



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-10290-TDI/909

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA O LEVANTAMENTO
ESPECTRO-TEMPORAL E ESTIMATIVA DE ÁREA DE
CULTURAS AGRÍCOLAS**

Ieda Del' Arco Sanches

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, aprovada em 19 de fevereiro de 2004.

INPE
São José dos Campos
2004

528.711.7

SANCHES, IEDA. D'A.

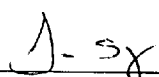
Sensoriamento remoto para o levantamento espectro-temporal e estimativa de área de culturas agrícolas/ I. D'A. Sanches. – São José dos Campos: INPE, 2004.

172p. – (INPE-10290-TDI/909).

1. Análise multitemporal. 2. Análise spectral. 3. Identificação de culturas. 4. Imagens de satélite Landsat. 5. Sistemas de Amostragem por pontos. I. Título.

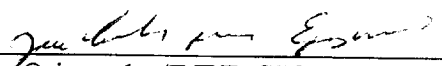
Aprovado(a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido
para a obtenção do Título de **Mestre**
em **Sensoriamento Remoto**.

Dr. Lênio Soares Galvão



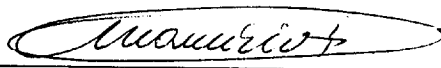
Presidente/INPE, SJCampos-SP

Dr. José Carlos Neves Epiphânio



Orientador/INPE, SJCampos-SP

Dr. Maurício Alves Moreira



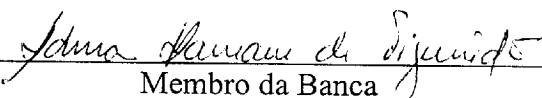
Membro da Banca/INPE, SJCampos-SP

Dr. Antonio Roberto Fromaggio



Membro da Banca/INPE, SJCampos-SP

Dra. Adma Hamam de Figueiredo



Membro da Banca
Convidada - IBGE

Candidato: Ieda Del'Arco Sanches

São José dos Campos, 19 de fevereiro de 2004.

*“Há pessoas que transformam o Sol numa simples mancha amarela,
mas há também aquelas que fazem de uma simples mancha amarela
o próprio Sol”.*

PICASSO

*Dedico a meus pais,
SIRLENE e ANTÔNIO.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade.

Ao Prof. Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, por ter acreditado no meu potencial, pela orientação e pela amizade.

À amiga Salete, pela amizade e por todos os conhecimentos passados.

Aos amigos Rogério e Alfredo, pelas conversas, sugestões e trabalhos publicados. Ao meu primo Marinaldo, pela ajuda no trabalho de campo.

Aos meus amigos de turma: Brummer, Cléber, Eddy, Enzo, Felix, Fernanda, Gelete, Liana, Paula (*in memoriam*), Pierre e Silvio, por todos os momentos de alegria e tristeza compartilhados, e pela força.

Aos demais amigos, colegas, professores e funcionários do INPE, que de alguma forma contribuíram para a minha formação profissional ou pessoal.

Ao Francisco, pelo amor, companheirismo e compreensão, em todos os momentos.

A meus pais por terem sempre me apoiado e me incentivado a prosseguir os estudos.

RESUMO

A atividade agrícola é de grande importância para o desempenho da economia brasileira, o que torna a previsão de safras imprescindível. As estatísticas agrícolas nacionais são predominantemente baseadas em entrevistas com pessoas ligadas ao meio agrícola, são de caráter subjetivo e não-probabilístico, e dificultam a realização de avaliações estatísticas. Assim sendo, o Brasil ainda não possui uma metodologia operacional e objetiva para todo o território. Neste contexto, o presente trabalho teve como hipóteses que levantamentos agrícolas amostrais obtidos com auxílio de dados de sensoriamento remoto são precisos e objetivos, o que possibilita a avaliação estatística da metodologia empregada; e que um conhecimento mais detalhado do comportamento espectral das culturas se faz necessário para melhor explorar os dados de sensoriamento remoto. Esta pesquisa teve como objetivo geral fazer uma análise do comportamento espectro-temporal de culturas agrícolas e obter a estimativa de área agrícola das principais culturas de uma determinada região, a partir de uma metodologia baseada em sensoriamento remoto. Teve como objetivos específicos fazer uma análise multitemporal baseada em imagens Landsat para levantar o perfil espectro-temporal das culturas e mata dos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, SP; obter as estimativas de área das principais culturas agrícolas (cana-de-açúcar e soja) da área de estudo, para o ano civil de 2003, utilizando um sistema amostral por pontos; e obter e analisar o erro dessas estimativas. Com o estudo espectro-temporal foi possível separar os alvos analisados em quatro grupos: soja e feijão; cana-de-açúcar, milho e mata; sorgo, milheto, pastagem e palhada; e solo exposto. Pelos resultados foi verificado que a metodologia empregada para a estimativa de área agrícola foi eficiente para as culturas de cana-de-açúcar e soja. O uso de painéis amostrais compostos exclusivamente por pontos agrícolas geraram resultados mais precisos do que painéis com pontos agrícolas e não-agrícolas. O CV (coeficiente de variação) foi menor quanto maior foi a área ocupada pela cultura. A estimativa de área total foi melhor do que a estimativa feita por município.

