens foi efetuada com data próxima ao aniversário da primeira, conforme recomendado por JENSEN (1986); portanto, a questão da sazonalidade e variações da luminosidade foram minimizadas. O registro e a correção geométrica das imagens foram efetuados com sucesso (menos de 0,5 pixel de erro – vide Tabela 11), considerando a área da bacia hidrográfica. Além disso, o conhecimento detalhado da área foi fator decisivo para o sucesso da análise multitemporal em qualquer um dos três métodos.

## **5.6 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS DO CASI**

### **5.6.1 COMPARAÇÃO DAS BANDAS ESPECTRAIS DO CASI COM TM**

A figura 54 mostra a localização de cada banda espectral dos sensores Landsat 5 TM e CASI dentro de um esquema ilustrativo do espectro eletromagnético. Analisando a figura, percebe-se que a banda 1 do CASI está inserida numa pequena “janela espectral” dentro da

banda 1 do TM (azul); o mesmo acontece com a banda 2 (verde) de ambos os sensores. As faixas estreitas de cada banda do CASI têm a finalidade de discriminar assinaturas espectrais para elementos específicos no terreno, fato que não acontece com as bandas das imagens TM, devido à largura da faixa espectral, a qual acaba englobando várias outras feições.

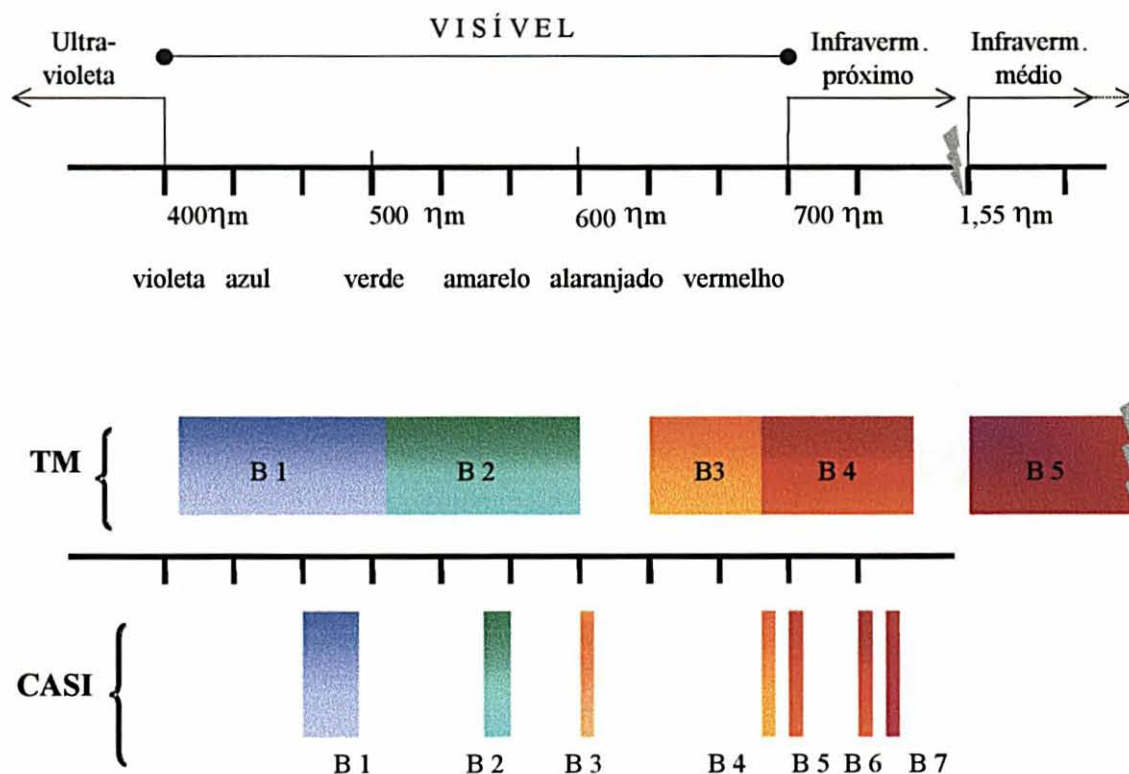


FIGURA 54 - COMPARAÇÃO DAS BANDAS DO LANDSAT-5 TM COM AS BANDAS DETERMINADAS PARA IMAGEAMENTO DO CASI NO PROJETO PRÓ-VIDA.

Para a banda 3 do CASI não se vê correspondência com as bandas do TM. Ela está no limite espectral alaranjado. As outras bandas do CASI estão contidas na banda 4 do TM, mas a banda 4 do CASI ainda está mais para vermelho do que para o infravermelho próximo, o que define 4 bandas imageadas no espectro visível. Segundo MAH e PREOSCK (s.d.), essas bandas (as mesmas usadas para a discriminação da acácia negra) foram programadas na região de pico da vegetação verde, de boa absorção da clorofila, e vegetação na borda do vermelho e do infravermelho próximo.

### 5.6.2 ANÁLISE DAS IMAGENS DAS FAIXAS 3 E 4 DO CASI

A análise dos dados estatísticos das sete bandas das faixas 3 e 4 do sensor CASI, apresentados nas tabelas 23 e 24 dos anexos, conduziu às seguintes conclusões:

1. as médias dos valores de brilho das quatro bandas do visível mostram valores baixos (vide Figuras 55 e 56), fato que ratifica o comportamento da vegetação em relação à reflectância e aos fatores de absorção na faixa espectral do visível. A banda 4 (678,4 - 682,0 nm) apresenta uma sensível redução da média devido à absorção da radiação incidente, pela clorofila. Na banda 2 (548,4 - 555,5 nm) ocorre um aumento da média devido à reflectância do verde da vegetação (vide gráfico das Figuras 55 e 56);
2. as bandas 6 e 7, devido ao alto coeficiente de correlação, mostram maior redundância de informações, seguidas das bandas 3 e 4, também com alto coeficiente de correlação;
3. as bandas 3 e 6 da faixa 3 e da faixa 4 apresentaram menor coeficiente de correlação que as outras bandas, fato indicativo de que uma dessas bandas contém algum tipo de informação não encontrado na outra;
4. a banda 5, apesar de fazer parte da região espectral do infravermelho próximo, apresenta maior correlação com as bandas do visível do que com as outras bandas do infravermelho;

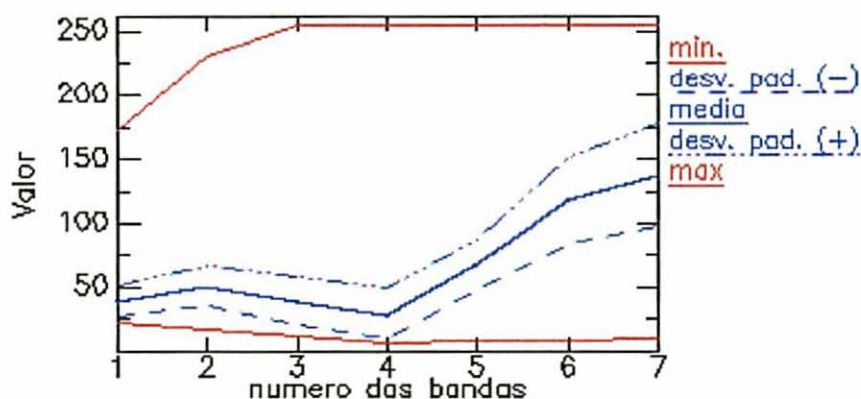


FIGURA 55 - ESQUEMATIZAÇÃO GRÁFICA DAS MÉDIAS DOS DESVIOS DOS VALORES DE BRILHO E VALOR MÁXIMO E MÍNIMO PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 3 DO CASI



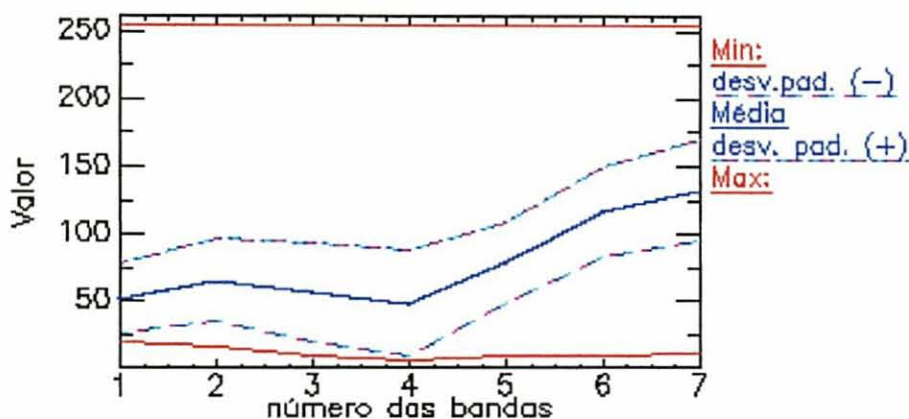


FIGURA 56 - ESQUEMATIZAÇÃO GRÁFICA DAS MÉDIAS, DOS DESVIOS DOS VALORES DE BRILHO E VALOR MÁXIMO E MÍNIMO PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 4 DO CASI.

Diversas composições coloridas foram dispostas na tela do monitor, depois das bandas terem sido realçadas linearmente, para se analisarem aquelas que proporcionavam uma melhor visualização dos diferentes alvos da superfície.

Na análise das faixas dispostas na tela lado a lado, verificou-se que elas apresentavam uma aparência distinta; a faixa 3 apresentava uma aparência mais clara que a faixa 4, fato evidenciado quando se compararam os mesmos alvos na área de superposição entre as faixas. Além disso, o deslocamento dos alvos na superfície terrestre comportou-se diferentemente de uma faixa para outra. Tal fato deve ser derivado da visada do sensor, pois, conforme o relatório de vôo, a faixa 4 foi voada no sentido S-N das 10h24min às 10h29min, e a faixa 3 foi voada no sentido contrário, entre 10h41min e 10h47min.

O horário do vôo também não foi o mais adequado. Apesar de as fotos terem sido tomadas no último mês da primavera, o local está numa latitude de aproximadamente  $29^{\circ}$ , fato que mostra um ângulo solar acentuado ( $53^{\circ}$  no dia 17 de novembro), agravado pela hora de tomada, a qual deveria ser próxima ao meio-dia, para diminuir as sombras devido ao relevo e aos alvos imageados. A figura 57 mostra uma composição colorida das bandas 7R, 4G e 2B das duas faixas do CASI utilizadas nesta pesquisa, as quais têm aspecto semelhante à fotografia infravermelho falsa-cor. Essa composição foi utilizada para delimitar visualmente as áreas amostrais de cada classe na tela do monitor.





FIGURA 57 - COMPOSIÇÃO COLORIDA NAS BANDAS 7(R), 4(G) E 2(B), DAS FAIXAS DE VÔO 3 E 4 DO CASI NA ÁREA DO PROJETO PRÓ-VIDA.



### 5.6.3 CLASSIFICAÇÃO DAS FAIXAS DO CASI

Cada faixa do CASI foi classificada individualmente, utilizando o algoritmo de classificação MaxVer e as 4 primeiras componentes principais das 7 bandas do CASI. Para tanto, definiram-se primeiramente as classes existentes em cada faixa, com base no conhecimento da área e na fotointerpretação realizada com as fotografias aéreas e também na classificação das imagens de satélite.