REMOTE SENSING FOR SPECTRAL-TEMPORAL ANALYSIS AND CROP AREA ESTIMATION

ABSTRACT

The agriculture has an important role in the Brazilian economy, thus making the crop forecasting essential. Hence, researches should be carry out to develop methodologies to improve yield forecasting and crop area estimation. The Brazilian national agricultural statistics surveys are mostly based on interviews without a statistical design; they are subjective and nonprobabilistic, leading to some difficulties in getting statistical analyses. Therefore, Brazil does not have an objective and operational methodology for agricultural survey for all the territory yet. In this context, the hypothesis of this work was that agricultural surveys based on sampling design obtained with remote sensing data are precise and objective, and makes possible a statistical assessment of the methodology applied. In addition, the knowledge of crops spectral behavior is necessary to improve the use of remote sensing data. This research had as the main objective the spectral-temporal study of crops and the area estimation of the main crops of a specific area based on a point sampling system. The specific objectives were a) to do a multitemporal study based on Landsat images in order to obtain the spectral-temporal behavior of the crops and forest of *Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra-SP*; b) to estimate the crop area for the main crops (sugarcane and soybean) of the study area, for the year 2003; and c) to assess the error of the estimates. The spectral-temporal study distinguished four groups: soybeans and beans; sugarcane, corn, and forest; sorghum, millet, grassland and straw; and bare soil. The results showed that the methodology used in this work for crop area estimation was good for sugarcane and soybean. The coefficient of variation was bigger for crops that occupy less area. The regional area estimation was better than local estimations.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	25
1.1 - Objetivo	27
1.2 - Objetivos Específicos	27
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 - Processamento de Imagens de Satélite	29
2.1.1 - Etapa de Pré-Processamento	29
2.1.2 - Etapa de Processamento	31
2.2 - Sensoriamento Remoto Agrícola – Análise Multitemporal e Espectral	34
2.2.1 - Análise Multitemporal	34
2.2.2 - Análise Espectral	35
2.2.2.1 - Comportamento Espectral de Algumas Culturas Agrícolas	37
2.2.2.2 - Conversão de Números Digitais em Reflectância	39
2.2.2.3 - Índices de Vegetação	39
2.3 - Estatísticas Agrícolas	41
2.3.1 - Estimadores	43
2.3.2 - Levantamentos Agrícolas Realizados no Brasil	44
2.3.3 - Uso de Sensoriamento Remoto para Estatísticas Agrícolas	45
CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO	49
3.1 - Características Físico-Climáticas	53
3.2 - Principais Culturas Encontradas na Área de Estudo	54
3.2.1 - Cana-de-açúcar	54
3.2.2 - Soja	56
3.2.3 - Milho e Milho Safrinha	56
3.2.4 - Sorgo	57
3.2.5 - Outras Culturas	58
3.2.6 - Plantio Direto	58
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS	61
4.1 - Materiais	61
4.2 - Métodos	64
4.2.1 - Processamentos	65
4.2.1.1 - Aquisição de Imagens	65
4.2.1.2 - Registro das Imagens e Importação para o Banco de Dados	65
4.2.1.3 - Divisão das Imagens e Seleção das Imagens de Referência	66
4.2.1.4 - Correção Atmosférica das Imagens de Referência	67
4.2.1.5 - Uniformização das Imagens de Satélite	68