A faixa 3 foi classificada primeiro com 12 classes, depois com 13, depois com 15 e finalmente com 14 classes, sempre tentando melhorar as classes de vegetação. Na primeira tentativa de classificação o reflorestamento de eucalipto foi selecionado como uma única classe, sendo posteriormente subdividido em mais duas. Na tentativa de diminuir a confusão entre a classe Eucalipto e a classe Floresta Nativa Secundária misturada com Eucalipto, optou-se por utilizar um recurso do programa denominado *minimum noise fraction*, para depois extrair pixels espectralmente puros (*pixel purity index*) e visualizar estes pixels em 3D (três dimensões) para redefinir as classes de interesse. O uso desses recursos melhorou a distinção destas classes, mas ainda não satisfatoriamente, como se poderá verificar na matriz de confusão da classificação desta faixa na tabela 17.

Para a classificação da faixa 4 foram definidas basicamente as mesmas classes da faixa 3, com a inserção da classe Rejeito, a qual não existia na faixa 3. As classes Capoeirão, Eucalipto Jovem e Cultivo não existem na faixa 4, por isso o número de classes finais para essa faixa foi de 12. As tabelas 21 e 22 dos anexos contêm a estatística de cada área amostral, em cada uma das faixas de imagem, considerando as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do CASI.

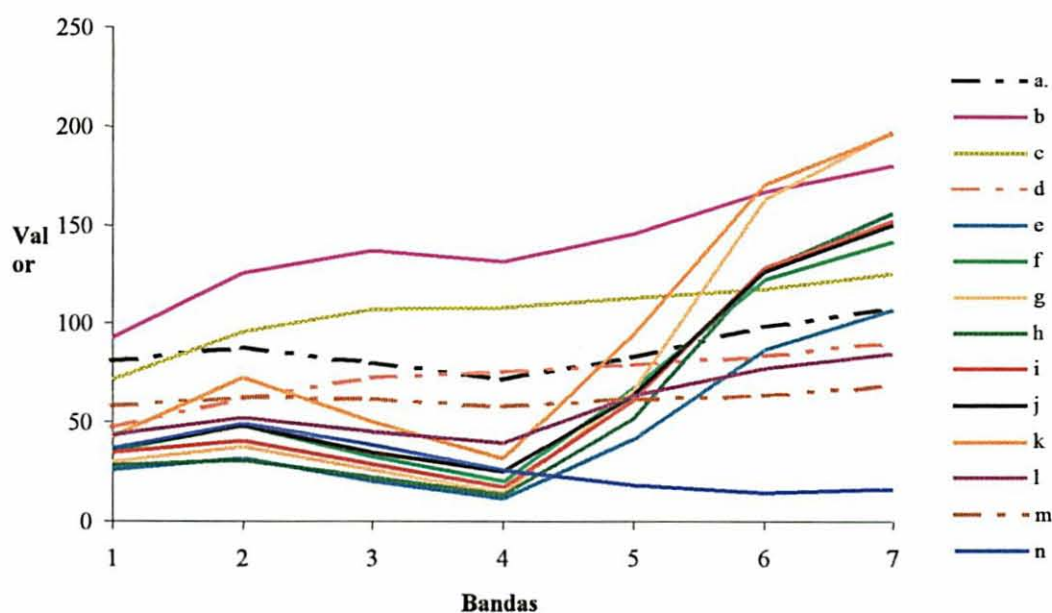


FIGURA 58: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELA MÉDIA DOS VALORES DE BRILHO DA FAIXA 3 DO CASI

Onde : a = Estradas Asfaltadas; b = Vias de Acesso; c = Solo Descoberto; d = Cultivo; e = Capoeirão; f = Capoeira; g = Eucalipto; h = Eucalipto Jovem; i = Floresta Nativa e Eucalipto; j = Banana; k = Pastagem; l = Estéril com Vegetação; m = Estéril; n = Lagoas.

#### 5.6.3.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA MATRIZ CONFUSÃO E INSPEÇÃO VISUAL DA CLASSIFICAÇÃO DA FAIXA 3

Os resultados da matriz confusão (Tabela 17) para a faixa 3 apontam que 95% do uso do solo foi classificado corretamente, mas verifica-se que a classe Capoeira apresentou apenas 85,21% da classificação correta, aparecendo confundida com as classes Pastagem, Banana e Floresta Nativa com Eucalipto, permanecendo 14% de omissão. Tal fato deve ser devido às bandas do visível apresentarem valores de cinza, das médias, muito próximos para essas classes, como pode ser observado no gráfico das assinaturas espectrais (vide Figura 58).

O gráfico da figura 58 mostra um resumo da estatística das áreas amostrais da faixa 3 (a estatística consta nos anexos, no quadro 4), onde se verifica que a média das assinaturas

espectrais das classes de Cobertura Florestal e Banana apresentou comportamento espectral semelhante, principalmente nas bandas do espectro visível. Esse fato justifica a confusão apresentada na classificação da vegetação para essa faixa. Foram classificadas com 100% de acerto apenas as classes Pastagem, Vias de Acesso e Solo Descoberto; mesmo assim, existe uma pequena percentagem de comissão nestas classes. A faixa classificada está na figura 59.

Inspecionando visualmente o resultado da classificação, verificou-se como as classes resultantes da classificação digital se comportavam em relação às classes delimitadas na fotointerpretação das fotos aéreas da mesma data, as quais serviram de verdade terrestre para a classificação. Nesta inspeção verificou-se que:

1. as duas classes de eucalipto foram bem discriminadas. Isso deve ser devido a uma ser de eucalipto mais jovem e a outra de eucalipto na fase adulta;
2. em algumas áreas a classe Eucalipto apresentou confusão com a classe Capoeirão e a classe Floresta Nativa com Eucalipto, fato provavelmente acentuado pelo fator sombra das copas das árvores e do relevo;
3. nas áreas de pastagem ou de cultivo o fator sombra do relevo fez com que houvesse uma classificação incorreta de alguns locais, como sendo revestidos com asfalto;
4. em alguns locais da área rural, o solo descoberto apresentou características semelhantes às de rejeito; tendo a mesma resposta espectral desta classe, foi incluído nela;
5. as áreas com estéril da mineração a céu aberto (abandonadas) foram bem discriminadas, assim como as áreas com bananal.

Para visualizar as constatações feitas, é só verificar os alvos demarcados na composição colorida da figura 59.



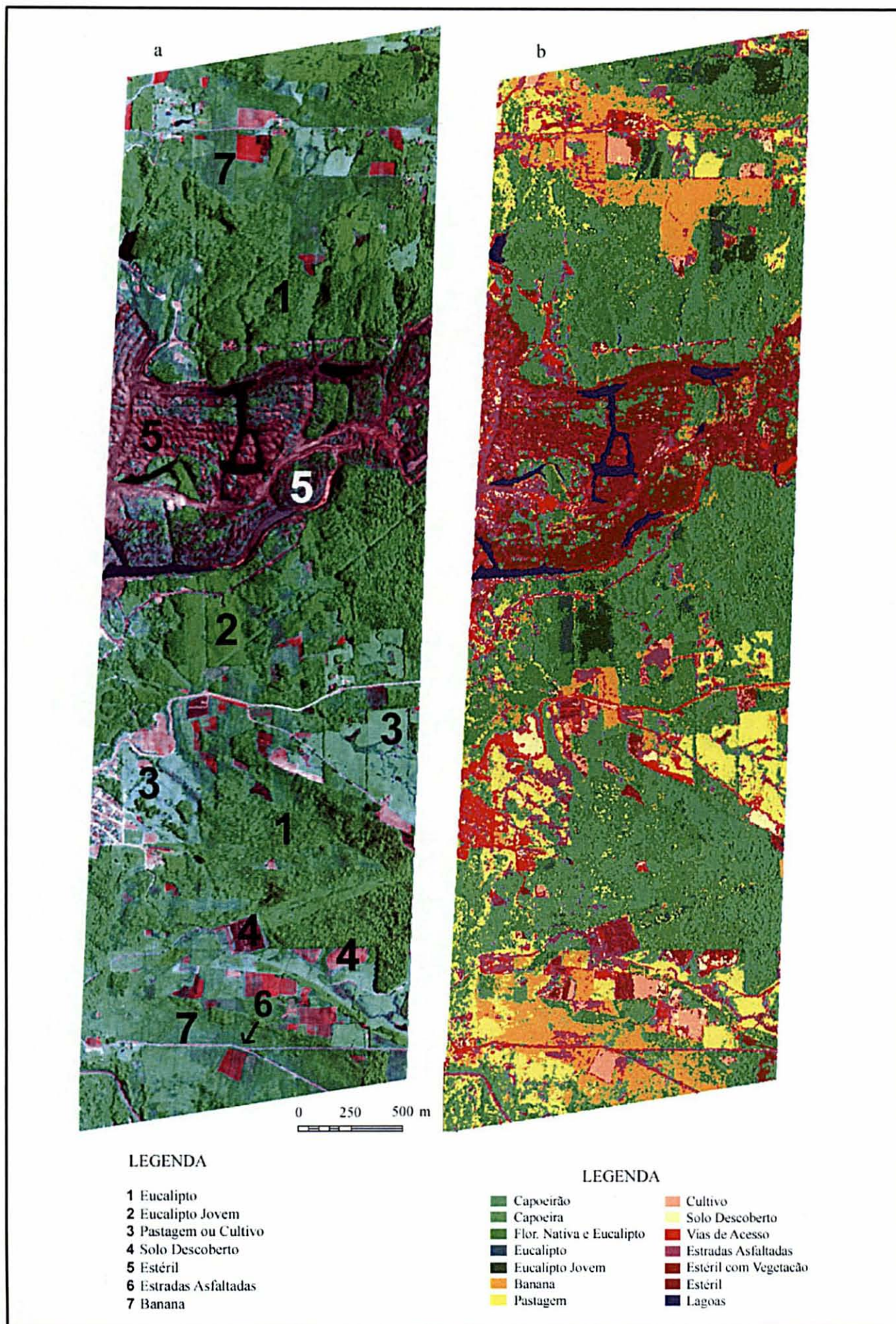


FIGURA 59 - FAIXA 3 DO CASI : a - COMPOSIÇÃO COLORIDA NAS BANDAS 4(R), 7(G) E 2(B); b - IMAGEM CLASSIFICADA.