4.2.1.6 - Obtenção dos Valores de Reflectância.....	71
4.2.1.7 - Mapa de Referência de Campo	72
4.2.1.8 - Segmentação e Classificação de Imagens	72
4.2.2 - Trabalho de Campo	72
4.2.3 - Comportamento Espectro-Temporal de Alvos Agrícolas	73
4.2.3.1 - Alvos Monitorados.....	73
4.2.3.2 - Obtenção dos Índices RS e NDVI.....	74
4.2.4 - Estimativa de Área Agrícola de Ipuã para o Mês de Agosto de 2003	74
4.2.4.1 - Conjunto de Painéis Amostrais	74
4.2.5 - Estimativas de Área Agrícola da Região de Estudo para o Ano de 2003	75
4.2.5.1 - Definição do Painel Amostral	75
4.2.5.2 - Classificação dos Pontos Amostrais.....	76
4.2.5.3 - Estimativa de Área Agrícola e Erro da Estimativa	76
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1 - Processamentos	79
5.1.1 - Registro de Imagens	79
5.1.2 - Correção Atmosférica	80
5.1.3 - Uniformização de Imagens.....	82
5.1.4 - Análise Temporal de Imagens.....	93
5.1.5 - Mapa de Referência de Campo	97
5.1.6 - Segmentação e Classificação	99
5.2 - Trabalho de Campo	105
5.3 - Comportamento Espectro-Temporal de Alvos Agrícolas	114
5.3.1 - Alvos Monitorados.....	114
5.3.2 - Valores de Reflectância dos Alvos.....	117
5.4 - Estimativa de Área Agrícola de Ipuã para o Mês de Agosto de 2003	136
5.5 - Estimativa de Área Agrícola da Região de Estudo para o Ano de 2003.....	141
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	153
APÊNDICE A	161
APÊNDICE B.....	167

LISTA DE FIGURAS

2.1 – Quadro com a cor na composição RGB 453 e característica de alvos encontrados nos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra-SP.	33
3.1 – Localização da área de estudo, com destaque para os municípios de Ipuã, Guará e São Joaquim da Barra.	49
3.2 – Solos do município de Ipuã mapeados em semidetalhe na escala 1:100.000.....	54
4.1 – Temperatura média calculada (colunas) e precipitação adotada (pontos conectados) de janeiro de 2000 a dezembro de 2003 para o município de Ipuã. As colunas laranjas e amarelas representam a época chuvosa e seca, respectivamente.	63
4.2 – Fluxograma com as etapas da metodologia utilizada no trabalho.	64
4.3 – Localização dos 13 pontos obtidos com GPS no EDR de Orlândia. Os municípios hachurados correspondem à área de estudo.	65
4.4 – Recorte das imagens de referência da época seca e chuvosa, na composição colorida RGB 453, com contraste.	67
4.5 – Regressão linear e coeficiente de determinação obtidos com os ND da banda 1 das imagens dos dias 08/01/00 e 05/01/02 para posterior uniformização.	71
5.1 – Recorte da imagem Landsat-7, na composição colorida RGB 453, dos dias 14/08/01 e 05/01/02 antes (imagem nível 1G) e depois da correção atmosférica. .	81
5.2 – Níveis Digitais (ND) de um alvo agrícola das imagens dos dias 14/08/01 e 05/01/02 níveis 1G e uniformizadas.	81
5.3 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 1 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.	86
5.4 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 2 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.	87
5.5 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 3 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.	88
5.6 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 4 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.	89
5.7 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 5 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.	90
5.8 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 7 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.	91
5.9 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2000, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	94