TABELA 17- MATRIZ CONFUSÃO MOSTRANDO O RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA FAIXA 3 DO CASI  
(em percentagem)

Classes	Verdade Terrestre													
	Cultivo	Pastagem	Capoeira	Capoeirão	Banana	Estéril	Lagoas	Eucalipto	Vias de Acesso	Estéril/ Vegetaç.	Solo Descob.	Eucalipto Jovem	Flor. Nat. e Eucalip.	Estrada Asfaltada
Cultivo	6,965													
Pastagem		7,227	0,066											
Capoeira			6,439		0,066									
Capoeirão				6,965									0,263	
Banana			0,526		8,213							0,197	0,066	
Estéril						6,373	0,066			0,394			0,131	
Lagoas							8,410							
Eucalipto				0,131				6,176						
Vias Acesso	0,066								7,162			0,263		
Est./Veget.						0,591				6,833	7,096			0,066
Solo Descob.	0,197												0,066	
Euc. Jovem				0,263				0,066				7,424	6,242	
Fl. Nat./Euc.			0,526	0,066	0,394									
Est. Asfalt.														4,008
Total	7,227	7,227	7,556	7,424	8,673	6,956	8,476	6,242	7,162	7,227	7,096	7,884	6,767	4,074

Classe	Comissão (%)	Omissão (%)	Exatidão (%)	Classe	Comissão (%)	Omissão (%)	Exatidão (%)
Eucalipto	0,000	3,636	96,364	Eucalipto	6,316	1,053	98,947
Cultivo	0,909	0,000	100,000	Vias Acesso	0,917	0,000	100,000
Pastagem	4,348	14,783	85,217	Estéril/ Veget.	8,182	5,455	94,545
Capoeira	3,540	6,195	93,805	Solo Descob.	3,704	0,000	100,000
Capoeirão	7,576	5,303	94,697	Eucalip. Jovem	5,000	5,833	94,167
Banana	6,604	8,491	91,509	Flor. Nat. e Euc.	14,563	7,767	92,233
Estéril	0,000	0,775	99,225	Estr. Asfaltada	0,000	1,613	98,387
Lagoas							

Exatidão = 95,5322%



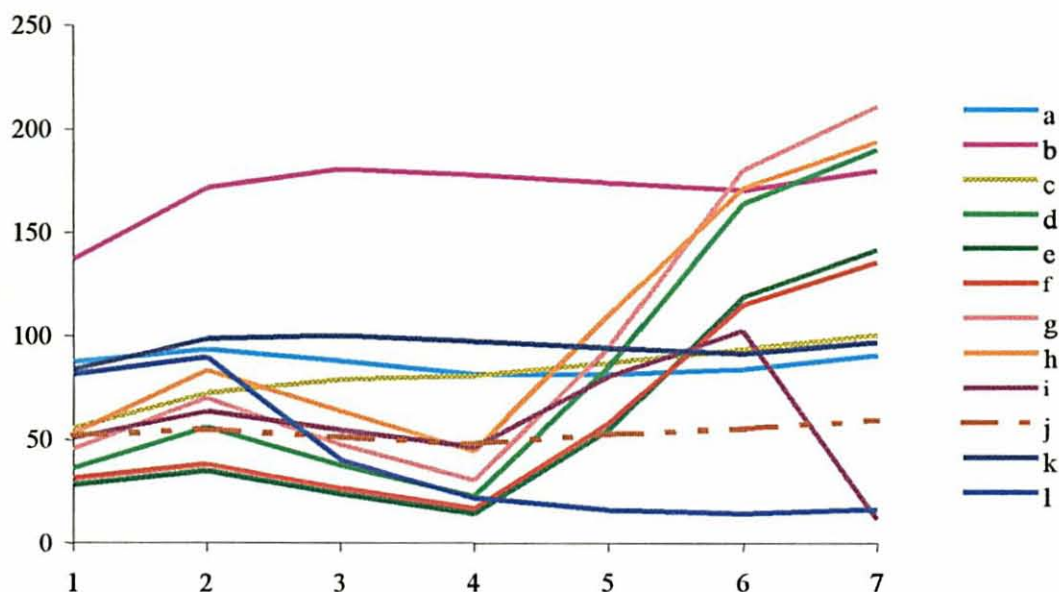


FIGURA 60: GRÁFICO DE COMPARAÇÃO DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS PELA MÉDIAS DOS VALORES DE BRILHO NA FAIXA 4 DO CASI.

Onde: a = Estradas Asfaltadas; b = Vias de Acesso; c = Solo Descoberto; d = Capoeira; e = Eucalipto; f = Floresta Nativa e Eucalipto; g = Banana; h = Pastagem; i = Estéril com Vegetação; j = Estéril; k = Rejeito; l = Lagoas.

### 5.6.3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA MATRIZ CONFUSÃO E INSPEÇÃO VISUAL DA CLASSIFICAÇÃO DA FAIXA 4

A classificação da cobertura da terra desta faixa apresentou melhor resultado que a classificação da faixa 3; obteve-se 97,87% de exatidão.

Observando a matriz confusão na tabela 18, verificou-se que a baixa exatidão da classe Floresta Nativa com Eucalipto (86,08%) é resultado da homogeneidade entre as assinaturas espectrais destas classes, conforme se pode verificar na figura 60. O sensor não conseguiu discriminar as duas classes, pois elas têm valores de brilho muito próximos (vide Tabela 22 nos anexos).



Verificando o resultado da matriz confusão, percebeu-se que seis classes foram classificadas com 100% de exatidão e, mesmo assim, em três delas, Banana, Estéril e Estrada Asfaltada, permanecem erros de comissão. Inspeccionando visualmente a imagem classificada (vide Figura 61) e comparando-a às fotografias aéreas da mesma data, que serviram como verdade terrestre para a classificação, verificou-se que:

1. a confusão entre as classes Eucalipto e Floresta Nativa com Eucalipto é evidente: a maioria das áreas foram classificadas como Nativa com Eucalipto, onde, na verdade é Eucalipto;
2. as classes Estéril e Estéril com Vegetação apareceram dentro da cidade, onde o solo urbano tem aparência semelhante a essas classes.
3. a classe Vias de Acesso, denominação dada às ruas sem revestimento, incluiu as edificações nessa classe, porque a cobertura de telha de barro mostra a mesma resposta espectral;
4. a classe Estrada Asfaltada apareceu também nas áreas de exploração carbonífera a céu aberto, na estrada de ferro e em locais que se pressupõem que tivessem rejeitos de carvão espalhados;
5. a classe Rejeito, apesar de ser classificada com 100% de exatidão, segundo matriz confusão, não foi bem discriminada pelo sensor. Os locais onde o rejeito foi espalhado, ou estava em montículos, foram classificados, na sua maioria, como Estradas Asfaltadas. Provavelmente essa confusão seja devido ao grau de umidade do rejeito;
6. a classe Solo Descoberto apareceu também em áreas de rejeito, onde o solo apresentou característica idêntica à desta classe.

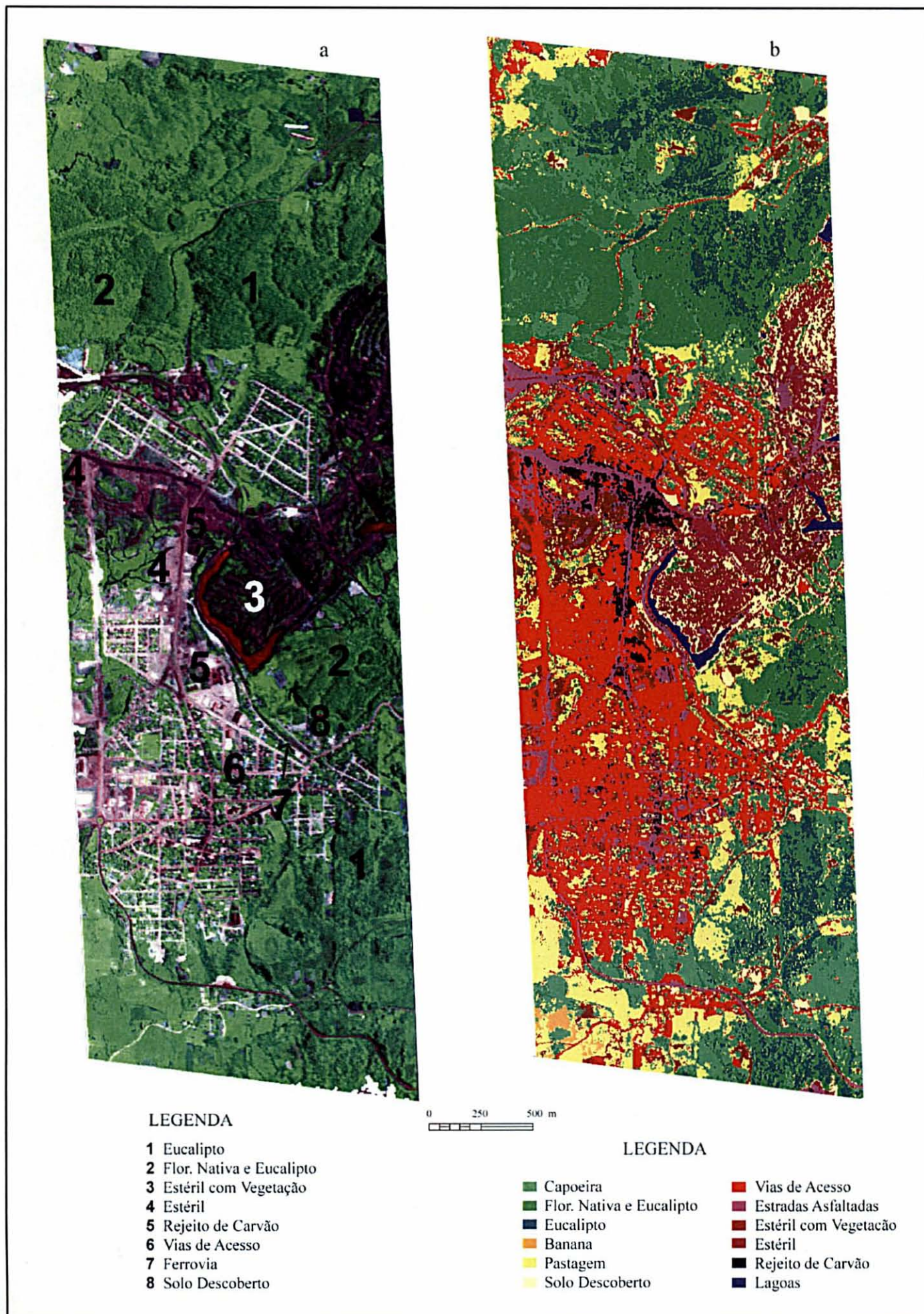


FIGURA 61 - FAIXA 4 DO CASI : a - COMPOSIÇÃO COLORIDA NAS BANDAS 4(R), 7(G) E 2(B); b - IMAGEM CLASSIFICADA.

TABELA 18 - MATRIZ CONFUSÃO MOSTRANDO O RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO DA FAIXA 4 DO CASI  
(em porcentagem)

Classes	Verdade Terrestre											
	Flor. Nat. e Eucalipto	Pastagem	Capoeira	Banana	Estéril	Estér./Veg.	Rejeito	Estradas Asfaltadas	Vias de Acesso	Lagoas	Solo Descoberto	Eucalipto
Flor. Nat. e Euc.	7,540											0,381
Pastagem		8,149	0,152									
Capoeira		0,076	8,302									
Banana		0,152		8,987								
Estéril					8,987	0,076						
Estéril./Veget.						8,225						
Rejeito							6,550					
Estr. Asfaltadas								8,606	0,076			
Vias de Acesso									9,596			
Lagoas										8,682		
Solo Descoberto											5,484	
Eucalipto	1,219											8,759
Total	8,759	8,378	8,454	8,987	8,987	8,302	6,550	8,606	9,673	8,682	5,484	9,139

Classe	Comissão (%)	Omissão (%)	Exatidão (%)	Classe	Comissão (%)	Omissão (%)	Exatidão (%)
Flor. Nat. e Euc.	4,348	13,913	86,087	Rejeito	0,000	0,000	100,000
Pastagem	1,818	2,727	97,273	Estr. Asf.	0,885	0,000	100,000
Capoeira	0,901	1,802	98,198	Vias Acesso	0,000	0,787	99,213
Banana	1,695	0,000	100,000	Lagoas	0,000	0,000	100,000
Estéril	0,847	0,000	100,000	Solo Descob.	0,000	0,000	100,000
Estéril e Veg.	0,000	0,917	99,083	Eucalipto	13,333	4,167	95,833

Exatidão = 97.8675%



#### 5.6.4 CORREÇÃO GEOMÉTRICA E MOSAICAGEM

Para a correção geométrica da faixa 3 foram escolhidos 8 pontos homólogos na imagem, composição colorida 7R, 4G e 2B do CASI, e na base cartográfica na escala 1:10 000. Para a faixa 4 foram utilizados 10 pontos distribuídos na imagem de maneira o mais uniforme possível. Os problemas encontrados para fazer a correção geométrica das faixas do CASI foram, em síntese, os mesmos citados para a correção geométrica das aerofotos, sendo derivados principalmente da baixa qualidade do delineamento das feições da carta.