5.10 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2001, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	95
5.11 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2002, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	96
5.12 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2003, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	97
5.13 – Mapa de referência de campo do município de Ipuã para o mês de Agosto de 2003.	98
5.14 – Mapa gerado a partir da classificação do recorte da imagem do dia 12/08/03 com o classificador Iseseg.....	100
5.15 – Mapa gerado a partir da classificação do recorte da imagem do dia 12/08/03 com o classificador MAXVER.....	101
5.16 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de cana-de-açúcar em diferentes estádios de crescimento.....	109
5.17 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de milho em diferentes estádios de crescimento.....	110
5.18 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de milho após a colheita.	111
5.19 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de soja em diferentes estádios de crescimento.....	112
5.20 – Comportamento espectral da cana-de-açúcar colhida mecanicamente (a) e à mão (b) em composição colorida RGB 453 e fotos digitais correspondentes obtidas no campo.	113
5.21 – Comportamento espectral de diferentes tipos de solo em composição colorida RGB 453 e foto digital correspondente obtida no campo.	114
5.22 – Localização dos 50 polígonos (representados por pequenos quadrados) referentes aos 50 talhões monitorados para o levantamento do comportamento espectro-temporal de culturas agrícolas.	115
5.23 – Relação entre o número digital (ND), a radiância e a reflectância aparente, na banda 1 de uma imagem ETM+, 220/74, de 05/01/2002.	118
5.24 – Reflectância média (colunas) e desvio padrão (barras) dos alvos em diferentes estádios fenológicos (de imagens uniformizadas) para os anos de 2000 a 2003..	122
5.25 – Dados do índice razão simples (IVP/V) dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 e 2001, em duas escalas de linhas de grade.....	123
5.26 – Dados do índice razão simples (IVP/V) dos 50 alvos monitorados nos anos de 2002 e 2003, em duas escalas de linhas de grade.....	124
5.27 – Dados do índice NDVI dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003....	126
5.28 – Banda 5 versus NDVI dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.	127
5.29 – Reflectância da banda 1 versus banda 2 dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.	129
5.32 – Reflectância da banda 1 versus banda 3 dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.	131

5.33 – Comportamento espectral da cana-de-açúcar em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.	135
5.34 – Área de cana-de-açúcar do município de Ipuã estimada com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa de referência de campo, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.....	137
5.35 – Área de pastagem do município de Ipuã obtida com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa de referência de campo, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.	138
5.36 – Área de cana-de-açúcar do município de Ipuã obtida com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa da classificação MAXVER, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.....	140
5.37 – Área de pastagem do município de Ipuã obtida com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa da classificação MAXVER, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.....	141
5.38 – Localização dos 262 pontos amostrais do painel amostral nos três municípios da região de estudo.	142
5.39 – Participação estimada de cada cultura e da cana-de-açúcar não colhida, em 2003, total e por município.	146
A.1 – Calendário das bandas 1 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	161
A.2 – Calendário das bandas 2 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	162
A.3 – Calendário das bandas 3 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	163
A.4 – Calendário das bandas 4 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	164
A.5 – Calendário das bandas 5 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	165
A.6 – Calendário das bandas 7 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.	166
B.1 – Comportamento espectral da soja em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.	167
B.2 – Comportamento espectral do milho em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.	168
B.3 – Comportamento espectral da mata em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.	169
B.4 – Comportamento espectral da pastagem em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância	

representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.	170
B.5 – Comportamento espectral da palhada em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.	171
B.6 – Comportamento espectral do solo exposto em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.	172