O modelo polinomial de primeiro grau considerado para a correção geométrica apontou um erro médio quadrático de 4,17 m para a faixa 3, e 4,55 m para a faixa 4, derivados dos erros dos pontos de apoio, conforme mostram as tabelas 19 e 20 a seguir.

TABELA 19 - CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA FAIXA 3 DO CASI

Pto	Mapa		Imagem		Erro (m)		EMQ (m)
	x	y	x	y	x	y	
1	655090,49	6837916,01	139,00	251,00	1,78	3,85	4,24
2	656134,72	6838949,45	470,00	91,00	-1,58	1,54	2,21
3	655437,33	6836205,82	274,00	592,00	3,29	-3,68	4,94
4	655995,08	6836167,11	457,00	615,00	-1,93	-2,36	3,05
5	655410,05	6834492,90	295,00	905,00	-2,29	5,70	6,15
6	654819,58	6835540,48	93,00	698,00	-1,17	-2,87	3,10
7	655056,80	6838986,83	117,00	52,00	-3,74	-0,37	3,76
8	655537,14	6837319,88	288,00	383,00	5,93	-1,81	6,20
9	655453,45	6835176,64	297,00	783,00	-0,29	-0,01	0,29

TABELA 20 - CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA FAIXA 4 DO CASI

Pto	Mapa		Imagem		Erro (m)		EMQ (m)
	x	y	x	y	x	y	
1	654482,98	6836982,89	430,00	1140,00	-2,80	4,55	5,34
2	654533,62	6834658,75	416,00	1648,00	-3,82	0,40	3,84
3	653984,29	6834555,23	246,00	1685,00	0,08	1,00	1,00
4	653435,94	6835341,33	91,00	1533,00	0,84	-2,83	2,95
5	653466,83	6836291,45	114,00	1322,00	-0,55	0,78	0,95
6	653366,75	6838405,21	113,00	867,00	-2,09	-0,98	2,31
7	654819,58	6835540,48	507,00	1451,00	2,40	-2,14	3,21
8	653875,51	6835712,37	224,00	1440,00	4,49	-2,56	5,17
9	654052,29	6838483,77	314,00	836,00	3,53	-5,89	6,87
10	653680,77	6837391,92	194,00	1070,00	-2,08	7,67	7,95

Conforme explicado na metodologia e mostrado nas tabelas 22 e 23, a correção geométrica foi efetuada considerando apenas as coordenadas  $x$  e  $y$ . Como a altimetria não foi considerada e o relevo é moderadamente acidentado, os erros de posicionamento das feições ainda persistem nas imagens. Estes erros podem ser visualizados facilmente no mosaico das duas faixas mostrado na figura 62.

#### 5.6.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A MOSAICAGEM DAS IMAGENS DO CASI

O processo de mosaicagem foi efetuado automaticamente pelo programa, precisando apenas que se definissem quais arquivos de imagens georreferenciadas seriam mosaicados. Analisando a figura 62, do mosaico de imagens das faixas 3 e 4 em composição colorida, percebe-se na ligação das faixas o problema de geometria que ainda permaneceu após a correção geométrica, mas, além disso, é conveniente chamar atenção para a diferente reflectância espectral da superfície terrestre em cada uma das faixas.

Como se pode perceber ao analisar a estatística das áreas amostrais de cada classe, a resposta espectral de um mesmo alvo foi diferente de uma faixa para outra. Esse fato contribuiu para aumentarem os problemas na ligação das faixas considerando as imagens classificadas, porque um mesmo alvo imageado uma vez em cada faixa foi classificado diferentemente em cada uma delas. Esse é o caso de todas as áreas com vegetação; não há uma continuidade da mesma classe de vegetação de uma faixa para outra. Além disso, há uma lacuna entre as faixas onde a superfície não foi imageada.



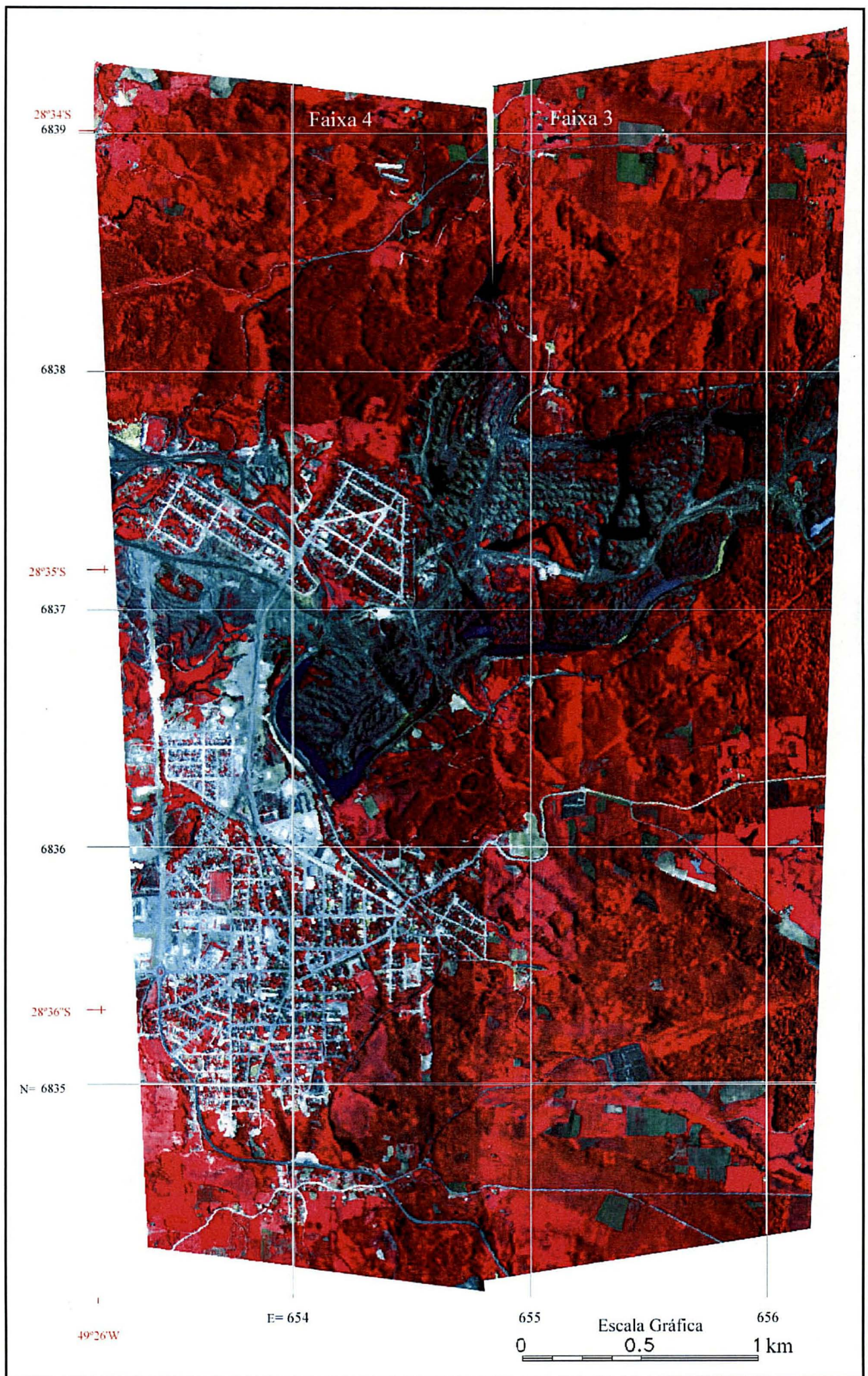


FIGURA 62 - MOSAICO DAS FAIXAS 3 E 4 DO CASI : COMPOSIÇÃO FALSA-COR DAS BANDAS 7(R), 4(G) E 2(B).



Nas publicações sobre o CASI nada se encontrou sobre problemas de reflectância espectral de um mesmo alvo na ligação das faixas do sensor considerando a classificação digital. Esse parece ser um problema inexistente nas imagens do CASI utilizadas por pesquisadores como MAH, KIRCHNER e PREOSK (1994), BLACKBURN e MILTON (1994), COSANDIER e CHAPMAN (1995), BRAGA FILHO (1995) e NADOLNI (1995). Entretanto, a resposta espectral diferente do mesmo alvo presente na área de superposição das faixas foi um dos problemas encontrados na classificação das imagens das áreas degradadas pela mineração na microbacia do rio Fiorita.

Um melhor resultado na classificação espectral dos alvos contidos na superposição das faixas de imagens do CASI seria possível se o vôo fosse executado num mesmo sentido para todas as faixas, isso, porque a topografia da área imageada é fortemente ondulada e a resolução espacial das imagens é grande, quando comparada àquela das imagens de satélite. Se o vôo fosse em um único sentido evitaria que o ângulo de visada do sensor executasse o imageamento de um alvo em posições opostas para duas faixas contíguas.

Na figura 63 são colocadas lado a lado duas faixas de imagens classificadas, podendo-se observar a área de superposição e os problemas de classificação diferente de um mesmo alvo.

#### 5.6.5 COMPARAÇÃO DO NÍVEL DE INFORMAÇÃO OBTIDO NAS IMAGENS DOS TRÊS SENSORES REMOTOS

A resolução espacial das imagens do sensor CASI propiciou uma classificação mais detalhada de uso/cobertura da terra, onde se obtiveram 15 classes diferentes, considerando as duas faixas de imagens, enquanto que com as imagens TM obtiveram-se 10 classes. A interpretação visual das aerofotos na escala 1: 25 000 forneceu em torno de 25 classes de cobertura da terra.

Nas imagens do CASI foi possível separar a vegetação nativa em duas classes: Capoeirão e Capoeira, enquanto que nas imagens TM isso foi impossível. Com a interpretação visual das aerofotos obtiveram-se quatro classes de vegetação nativa secundária: Capoeirão, Capoeira, Capoeirinha e Capoeira Rala.

As áreas agrícolas foram classificadas tanto nas imagens do CASI quanto nas TM com alguma confusão, apesar de se terem obtido duas subclasses: Pastagem e Solo Descoberto. Nas aerofotos optou-se por englobar as pastagens e áreas agrícolas em apenas uma única classe denominada de Agropecuária. O desempenho da classificação digital dos dois sensores para a classe Banana foi semelhante. Nas aerofotos essa classe foi de fácil discriminação visual.

A classe Eucalipto mais Vegetação Nativa Secundária não foi bem discriminada por nenhum dos sensores remotos digitais. A identificação desta mistura heterogênea de eucalipto e floresta nativa também foi relativamente difícil nas fotografias aéreas de escala média (1:25 000). Entretanto, com auxílio de aerofotos em escala maior (1:5 000), foi possível estabelecer uma chave de interpretação para essa classe.