LISTA DE TABELAS

2.1– Comparação de algumas características das culturas de trigo (gramínea) e de feijão (leguminosa).	37
3.1 – Coordenadas geográficas dos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra.	50
3.2 – Área segundo o uso do solo (1995/1996) para o EDR de Orlândia.	50
3.3 – Área plantada no ano de 2001 com lavoura temporária e permanente no EDR de Orlândia.	51
3.4 – Área plantada no ano de 2001 com cana-de-açúcar, milho e soja nos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, no EDR de Orlândia, no Estado de São Paulo, e no Brasil.	52
3.5 – Quantidade produzida de cana-de-açúcar, milho e soja nos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, no EDR de Orlândia, no Estado de São Paulo, e no Brasil.	52
3.6 – Períodos favoráveis e desfavoráveis por mês e decêndio para o plantio de soja e milho para os municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra.	53
3.7 – Época de preparo do solo e plantio para a cana-de-açúcar do EDR de Orlândia.	53
4.1 – Imagens do banco de dados.	61
4.2 – Faixa espectral e região espectral das bandas 1 a 5 e 7 dos sensores TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7.	62
4.3 – Cálculo da temperatura média de Ipuã a partir de dados de temperatura média do município de Franca.	62
4.4 – Dados de precipitação para o município de Franca.	63
4.5 – Pontos de controle coletados com GPS e respectivas coordenadas geográficas e descrição para registro de imagens, realizado em outubro de 2001.	66
4.6 – Imagens Landsat do banco de dados divididas em época chuvosa e seca.	67
4.7 – Valores de ND mínimo e máximo obtidos com a ferramenta “estatística por polígono” disponível no SPRING para cada um dos polígonos correspondentes aos doze alvos da banda 1 das imagens dos dias 08/01/00 e 05/01/02.	69
4.8 – ND máximos referentes aos alvos claros e ND mínimos referentes aos alvos escuros da banda 1 escolhidos para fazer as regressões lineares entre as imagens dos dias 08/01/00 e 05/01/02.	70
4.9 – Seis alvos escolhidos para fazer a regressão linear entre a banda 1 das imagens do dias 08/01/00 e 05/01/02 para posterior uniformização.	70
4.10 – Número de pontos amostrais, área mínima estimada e resolução amostral do painel amostral do banco de dados pré-existente e do painel amostral que será utilizado neste trabalho.	76
5.1 – Erro de registro das imagens contidas no banco de dados. A imagem base foi a de 05/01/02.	79
5.2 – Erro de registro em metros e resolução espacial das imagens contidas no banco de dados.	80
5.3 – Regressões lineares obtidas entre os ND dos seis alvos (claros e escuros) da imagem de referência da época chuvosa e os ND dos seis alvos de cada uma das demais imagens da mesma época e respectivos coeficientes de determinação (R^2).	83

5.4 – Regressões lineares obtidas entre os ND dos seis alvos (claros e escuros) da imagem de referência da época seca e os ND dos seis alvos de cada uma das demais imagens da mesma época e respectivos coeficientes de determinação (R^2).	84
5.5 – Valores de SQR obtidos para todas as imagens.	92
5.6 – Área das classes temáticas do mapa de referência de campo.	99
5.7 – Matriz de erro do mapa de uso gerado pela classificação Ioseg, exatidão global e estatística Kappa.	103
5.8 – Matriz de erro do mapa de uso gerado pela classificação MAXVER, exatidão global e estatística Kappa.	104
5.9 – Quantidade de talhões de cada alvo nos 50 talhões monitorados, nos anos de 2000 a 2003.	115
5.10 – Meses de ocorrência dos alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.	117
5.11 – Valores de reflectância mínimos e máximos dos alvos por banda para o anos de 2000 a 2003. O número de talhões analisados para cada tipo de cobertura do solo está entre parênteses.	119
5.12 – Matriz de correlação obtida a partir dos dados de reflectância dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.	128
5.13 – Número de pontos amostrais e percentual, entre parênteses, por cultura, em 2003.	143
5.14 – Estimativa de área agrícola, por cultura, do município de Guará.	144
5.15 – Estimativa de área agrícola, por cultura, do município de Ipuã.	144
5.16 – Estimativa de área agrícola, por cultura, do município de São Joaquim da Barra	144
5.17 – Estimativa de área agrícola total (três municípios) por cultura.	145
5.18 – Diferença entre as estimativas calculadas pelo método proposto e as estimativas do IEA/CATI.	147

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AE	- Aeroporto
AG	- Corpos d'água
AR	- Arroz
AV	- Aveia
CA	- Cana-de-açúcar
CAn	- Cana-de-açúcar nova
CATI	- Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CBERS	- <i>China-Brazil Earth Resources Satellite</i> (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres)
CCD	- <i>Charge-Coupled Device</i> - câmara imageadora
C/E	- Construções e estradas
CIIAGRO	- Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas
CP	- Campo de pólo
CV	- Coeficiente de variação
DOS	- <i>Dark-object subtraction technique</i>
EDR	- Escritório de Desenvolvimento Regional
ETM+	- <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FAO	- <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FE	- Feijão
GA	- Mata de galeria
GPS	- <i>Global Positioning System</i>
IAC	- Instituto Agrônomo de Campinas
IAF	- Índice de Área Foliar

IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	- Instituto de Economia Agrícola
IN	- Área inaproveitada
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVP	- Infravermelho próximo (banda espectral da região do infravermelho próximo)
IVM	- Infravermelho médio (banda espectral da região do infravermelho médio)
LEGAL	- Linguagem espacial para geoprocessamento algébrico
LI	- Limite inferior para o intervalo de confiança da Distribuição Binomial
LS	- Limite superior para o intervalo de confiança da Distribuição Binomial
LSPA	- Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
LUPA	- Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola
MA	- Mata
MI	- Milho
ML	- Milheto
MARS	- <i>Monitoring Agriculture with Remote Sensing</i>
MAXVER	- Máxima Verossimilhança
NASS	- National Agricultural Statistics Service of the United States
ND	- Nível Digital
NDVI	- <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Índice de vegetação por diferença normalizada)
PA	- Palhada
PS	- Pastagem
PIB	- Produto Interno Bruto
PREVS	- Pesquisa Objetiva de Previsão de Safras
RAD	- Radiância

RGB	- <i>red, green, blue</i>
RS	- Índice de vegetação razão simples
SAA	- Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo
SAVI	- <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SE	- Solo exposto
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SJB	- Município de São Joaquim da Barra, SP
SPE	- Técnica de subtração do pixel escuro
SR	- Sorgo
SQR	- Soma do Quadrado dos Resíduos
SRHSO	- Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Obras
TM	- <i>Thematic Mapper</i>
TR	- Trigo
UR	- Área urbana
USDA	- <i>United States Department of Agriculture</i>
V	- Vermelho (banda espectral da região do vermelho)

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A agricultura é de grande importância para o desempenho da economia brasileira. Isto pode ser exemplificado pela sua participação no Produto Interno Bruto (PIB). A agropecuária representa cerca de 12% do PIB nacional, se for levado em conta apenas o valor da produção, e 35%, ao considerar todo o complexo agroindustrial. O peso dos produtos de origem agrícola na pauta de exportações é alto, sendo a agricultura responsável por mais de 25% do total exportado pelo País. O Brasil tem destaque no cenário internacional como grande exportador de alguns produtos como o café, o suco de laranja, a soja e o açúcar. Além disso, a agricultura tem contribuído para o controle da inflação (Pessôa, 2003a).

De acordo com Pessôa (2003a, 2003b), a produção agrícola do Brasil apresenta grande potencial de crescimento não só devido a fatores como o clima favorável e as extensas áreas cultiváveis, mas também por questões ambientais. Há uma crescente pressão ambiental nos países desenvolvidos para que alternativas mais ecológicas e sustentáveis sejam implementadas, como a substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis de fontes renováveis e não-poluentes. Neste cenário, o álcool da cana-de-açúcar brasileira poderá ter papel importante.

Para um país com tanto potencial agrícola, a previsão de safras se torna imprescindível, o que justifica que pesquisas sejam continuamente geradas para o desenvolvimento e aprimoramento de metodologias que permitam a aquisição de dados mais confiáveis de produtividade e área cultivada para a estimativa de safras.

A realização das estatísticas agrícolas nacionais é de competência do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Pelo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) é feita uma pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das

safras, baseada em entrevistas com pessoas ligadas ao meio agrícola, e, portanto, de caráter subjetivo (IBGE, 2002).

Levantamentos subjetivos têm seu mérito; no entanto, se forem obtidos de forma não-probabilística eles não possibilitam realizar avaliações estatísticas (Luiz, 2002). O Brasil ainda não possui uma metodologia operacional que permita a realização de avaliações estatísticas para todo o território (Ippoliti-Ramilo et al., 1999).

Vários autores afirmaram que as técnicas de sensoriamento remoto, por inúmeros motivos, são de grande utilidade para a produção de estatísticas agrícolas (González-Alonso et al., 1991; Tsiligirides, 1998; USDA-NASS, 2003), principalmente para amplos territórios. Os dados de sensoriamento remoto são obtidos de forma objetiva e precisa e por isso vêm sendo cada vez mais aplicados nas estimativas de área agrícola em todo o mundo (Ippoliti-Ramilo, 1999).

Segundo Chen (1990), um desafio à previsão de safras no Brasil é conseguir realizar todas as fases da pesquisa e fornecer os resultados até o fim da safra, o que corresponde a um período de apenas 3,5 meses. Além disso, é pertinente ressaltar o problema de cobertura de nuvens, que é intensificado na época dos cultivos e que atrapalha a obtenção de imagens de sensores ópticos livre de nuvens, mas que pode ser minimizado futuramente pela utilização de dados gerados por sensores com boa resolução espacial e alta resolução temporal.