O eucalipto foi classificado tanto na imagem TM como nas imagens CASI em duas classes: Eucalipto Jovem e Eucalipto (adulto), mas permaneceram em ambas alguma confusão destas classes com as classes Banana e Capoeira. Na interpretação das aerofotos distinguiram-se sete classes de eucalipto, inclusive duas espécies diferentes.

O solo urbano na classificação das imagens TM foi confundido com o solo descoberto da área rural. Nas imagens CASI as ruas sem revestimento na cidade e o solo limpo no meio rural foram classificados como uma única classe. Nas fotografias aéreas o traçado do arruamento e as edificações foram de fácil identificação, porém não foram delineadas porque este não era um alvo de interesse.

Sobre a área de mineração, obtiveram-se com o CASI, duas classes de Estéril e uma de rejeito, enquanto nas imagens TM obteve-se apenas uma classe de estéril e outra de rejeito. As áreas de deposição dos rejeitos da mineração foram em ambas as imagens classificadas com

alguns problemas. Nas fotografias aéreas obteve-se a discriminação detalhada em quatro classes: Rejeito, Estéril em Montes, Estéril Espalhado, e Mineração além de identificar o tipo de cobertura vegetal espontânea ou não dentro das áreas de mineração e de estéril.

Com relação ao tempo utilizado para se obterem os mapas de uso/cobertura da terra a partir dos três produtos de sensores, é difícil precisar horas de trabalho, porque elas envolveram também o domínio teórico e prático do conhecimento para escolher métodos adequados a cada caso. Além disso, para estabelecer uma relação temporal seria necessário que todos os mapas cobrissem a mesma área, fato não ocorrido, pois dos 55,4 km<sup>2</sup> da bacia hidrográfica mapeada pelas imagens TM só 22,06 km<sup>2</sup> da área foram analisados nas aerofotos; as imagens CASI mapearam apenas dois terços desta área. Entretanto, como era esperado, o trabalho com as fotografias aéreas tomou mais da metade do tempo despendido nesta pesquisa por causa da digitalização vetorial.

## **6 CONCLUSÕES**

### **6.1 SOBRE O BANCO DE DADOS**

A base cartográfica e o mapa de uso do solo formam a pedra fundamental para um banco de dados espaciais. Os outros dados espaciais, para fazerem parte do banco de dados, devem ser correlacionados a estes mapas.

Os dados cartográficos obtidos pela interpretação das imagens de três sensores remotos, fotografias aéreas, imagens do satélite Landsat e do sensor aerotransportável CASI, disponibilizados em meio digital, nesta pesquisa, compõem informações temáticas espaciais pioneiras de um banco de dados direcionado ao monitoramento do impacto ambiental da atividade de mineração e à gestão das áreas degradadas da Região Carbonífera de Santa Catarina.

Os mapas temáticos derivados das aerofotos forneceram informações detalhadas do uso da terra e das mudanças temporais, principalmente da cobertura vegetal. Os mapas de uso/cobertura da terra derivados da classificação digital das imagens de satélite, assim como o mapa das mudanças temporais, forneceram informações temáticas sinópticas da microbacia do rio Fiorita. Tais informações são essenciais para qualquer planejamento regional ou gestão ambiental, seja de áreas degradadas por mineração ou não.

A estruturação de dados temáticos espaciais de qualidade exige, antes de tudo, que se conheça bem a área de interesse e que se disponha de uma base cartográfica única, confiável e adequada à escala geográfica em análise. Além disso, é imprescindível domínio científico e prático em diversas áreas do conhecimento, principalmente de Cartografia, Informática e interpretação temática.

## 6.2 SOBRE OS RECURSOS DE GEOPROCESSAMENTO DISPONÍVEIS PARA ESTRUTURAR O BANCO DE DADOS GEOGRÁFICOS

A pesquisa envolveu seis softwares: MaxiCad (geração da base cartográfica), MicroStation e Descartes (digitalização e retificação dos *overlays* da fotointerpretação, respectivamente), ENVI (para a análise das imagens Landsat e do CASI), e ArcView Spatial Analyst (análise espacial multitemporal dos mapas de uso do solo). A migração de dados de um programa para o outro apresentou problemas de conversão, como, por exemplo, a deterioração de dados raster, a perda do georrefenciamento e a mudança de atributos na transformação dos formatos vetoriais. Portanto, a evolução computacional no que tange a formato de dados continua sendo um problema para os usuários, que precisam considerar as possibilidades no mercado e suas reais necessidades para escolher softwares adequados à geração e análise de dados espaciais.

A digitalização dos *overlays* foi efetuada com sucesso no Microstation, mas poderiam ser facilitadas se não houvesse problemas intrínsecos ao software no que diz respeito ao fechamento de polígonos. O software Descartes utilizado para a retificação das aerofotos, por desconsiderar as altitudes do terreno, não foi adequado para a geração de produtos cartográficos.

O SIG ArcView e o módulo Spatial Analyst mostraram-se eficazes na integração dos dados raster e vetoriais para a análise temporal. O programa de análise de imagens ENVI possui recursos para a pesquisa científica e prática na área de classificação de imagens de satélite e dos sensores hiperespectrais, entretanto a questão da vetorização automática dos dados raster e exportação de dados vetoriais precisa ser otimizada.

## 6.3 SOBRE A RETIFICAÇÃO DAS AEROFOTOS

A metodologia de retificação de aerofotos não se mostrou adequada para áreas com relevo ondulado como este, onde as altitudes variam de 100 a 300 m. Os fatores que contribuíram negativamente na retificação das aerofotos foram: a) má qualidade do delineamento



das feições da base cartográfica e as mudanças temporais acentuadas na paisagem, inclusive com alteração do relevo; b) dinâmica local com modificações profundas na paisagem, impedindo que se encontrassem pontos comuns bem distribuídos nas fotos de datas diferentes; e c) relevo acidentado.

A qualidade geométrica dos mapas temáticos obtidos na interpretação das fotografias aéreas retificadas é variável: nas áreas mais planas o resultado foi compatível com mapas da classe B ou C do padrão brasileiro de exatidão cartográfica (PEC). Entretanto, onde o relevo variava acentuadamente, os erros de posicionamento ultrapassaram aqueles permitidos no PEC.

#### **6.4 SOBRE A CHAVE DE FOTOINTERPRETAÇÃO E A ANÁLISE TEMPORAL DAS AEROFOTOS NO SIG**

A chave de fotointerpretação construída para a interpretação das aerofotos dos três anos mostrou-se eficaz para a identificação das diferentes classes de uso da terra, sendo útil, particularmente, na discriminação da cobertura vegetal nas áreas mineradas.

A análise da área degradada pela mineração e arredores, detectada na série histórica de aerofotos, mostrou que a área duplicou em tamanho no primeiro período analisado (1956-1978). No período seguinte, 1978 a 1996, apesar de a mineração continuar a se expandir para o Leste, o passivo foi ocupado por novos usos, principalmente pela expansão urbana. O agrupamento das 25 classes dos mapas de uso/cobertura da terra, resultante da fotointerpretação, segundo cinco temas dominantes na paisagem local (Mineração, Urbano, Agropecuária, Reflorestamento de Eucalipto e Vegetação Nativa Secundária), mostrou-se adequado às análises temporais no SIG e fundamental para a visualização espacial e entendimento das transformações temporais ao longo do período analisado. Além disso, esse agrupamento de classes contribuiu para amenizar erros na detecção das mudanças temporais, derivados da má qualidade geométrica dos mapas.

## 6.5 SOBRE A ANÁLISE TEMPORAL DAS IMAGENS LANDSAT TM

Os três métodos de análise das mudanças temporais (superposição de imagens, componentes principais seletivas e pós-classificação) no uso da terra da microbacia hidrográfica do rio Fiorita apresentaram resultados satisfatórios. A escolha de um ou de outro método para detectar as mudanças temporais dependerá da urgência em se obterem resultados e do tipo de resposta que se deseja: conhecer, ou não, a natureza das mudanças.

As principais vantagens do método de superposição de imagens são a simplicidade e a rapidez de execução. Uma grande desvantagem deste método é que ele não indica diretamente a natureza das mudanças temporais. Entretanto, o método das componentes principais seletivas facilita a visualização das mudanças temporais, se comparado ao método da superposição de imagens, principalmente depois de aplicar a técnica de realce das mudanças com cores. A principal vantagem desse método é a detecção do comportamento da biomassa, sendo, portanto, um método adequado para o monitoramento de áreas degradadas pela mineração.

O método da pós-classificação deve ser utilizado na detecção de mudanças temporais quando for necessário conhecer a natureza das transformações. É um método de execução demorada, onde a qualidade do mapa das mudanças depende da exatidão da classificação das imagens.

## 6.6 SOBRE O SENSOR AEROTRANSPORTÁVEL CASI

A classificação digital das imagens CASI, de modo geral, não apresentou resultados melhores que aqueles obtidos nas imagens TM, apesar de conseguir discriminar 15 classes de uso/cobertura da terra, contra dez classes das imagens de satélite. Seis classes foram bem discriminadas na análise digital das imagens CASI, as outras nove apresentaram problemas de confusão entre elas. Um mesmo alvo apresentou resposta espectral diferente de uma faixa de imagem para outra e foi, portanto, classificado diferentemente em cada uma delas. O caso mais evidente é aquele das áreas com vegetação na superposição das faixas de imagem.

A falha no vôo para a superposição das faixas contribuiu negativamente na correção geométrica das duas faixas de imagens. Além do mais, a má qualidade geométrica das imagens finais foi decorrente do tipo de correção geométrica efetuada que considerou para tal apenas as coordenadas x e y.

Os resultados da análise automática dos dados experimentais obtidos pelo CASI no Projeto Pró-Vida indicaram a necessidade de redefinir as bandas espectrais para o imageamento de áreas de mineração de carvão e arredores, para se obterem resultados melhores na discriminação da cobertura da terra neste tipo de área.

## 7 RECOMENDAÇÕES

As recomendações desta pesquisa são:

- que a metodologia desenvolvida seja adaptada para a avaliação e monitoramento do impacto ambiental nas áreas degradadas pela mineração de carvão ou outra atividade extrativista que degrada o meio ambiente, de forma que os órgãos de controle ambiental ou empresas mineradoras possam dispor de ferramentas mais eficazes para o monitoramento e gestão ambiental;
- que os resultados desta pesquisa sejam divulgados às autoridades ambientais municipais e da região atingida pela atividade de mineração de carvão no Sul de Santa Catarina, para mostrar a aplicabilidade de instrumentos inovadores para o monitoramento ambiental e para a gestão de áreas degradadas;
- que os resultados desta pesquisa sirvam de subsídio para os técnicos atuantes no governo de Santa Catarina pleitearem junto aos setores competentes a estruturação de uma base de dados geográficos de qualidade para a gestão de áreas degradadas na Região Carbonífera;
- que outras pesquisas em andamento na Universidade Federal de Santa Catarina e na UNESC, de Criciúma, georreferenciem seus dados a estes, como forma de ampliar o banco de dados espaciais iniciado nesta pesquisa; para a gestão destas áreas degradadas é preciso completar a base de dados espaciais com outros mapas, como, por exemplo: geológico, pedológico, declividade, fauna, flora e qualidade da água, e dados socioeconômicos;
- que organismos como a FATMA e JICA busquem apoio nas universidades para obter informações ambientais de qualidade, evitando análises sobre dados questionáveis;
- que as empresas mineradoras, além de se atualizarem tecnicamente utilizando métodos de mineração menos impactantes, façam o monitoramento dos impactos ambientais desta atividade apoiados em dados de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas;

- que as universidades integrem nos programas curriculares dos cursos de graduação e pós-graduação nas áreas de Geociências, Agrárias e Engenharias de Mineração, Ambiental e Civil disciplinas de Sensoriamento Remoto, Cartografia e Geoprocessamento, como forma de preparar o engenheiro moderno para atuar com mais eficiência nas questões que envolvem o espaço geográfico;
- que a estruturação de dados geográficos a partir das informações obtidas em sensores remotos, visando disponibilizar dados cartográficos de qualidade para a gestão ambiental, seja apoiada por especialistas na área cartográfica.

## ANEXOS

TABELA 21 - CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA DAS ÁREAS AMOSTRAIS DAS CLASSES DA FAIXA 3 DO CASI

Estradas Asfaltadas					Vias de Acesso				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pdr	Banda	Min	Max	Média	Desv. Padr
1	55	101	81,0161	11,2534	1	58	126	92,3211	16,0236
2	59	100	87,8871	7,9529	2	83	169	125,4679	19,9316
3	49	94	79,8548	8,8129	3	84	187	137,2569	25,2628
4	47	87	71,6290	10,2032	4	81	204	131,6239	30,0249
5	67	95	83,0645	6,2249	5	100	197	145,7982	24,9332
6	76	129	98,4677	16,2114	6	115	196	166,6055	21,6320
7	83	143	108,5323	19,2496	7	124	214	180,9450	23,2522
Solo Descoberto					Cultivo				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	55	86	71,1455	8,1891	1	42	56	47,7407	3,7501
2	68	118	95,9545	12,1190	2	54	71	61,9537	4,3069
3	69	131	107,0091	15,2505	3	56	82	72,1111	6,5258
4	72	137	108,3545	15,3966	4	54	84	75,5556	8,7673
5	80	131	112,6182	13,2222	5	68	86	78,8981	4,3081
6	89	134	117,5909	11,3802	6	77	91	84,2222	2,9964
7	96	143	125,7818	11,5094	7	83	101	90,6204	3,9618
Capoeirão					Capoeira				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	23	30	26,2124	1,4666	1	31	41	35,8435	2,3192
2	26	39	32,2301	3,0326	2	40	57	48,6261	3,1691
3	15	28	20,5310	2,6829	3	24	44	33,2000	2,8721
4	8	20	12,0088	2,1692	4	16	28	20,6174	2,1868
5	20	68	41,4779	11,2107	5	51	81	68,0174	5,7583
6	48	150	86,5398	20,8674	6	107	142	122,8000	8,5319
7	60	184	106,6726	23,7571	7	122	168	141,7304	10,3748
Nativa e Eucalipto					Banana				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	30	39	34,9417	2,2221	1	31	42	36,9924	3,1222
2	31	49	40,6505	3,6075	2	41	58	48,5530	4,8130
3	20	35	28,7961	2,8573	3	28	44	34,7121	3,7833
4	11	21	17,2427	1,8389	4	18	33	24,7652	3,2688
5	45	81	61,7670	6,9708	5	48	77	63,4545	6,8410
6	97	145	128,5146	11,6231	6	90	149	126,5152	12,5877
7	114	172	152,2913	12,9899	7	111	175	150,1515	14,3071



Continuação da Tabela 21...

Pastagem					Estéril com Vegetação				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	37	54	42,9455	5,9182	1	38	53	43,8000	2,7787
2	62	91	71,9273	9,4933	2	42	61	52,1636	5,4395
3	42	68	50,5000	8,6658	3	36	58	45,6182	4,2231
4	24	45	31,6818	7,0071	4	31	59	39,3091	4,7386
5	80	117	94,5091	12,4243	5	46	81	63,2273	7,7004
6	149	187	170,4818	11,5867	6	45	108	77,3909	12,6666
7	174	216	197,3909	11,5283	7	50	116	85,1455	13,6098

Estéril					Lagoas				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	43	74	57,7547	7,9604	1	30	46	36,9845	4,6114
2	49	94	63,1321	10,2046	2	25	87	49,1473	23,8184
3	46	106	61,6698	13,3657	3	15	84	38,4264	27,4026
4	40	100	58,1887	13,0151	4	9	61	26,4264	20,5756
5	43	95	61,6698	11,3990	5	9	35	18,1395	10,1317
6	42	90	63,3679	12,6049	6	10	21	14,0698	3,1379
7	46	99	68,2736	13,6672	7	12	23	16,1860	3,1986

TABELA 22 - CARACTERIZAÇÃO ESTATÍSTICA DAS ÁREAS AMOSTRAIS DAS CLASSES DA FAIXA 4 DO CASI

Estradas Asfaltadas					Vias de Acesso				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	67	110	87,5575	8,8891	1	100	185	137,2992	23,7538
2	65	120	93,7965	11,1797	2	131	233	172,0000	23,8926
3	59	113	88,3363	11,4046	3	132	246	180,9291	24,8133
4	52	106	81,6549	11,5949	4	123	250	178,1969	25,4222
5	56	102	81,5929	9,3729	5	123	236	174,2598	22,2033
6	56	104	84,2212	9,1532	6	136	223	170,8189	19,9879
7	61	116	90,8142	10,4005	7	146	234	180,2835	20,5924

Solo Descoberto					Capoeira				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	45	64	55,7917	4,6601	1	32	43	36,3874	2,0279
2	44	94	72,5000	10,5417	2	45	71	56,2432	5,6088
3	37	117	79,2639	17,1555	3	30	54	37,8919	4,6541
4	41	118	81,0139	18,4257	4	17	38	23,0360	3,7098
5	55	120	87,2083	17,0814	5	67	104	85,4414	9,6951
6	65	128	93,8194	16,8082	6	131	200	164,5225	14,0563
7	71	135	100,6944	17,2966	7	152	227	190,5856	15,5864

Banana					Pastagem				
Band	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	44	48	45,9492	0,8458	1	40	70	53,0182	9,6878
2	64	75	70,3559	1,9721	2	62	106	83,8636	13,8607
3	43	52	48,0085	1,8513	3	44	87	64,2273	12,3894
4	26	39	30,8729	2,4304	4	29	65	44,7455	10,1822
5	77	109	94,7966	4,8912	5	84	139	110,3000	17,6227
6	142	198	180,5424	8,5950	6	143	198	172,0545	17,5315
7	173	233	211,2712	9,4396	7	165	234	194,2818	19,4753

Continuação da Tabela 22...

Estéril Vegetação					Estéril				
Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	44	60	51,0642	3,3618	1	40	66	52,2034	6,1790
2	55	74	64,0826	4,3336	2	41	77	55,1864	7,2335
3	43	66	54,7339	3,9596	3	34	77	51,6441	8,3641
4	32	61	46,5505	5,4373	4	31	70	48,2797	7,7844
5	69	98	80,5780	7,8814	5	40	74	52,9237	7,5822
6	80	134	102,8165	15,2802	6	42	74	55,5593	8,1697
7	86	145	111,7156	16,8573	7	45	79	59,8559	8,6096

Rejeito					Lagoas				
Band	Min	Max	Média	Desv. Pad	Banda	Min	Max	Média	Desv. Pad
1	73	92	84,0930	5,7017	1	35	116	81,7018	27,2150
2	83	111	98,6512	9,0953	2	56	110	90,1930	17,6319
3	83	116	100,3605	9,4083	3	29	55	40,4211	5,5525
4	82	111	97,5698	7,1826	4	16	39	22,0877	4,6915
5	81	106	94,3140	6,3898	5	12	32	16,1053	4,2413
6	78	102	91,5930	5,5293	6	10	29	14,2982	3,7745
7	84	108	97,1860	5,6392	7	12	31	16,2018	3,8124

TABELA 23 – ESTATÍSTICA BÁSICA PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 3 DO CASI

Banda	Min	Max	Média	Desv. Padr.
1	21	173	38,7318	12,0558
2	16	231	51,0200	15,7431
3	11	255	39,1588	18,4885
4	6	255	29,0931	20,1585
5	8	255	67,6684	19,6461
6	8	255	118,8529	33,8150
7	10	255	138,2808	39,8475

Matriz de Correlação

Banda	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
1	1,000	0,891	0,929	0,911	0,574	-0,080	-0,171
2	0,891	1,000	0,933	0,837	0,808	0,252	0,154
3	0,929	0,933	1,000	0,965	0,696	0,028	-0,070
4	0,911	0,837	0,965	1,000	0,593	-0,110	-0,203
5	0,574	0,808	0,696	0,593	1,000	0,684	0,593
6	-0,080	0,252	0,028	-0,110	0,684	1,000	0,991
7	-0,171	0,154	-0,070	-0,203	0,593	0,991	1,000

TABELA 24 – ESTATÍSTICA BÁSICA PARA AS SETE BANDAS DA FAIXA 4 DO CASI

<b>Banda</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Média</b>	<b>Desv. Padr.</b>
<b>1</b>	20	255	52,0092	25,8998
<b>2</b>	16	255	65,6910	30,8959
<b>3</b>	10	255	56,8624	36,8189
<b>4</b>	6	255	48,1286	39,3573
<b>5</b>	9	255	79,3977	29,9454
<b>6</b>	9	255	117,2945	33,5429
<b>7</b>	11	255	132,7260	38,3109

Matriz de Correlação

<b>Banda</b>	<b>Banda 1</b>	<b>Banda 2</b>	<b>Banda 3</b>	<b>Banda 4</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 6</b>	<b>Banda 7</b>
<b>1</b>	1,000	0,965	0,949	0,936	0,787	0,144	0,022
<b>2</b>	0,965	1,000	0,972	0,937	0,892	0,330	0,207
<b>3</b>	0,949	0,972	1,000	0,981	0,868	0,243	0,117
<b>4</b>	0,936	0,937	0,981	1,000	0,844	0,177	0,049
<b>5</b>	0,787	0,892	0,868	0,844	1,000	0,645	0,531
<b>6</b>	0,144	0,330	0,243	0,117	0,645	1,000	0,988
<b>7</b>	0,022	0,207	0,117	0,049	0,531	0,988	1,000

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERODATA S. A. **Monitoramento dos efeitos da exploração carbonífera sobre o meio ambiente no município de Criciúma-SC, com o uso de um sensor aerotransportável, processamento de imagens e sistema de informações geográficas.** Curitiba : Aerodata, 1994.
- ANGER, C. D.; MAH, S.; BABEY, S. K. Technological enhancements to the compact airborne spectrographic imager. In: **FIRST INTERNATIONAL AIRBORNE REMOTE SENSING CONFERENCE AND EXHIBITION** (1994 : Strasburg). **Cópia dos Anais...** [S. l : s.n.], 1994.
- ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO EM SANTA CATARINA. Ruth E. N. Loch : Florianópolis, 1999. 1 videocassete (4 min) : son., color. ; 12 mm. VHS.
- ARTIMO, K. The bridge between cartographic and geographic information systems. In: MACEACHREN, A. M.; TAYLOR, D. R. F. **Visualization in modern cartography.** New York : Elsevier Science, 1994. p. 45-62.
- BÄRH, H. P. Sistemas actuales y futuros para adquisición de datos em teledetección y fotogrametria. In: \_\_\_\_\_. **Processamiento digital de imágenes.** Eschborn : Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Trad. de Anita E. Schewender, 1991. p. 259-313.
- BERNSTEIN, Image geometry and rectification. **Manual of Remote Sensing.** Falls Church : American Society of Photogrammetry, v. 1. 1983. Cap.21, p. 279-303.
- BILLINGSLEY, F. C. Modeling misregistration and related effects on multispectral classification. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.** n. 4, p. 421-430, abr. 1982.
- BLACKBURN, G. A.; MILTON, E. J. An application of airborne imaging spectrometry to ecological studies of woodlands. In: **FIRST INTERNATIONAL AIRBORNE REMOTE SENSING CONFERENCE AND EXHIBITION** (1994 : Strasburg, France) **Cópia dos Anais...** Strasburg : [s. n.], 1994. p. 11-15.
- BORSTAD, G. Ecosystem surveillance and monitoring With a portable airborne imaging spectrometer system. In: **FIRST THEMATIC CONFERENCE ON REMOTE SENSING FOR MARINE AND COASTAL ENVIRONMENTS** (1992 : New Orleans, USA). **Cópia dos Anais...** New Orleans , [s. n.], 1992.
- BRAAT, L. C.; STEETSKAMP, I. Ecological-economic analysis for regional sustainable development. IN: COSTANZA R. **Ecological economics: the science and management of sustainability.** Columbia University Press : New York, 1991. p. 267-288.