A necessidade de tornar operacional uma metodologia de previsão de safras fundamentada nas técnicas de sensoriamento remoto e amostragem de área é justificada por permitir a obtenção de estimativas agrícolas objetivas, com conhecimento sobre o erro das mesmas, e também para colocar em prática anos de pesquisa e justificar os investimentos que foram e que estão sendo feitos nesta área.

Neste contexto, o presente trabalho tem como hipóteses que levantamentos agrícolas amostrais obtidos com auxílio de dados de sensoriamento remoto são precisos e objetivos, o que possibilita a avaliação estatística da metodologia empregada; e que um conhecimento mais detalhado do comportamento espectral e temporal das culturas se

faz necessário para melhor explorar os dados de sensoriamento remoto e facilitar o processo de interpretação agrícola de estimativa de área cultivada.

1.1 - Objetivo

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento espectro-temporal de culturas agrícolas e obter a estimativa de área agrícola das principais culturas de uma determinada região, a partir de uma metodologia baseada em sensoriamento remoto.

1.2 - Objetivos Específicos

- Fazer uma análise multitemporal baseada em imagens Landsat para levantar o perfil espectro-temporal das culturas e mata dos municípios de Ipuã, Guará e São Joaquim da Barra, SP;
- Obter as estimativas de área das principais culturas agrícolas (cana-de-açúcar e soja) para a região de estudo, para o ano civil de 2003, utilizando um sistema amostral por pontos;
- Obter e analisar o erro das estimativas de área agrícola obtidas.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Processamento de Imagens de Satélite

2.1.1 - Etapa de Pré-Processamento

O pré-processamento de imagens de satélite a que se refere este trabalho consiste nas etapas de registro, correção atmosférica e uniformização de imagens.

O registro espacial de imagens multitemporais ou multisensores é o processo que permite que dois pixels, em duas imagens diferentes, de uma mesma área coincidam com um mesmo ponto no terreno, o que é fundamental para as análises multitemporais (Schowengerdt, 1997). O registro é feito por transformações polinomiais de 1º e 2º graus, em que as coordenadas da imagem vinculadas às coordenadas do sistema de referência por meio de pontos de controle.

A correção atmosférica é feita com a intenção de minimizar os efeitos atmosféricos na radiância de uma cena, visto que a atmosfera, por causa dos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética, afeta a radiância refletida pela superfície.

Nem sempre é necessário fazer a correção atmosférica, mas para monitorar a superfície terrestre ao longo do tempo esse pré-processamento é imprescindível para deixar os dados multitemporais na mesma escala radiométrica (Song et al., 2001).

O espalhamento atmosférico possui um efeito aditivo sobre os valores de reflectância dos alvos que chegam ao sensor. Este efeito é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (espalhamento de Rayleigh). Como resultado, as bandas localizadas nas faixas espectrais de comprimentos de onda menores sofrem maior influência do espalhamento atmosférico.

Por outro lado, a absorção atmosférica tem um efeito de subtração dos valores de reflectância nos comprimentos de onda maiores (infravermelho). Isto é consequência da absorção da energia eletromagnética, nesta região do espectro, pelas moléculas de água na atmosfera.

Para realizar uma análise temporal quantitativa de dados de sensoriamento remoto, a interferência da atmosfera deve ser levada em conta. Técnicas e programas que visam corrigir os efeitos da atmosfera vêm sendo desenvolvidos e aprimorados. No entanto, conforme Formaggio e Epiphonio (1990), a coleta de todos os parâmetros que permitam uma caracterização minuciosa e completa da atmosfera, sobre uma determinada área num determinado instante, é muito difícil de ser obtida.

Como o espalhamento atmosférico é altamente dependente do comprimento de onda na parte visível do espectro eletromagnético, e os valores de espalhamento são correlacionados entre si, os dados multiespectrais, como os do satélite Landsat, devem ser corrigidos com valores do espalhamento atmosférico (*haze*) que levem em conta as bandas espectrais. Chavez (1988) desenvolveu uma técnica de subtração de pixel escuro (SPE) (*Dark-object subtraction technique - DOS*), a qual permite que o usuário escolha um modelo de espalhamento atmosférico relativo, e a partir de um valor de entrada de *haze* para uma banda são estimados os valores de *haze* para todas as bandas espectrais. Este método normaliza os valores de *haze* preditos para os diferentes parâmetros de ganho e *offset* usados pelo sistema imageador.