- BRAGA FILHO, H. J. **Previsão agrícola**. Florianópolis, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BRASIL – DNPM/CPRM. **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração geológica e avaliação econômica. Relatório final**. [S. l.] : Ministério das Minas e Energia, 1986.
- BRESSAN, D. **Gestão racional da natureza**. São Paulo : Hucitec, 1996.
- BREUNIG, M. **Integration of spatial information systems**. London : Springer, 1996.
- BREW, A. N. Aerial photography. In : **Manual of photogrammetry**. 4. ed. Falls Church : American Society of Photogrammetry, 1980. p. 279-303.
- BRIGGS, J. M.; NELLIS, M. D. Seasonal variation of heterogeneity in the tallgrass prairie: a quantitative measure using remote sensing. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 57, n. 4, p. 407-411, 1991.
- BYRNE, G. F.; CRAPPER, P. F.; MAYO, K. K. Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, n. 10, p. 175-184, 1980.
- CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina : EMBRAPA-CPAC, 1993. p. 15-37.
- CHAVEZ, P. S. JR.; MACKINNON, D. J. Automatic detection of vegetation changes in the southwestern united states using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 5, p. 571-583, mai. 1994.
- CHAVEZ P.S.; KWARTENG. Extracting spectral contrast Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 3, p. 339-348, mar. 1989.
- CHRISTOFOLETTI, A. Concepções geográficas na análise do sistema ambiental. In: 2º ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE (1989 : Florianópolis). **Anais...** Florianópolis : UFSC, Curso de Pós-Graduação em Geografia, 1989. v.3, p. 206-218.
- COGO, S. E. V. Feições de textura para classificação de imagens. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (1993 : Curitiba). **Anais...** São José dos Campos : INPE, Gráfica, 1993. p. 339-346.
- COSANDIER, D. et al. The integration of a digital elevation model in case image geocorrection. In: FIRST INTERNATIONAL AIRBORNE REMOTE SENSING CONFERENCE AND EXHIBITION (1994 : Strasburg, France. **Cópia dos Anais...** Strasburg : s. n., 1994.
- COSANDIER, D.; CHAPMAN, M. D. Precise multispectral airborne pushroom image georectification and DEM generation. In: **Integrated sensor orientation**. Heidelberg: Wichmann and Colomina/Navarro, 1995. p. 93-100.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas : IG/UNICAMP, 1992.

- BRAGA FILHO, H. J. **Previsão agrícola**. Florianópolis, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BRASIL – DNPM/CPRM. **Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração geológica e avaliação econômica. Relatório final**. [S. l.] : Ministério das Minas e Energia, 1986.
- BRESSAN, D. **Gestão racional da natureza**. São Paulo : Hucitec, 1996.
- BREUNIG, M. **Integration of spatial information systems**. London : Springer, 1996.
- BREW, A. N. Aerial photography. In : **Manual of photogrammetry**. 4. ed. Falls Church : American Society of Photogrammetry, 1980. p. 279-303.
- BRIGGS, J. M.; NELLIS, M. D. Seasonal variation of heterogeneity in the tallgrass prairie: a quantitative measure using remote sensing. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 57, n. 4, p. 407-411, 1991.
- BYRNE, G. F.; CRAPPER, P. F.; MAYO, K. K. Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, n. 10, p. 175-184, 1980.
- CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina : EMBRAPA-CPAC, 1993. p. 15-37.
- CHAVEZ, P. S. JR.; MACKINNON, D. J. Automatic detection of vegetation changes in the southwestern united states using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 5, p. 571-583, mai. 1994.
- CHAVEZ P.S.; KWARTENG. Extracting spectral contrast Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 3, p. 339-348, mar. 1989.
- CHRISTOFOLETTI, A. Concepções geográficas na análise do sistema ambiental. In: 2º ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE (1989 : Florianópolis). **Anais...** Florianópolis : UFSC, Curso de Pós-Graduação em Geografia, 1989. v.3, p. 206-218.
- COGO, S. E. V. Feições de textura para classificação de imagens. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (1993 : Curitiba). **Anais...** São José dos Campos : INPE, Gráfica, 1993. p. 339-346.
- COSANDIER, D. et al. The integration of a digital elevation model in case image geocorrection. In: FIRST INTERNATIONAL AIRBORNE REMOTE SENSING CONFERENCE AND EXHIBITION (1994 : Strasburg, France. **Cópia dos Anais...** Strasburg : s. n., 1994.
- COSANDIER, D.; CHAPMAN, M. D. Precise multispectral airborne pushroom image georectification and DEM generation. In: **Integrated sensor orientation**. Heidelberg: Wichmann and Colomina/Navarro, 1995. p. 93-100.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas : IG/UNICAMP, 1992.



- CUSHNIE, J. L.; ATKINSON, P. Effect of spatial filtering on scene noise and boundary detail in thematic mapper imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 9, p. 1483-1493, set. 1985.
- DRUMOND, M. A.; LIMA, A. C.; LIMA, P. C. F. Comportamento silvicultural de algumas espécies arbóreas na bacia de rejeitos da mineração In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (3 : 1997 : Ouro Preto, MG). **Anais...** Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos e Departamento de Engenharia Florestal, 1997. p. 403-406.
- DRURY, S. A. **A guide to Remote sensing: interpreting images of the earth**. New York : Oxford Press, 1990.
- ENVI **User's guide**. Colorado, USA: Better Solutions Consulting Limited Liability Company, 1997.
- FERREIRA, C. G et al. Reabilitação de áreas mineradas de bauxita no planalto de Poços de Caldas, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, (3 : 1997 : Ouro Preto, MG). **Anais...** Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos e Departamento de Engenharia Florestal, 1997. p. 27-35.
- FOLEY, J. D.; DAM, A. V. **Fundamentals of interactive computer graphics**. [S. l.] : Addison Wesley. 1982.
- FONSECA, F. A. Mineração e ambiente. In: TAUKE, S. M.; GOBBI, N.; FOWLER, H. G. **Análise ambiental: uma visão multidisciplinar**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1995. p. 177-182.
- FRANKLIN, S. E.; PEDDLE, D. R. Classification of Spot HRV imagery and texture features. **International Journal of Remote Sensing**. v. 11, n. 3, p. 551-556, 1990.
- FUNG, F.; LEDREW, E. Application of Principal components analysis to change detection. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 12, p. 1649-1658, dec. 1987.
- FUNG, F. LEDREW, E. The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 12, p. 1449-1454, dec. 1988.
- GODARD, O. A gestão integrada dos recursos naturais e do meio ambiente: conceitos, instituições e desafios de legitimação. In: FREIRE, P.; WEBER, J. **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento**. Trad. Anne S. de P. Vieira e Christilla de Lassus. São Paulo : Cortez, 1997. p. 201-266.
- GONG, P.; HOWARTH, P. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. n. 5, p. 597-603, mai. 1990.
- GORDON, D. K.; PHILIPSON, W. R. A texture enhancement procedure for separating orchard from forest in thematic mapper data. **International Journal of Remote Sensing**. v. 8, n. 7, p. 301-304, 1986.

- GRIFFFITH, J. J. et al. Incorporação de decisões comunitárias sobre zoneamento usando a análise Gestalt da paisagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (1997 : Curitiba). **Anais...** Curitiba : IAP/UNILIVRE, 1997, p. 119-136.
- GROTEN, S. M. E. Earth observation for ecologic hazard mitigation and prevention. **ITC Journal**. n. 4, p. 400-404, abr. 1993
- GREEN, K.; KEMPLA, D.; LACKLEY, L. Using remote sensing to detect and monitor land cover and land use change. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 60, n. 3, p. 413-420, 1994.
- HENSSEN, J. Cadastral information, an important land management tool. **ITC Journal**, n. 1, p. 49-56, jan. 1996.
- HILDEBRANDT, G. et al. **Applications de la télédétection à l'observation de l'état sanitaire des forêts**. Belgique : Walsphot S.A, 1992.
- HURNI, H. Concepts of sustainable land management. **ITC Journal**, n. 3/4, p. 49-56, 1997.
- INCE, F. Maximum likelihood classification, optimal or problematic? A comparison with the nearest neighbour classification. **International Journal of remote Sensing**, n. 12, p. 1829-1838, 1987.
- ITRES. **Notes**, v. 2. n. 1, 1994.
- JENSEN, J. R. **Manual of remote sensing**. 2.ed. Virginia : American Society of Photogrammetry, 1983. v. 2. cap.30, p. 1571-1666.
- JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**. New Jersey : Prentice Hall, 1986.
- JICA; SDUMSC - Japan International Cooperation Agency; Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina. **Interim Report for the feasible study on recuperation of mined areas in the South Region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil**. Japan : Mitsubishi Materials Corporation, Chiyoda-Dames & Moore CO.,LTD. 1997.
- JOLY, F. **A cartografia**. Trad. PELLEGRINI, T. Campinas : Papirus, 1990.
- JUCHEM, P. A. A questão ambiental. In: **Manual de avaliação de impactos ambientais**. 2. ed. Curitiba : IAP, DGTZ, 1993.
- KLEIN, R. M. **Mapa Fitogeográfico do Estado de Santa Catarina**. Flora Ilustrada Catarinense, Itajaí, 1978.
- \_\_\_\_\_. Aspectos dinâmicos da vegetação do Sul do Brasil. Itajaí : **Sellowia** n. 36. p. 5-54, 1984.
- KRAMER, H. J. **Observation of Earth and its environment**. 3<sup>d</sup> ed. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- KUARTENG, A. Y.; ALL-AJMI, D. Using Landsat Thematic Mapper data to detect and map vegetation changes in Kuwait. In: **INTERNATIONAL ARCHIVES OF**

- PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (1996: Viena). **Anais...** Viena, Austria : ISPR, 1996, v. 30 : cap. B7, p.398-405.
- KUSHWAHA, S. P. S.; KUNTZ, S.; OESTEN, G. Applications of texture in forest classification. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 11, p. 2273-2284, 1994.
- LOUGHLIN, W. P. Principal component analysis for alteration mapping. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, n. 9, p. 1163-1169, set. 1991.
- LANNA, A. E. **Instrumentos de gestão ambiental: métodos de gerenciamento de bacias hidrográficas**. Brasília : IBAMA, 1994.
- LEEG, Christopher A. **Remote Sensing and Geographic Information Systems**. Chichester : John Wiley & Sons e Praxis Publishing, 1995.
- LILLESAND, T M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and image interpretation**. 3. ed. New York : John Wiley & Sons, 1994.
- LOCH, C. **A interpretação de fotografias aéreas**. 2 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1993a.
- \_\_\_\_\_. **Cadastro técnico rural multifinalitário como base à organização espacial do uso da terra a nível de propriedade rural**. 1993b. Tese (Concurso para professor titular na Engenharia Civil) – Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- LOCH, C.; LAPOLLI, E. M. **Elementos básicos da fotogrametria e sua utilização prática**. 3. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994.
- LOCH, R. E. N. Algumas considerações sobre a base cartográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (1989 : Florianópolis). **Anais...** Florianópolis : UFSC, GT Cadastro, Departamento de Eng. Civil, 1994. p.15-21.
- LOCH, R. E. N.; KIRCHNER, F. F. Classificação de imagens multiespectrais Landsat TM e feições de textura: mapeamento da cobertura da terra, **Floresta**, v. 27, n. 1 e 2, 1999.
- LUGNANI, J. B. **Introdução à fototriangulação**. Curitiba : [s. n.], {1987?}.
- MACEDO, R. K. de. **Gestão ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1994.
- MACEDO, R. K. de . A importância da avaliação ambiental. In: TAUKE-TORNISIELO, S. M., GOBBI, N. E FOWLER, H. G. **Análise ambiental: uma visão interdisciplinar**. 2. ed. São Paulo : Ed. da Universidade Estadual Paulista, 1995. p. 01-13.
- MAGALHÃES, M. L. F. Função social da propriedade e meio ambiente: princípios reciclados. In : BENJAMIN, A. H. V. **Dano ambiental: prevenção, reparação e repressão**. São Paulo : Ed. Revista dos Tribunais, 1993. p. 147-151.
- MAH, S. ; KIRCHNER, F. F. and PREOSK, R. Spectral discrimination of acacia negra for forest management in sub-tropical brasilian plantation: a commercial airborne imaging spectroscopy study. In: ECO RIO'94 (1994 : Rio de Janeiro). **Cópia dos Anais...** [1994?].
- MAKAROVICK, B. Detailed photogrammetric digital mapping in the context of GIS. **ITC Journal**, n. 3 e 4, p. 284-299, 1996.

- MILTON, E. J.; ROLIN, E. M. Casi test flight over part of the new forest Hampshire. In: **FIRST INTERNATIONAL AIRBORNE REMOTE SENSING CONFERENCE AND EXHIBITION** (1994 : Strasburg, France). **Cópia dos Anais...** Strasburg : [s. n.], 1994.
- MINERAÇÃO RIO DO NORTE S/A . Reflorestamento da mina de bauxita. In: **SIMPÓSIO NACIONAL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS** (1992: Curitiba, PR). **Anais...** Curitiba : Universidade Federal do Paraná, Depto. de Silvicultura e Manejo, FUPEF, 1992. p.464-466.
- MOREIRA , I. V. D. Avaliação de impacto ambiental: instrumento de gestão. In: **Planejamento e gerenciamento ambiental. (Cadernos FUNDAÇÃO)** São Paulo, 1989.
- MÜLLER, A. A. et al. **Perfil analítico do carvão**, 2. Ed. Porto Alegre : DNPM, 1987.
- NADOLNY, M. C. Aplicabilidade de um sistema de informações geográficas e imagens de sensor aerotransportável para o planejamento florestal. Curitiba, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- NATALI, P.P.; VIANA, R. F.; FORTES, V. M. Proposta para a recuperação ambiental da área de cava e adjacências da mineração de caulim. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, (3: 1997: Ouro Preto, MG). **Anais...** Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Solos e Depto de Enga. Florestal, 1997. p. 514-524.
- OLIVEIRA FILHO, P. C. de. **Análise de dados digitais multiespectrais de alta resolução obtidos pelo sensor “Compact Airborne Spectrographic Imager” em uma área rural do município de São José dos Pinhais-PR**. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- PEDDLE, D.R.; FRANKLIN, S. E. Image texture processing and data integration for surface pattern discrimination. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 57, n. 4, p. 413-420, 1991.
- PÉLLICO NETTO, S. **Inventário Florestal Nacional, florestas nativas**. Brasília : Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal , 1984.
- PETERSON, M. P. Cognitive issues in cartographic visualization. In: MACEACHREN, A. M.; TAYLOR. D. R. F. **Visualization in modern cartography**. New York : Elsevier Science, 1994. p.27-43.
- PICCHIOTTI, A.; CASACCHIA, R.; SALVATORI, R. Multitemporal principal component analysis of spectral and spatial features of the Venice Lagoon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n.1, p. 183-196, 1997.
- POHL, C. **Geometric aspects of multisensor image fusion for topographic map updating in the humid tropic**. Hannover, 1996. Tese (doutorado) Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover.
- PIRES, A. M. Z. C.; SANTOS, J. E.; e PIRES, J. S. R. Uso de informações geográficas para caracterização ambiental como subsídio ao manejo da estação ecológica de Jataí. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. (1997 : Curitiba). **Anais...** Curitiba : IAP/UNILIVRE, v. 2. , 1997, p. 658- 669.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SIDERÓPOLIS. **Conhecendo Siderópolis** (documento didático). 3. Ed. Criciúma : Mário Editora e Gráfica LTDA, 1996.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing digital image analysis, an introduction**. 2. ed. London: Springer-Verlag , 1993.

ROBINSON, A. H. et al. **Elements of Cartography**. 6. ed. New York : John Wiley & Sons, 1995.

SAKS, I. Desenvolvimento sustentável, bio-industrialização descentralizada e novas configurações rural-urbanas: o caso da Índia e do Brasil. In: VIEIRA, P. F.; WEBER, J. **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento**. São Paulo: Cortez, 1997. p. 469-494.

SANTA CATARINA SEPLAN. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro : Aerofoto Cruzeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. INSTITUTO CEPA/SC, EPAGRI, UNESC/NUPEA/NUPEAM/CPRM. **Plano de Gestão e gerenciamento da bacia do Rio Araranguá. Zoneamento da disponibilidade hídrica**. v. 1., [S. l. : s. n.] : 1997a.

\_\_\_\_\_. SDM. **Plano Básico de desenvolvimento ecológico-econômico da AMREC**. [S.l. : s. n.] : 1997b.

SAYN-WITTGENSTEIN, L.; MILDE, R.; INGLIS, C. J. Identification of trees on aerial photographs. [S. l. : s. n.] [ca,1991].

SEIFFERT, N. F. **Uma contribuição ao processo de otimização do uso dos recursos ambientais em micro bacias hidrográficas**. Florianópolis, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

SHIH, E. H. H.; SCHOWENGERDT, R. A. Classification of arid geomorphic surfaces using Landsat spectral and textural features. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 49, n. 3, p. 337-347, 1983.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. Orlando, Florida : Academic Press, 1983.

SCHWEDER, S. R. **Organização e correlacionamento dos dados obtidos do sensor aerotransportável compacto - CASI, visando o planejamento regional**. Florianópolis, 1993. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

SKIDMORE, A. K. Unsupervised training area selection in forest using a nonparametric distance measure and spatial information. **International Journal of Remote Sensing**. v. 10, n. 1, p. 133-146. 1989.

SILVA, C. N. da.; DALL'ORTO JÚNIOR. Recuperação de áreas degradadas na Serra dos Carajás, Parauapebas-PA. In: SIMPÓSIO NACIONAL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS

- DEGRADADAS (1992 : Curitiba, PR). **Anais...** Curitiba : Universidade Federal do Paraná, Depto. de Silvicultura e Manejo, FUPEF, 1992. p.219-226.
- SILVA, S. da. **Potencialidades da classificação automática de imagens Landsat-TM no monitoramento cadastral.** Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SILVEIRA FILHO, J. E. da. **Especificação de um módulo de exibição para um sistema de informações cartográficas.** Rio de Janeiro, 1989. Dissertação. (Mestrado em Ciências da computação) - Instituto Militar de Engenharia.
- SIRTOLI, A. E. **Detecção da expansão de área de mineração através de técnicas de Sensoriamento Remoto.** Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- SOUZA, M. G. de; et al. **Revegetação de taludes em cava de mina de ferro com uso de geotêxtil.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, (3: 1997: Ouro Preto, MG) **Anais...** Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Solos e Depto de Enga. Florestal, 1997. p. 572-577.
- SWAIN, P. H. e DAVIS, S. M. **Remote sensing, the quantitative approach.** New York : McGraw Hill, 1978.
- TAVARES, E. M. P.; FAGUNDES, P. M. **Fotogrametria.** Rio de Janeiro: [s.n.], [1991?].
- TAYLOR, D. R. F. **Challenge and Response in cartographic design.** In : WOOD, C. H.; KELLER, C. P. **Cartographic design.** Chichester, Englant : Jonh Wiley & Sons, 1996. p. 11-18.
- TERABE, K. **Programa de reabilitação das áreas degradadas pela mineração do xisto- Petrobrás-SIX.** In: SIMPÓSIO NACIONAL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS (1992 : Curitiba, PR) **Anais...** Curitiba : Universidade Federal do Paraná, Depto. de Silvicultura e Manejo, FUPEF, 1992. p. 458-461.
- TOMAR, M. S.; MASLEKAR, A . R. **Aerial Photographs in landuse and forest surveys.** Dehra Dun, Índia : Jugal Kishore & Co, 1974.
- TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C. O. **Spatial variability of images and the monitoring of changes in the normalized difference vegetation index.** **International Journal of Remote Sensing.** v. 16, n.12, p. 2187-2195, 1995.
- UNESC; JICA - Universidade do Extremo Sul Catarinense; Japan International Cooperation Agency. **Vegetation Survey.** Criciúma : [Relatório preliminar – digitado], 1997.
- VELOSO, M. P.; RANGEL FILHO, A . L. R.; LIMA, J. C. A . L. **Classificação da vegetação brasileira adaptado a um sistema universal.** Rio de Janeiro : IBGE, 1991.
- VIEIRA P. F. **Meio ambiente, desenvolvimento e planejamento.** In: **Meio ambiente, desenvolvimento e cidadania: desafios para as ciências sociais.** São Paulo : Cortez; Florianópolis : Universidade Federal de Santa Catarina, 1995. p. 45-98.



- VISA, A. **Texture classification and segmentation based on neural network methods.** Espoo, Finland, 1990. Tese (Doutorado em Tecnologia) Helsinki University of Technology.
- WOOD, M. Visualization in historical context. In: MACEACHREN, A. M.; TAYLOR, D. R. F. **Visualization in modern cartography.** New York : Elsevier Science, 1994. p.13-26.
- WOOD, C. H.; KELLER, C. P. Design: its place in cartography. In : \_\_\_\_\_. **Cartographic design.** Chichester, Englandt : Jonh Wiley & Sons, 1996. p. 1-10.
- ZANETE, V. C. **Levantamento florístico da área de recuperação da mineração a céu aberto em Siderópolis, Santa Catarina -BR .** Florianópolis : GAPLAN/ FATMA, 1982.
- ZANETE, V. C.; BOFF, V. P. **Levantamento florístico em áreas mineradas a céu aberto na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil.** Florianópolis : Secretaria de Estado da Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1992.