O processamento de correção radiométrica de imagens possuiu algumas outras denominações, como retificação, normalização, calibração e uniformização radiométrica. No entanto, este último termo parece ser mais adequado, considerando que, como resultado do processamento em questão, tem-se uma uniformização do comportamento espectral dos alvos considerados invariantes ao longo de um certo tempo (Gürtler et al., 2003).

Segundo Casselles e López-García (1989), Hill e Sturm (1991) e Furby e Campbell (2001), a uniformização radiométrica de imagens pode ser realizada a partir de alvos que são assumidos como espectralmente invariantes no tempo. O processamento é feito

aplicando-se uma equação de regressão linear, obtida a partir de pares de pixels localizados em alvos invariantes de duas imagens, sendo uma imagem referência e outra imagem de data diferente correspondente à mesma cena.

Para obter uma melhor uniformização de imagens, e tendo em vista que os parâmetros de calibração dos sensores variam por sensor e por data, Gürtler (2003) agrupou as imagens considerando o tipo de sensor, a época do ano e a resolução espacial das mesmas. No entanto, a autora concluiu que o ideal é considerar apenas dois grupos levando em consideração somente a época do ano: seca ou chuvosa.

2.1.2 - Etapa de Processamento

A segmentação de imagens é realizada antes da classificação, e, segundo Moreira (2001), tenta solucionar a subjetividade na aquisição de amostras na etapa de treinamento. Os algoritmos de segmentação baseiam-se no critério de descontinuidade ou de similaridade.

A segmentação por crescimento de regiões é uma técnica de agrupamento de dados na qual somente os pixels espacialmente adjacentes podem ser agrupados (INPE, 2002). Este processo inicia-se com a rotulação de cada pixel como sendo uma região distinta. Em seguida é calculado um critério de similaridade (baseado em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões) para cada par de regiões espacialmente adjacentes. Depois, a imagem é dividida em um conjunto de sub-imagens e, posteriormente, estas sub-imagens são unidas segundo um limiar de agregação definido (INPE, 2002).

A técnica por crescimento de regiões é amplamente utilizada para áreas agrícolas e áreas de vegetação natural devido ao seu bom desempenho (Moreira, 2001). Segundo Oliveira et al. (2003), a técnica de segmentação por crescimento de regiões sobre imagem ETM+/Landsat-7 é bastante eficiente para a delimitação dos alvos agrícolas.

A classificação de imagens é o processo utilizado para produzir mapas temáticos a partir de dados de imageamento, e pode ser dividida em três grandes passos: extração de feições, treinamento e rotulação (Schowengerdt, 1997).

A classificação não-supervisionada é um procedimento em que a interação do analista com o sistema é mínima. No entanto, certos algoritmos necessitam que o analista forneça alguns parâmetros na fase de treinamento. Embora os classificadores não-supervisionados sejam indicados nos casos em que o analista não possui conhecimento *a priori* da área de estudo, eles também podem ser usados quando se conhece a área. Isto é feito quando se quer eliminar a subjetividade no processo de obtenção das amostras de áreas, para criar o pacote de treinamento, como indicado no processo supervisionado (Moreira, 2001).

O Isoseg é uma técnica de classificação não-supervisionada que procura agrupar regiões a partir de uma medida de similaridade entre elas. Esta medida de similaridade consiste na distância de Mahalanobis entre a classe e as regiões candidatas à relação de pertinência com esta classe. Este classificador utiliza a matriz de covariância e o vetor de média para estimar o valor central de cada classe, e pode ser resumido em três etapas (INPE, 2002): definição do limiar (distância de Mahalanobis), detecção das classes e competição entre classes. Ao final, todas as regiões estarão associadas a uma classe definida pelo algoritmo, e o usuário deverá associar estas classes às classes por ele definidas.

A classificação supervisionada usa algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento fornecida ao sistema pelo analista. Entre os classificadores supervisionados mais empregados está o de máxima verossimilhança (MAXVER) (Moreira, 2001). MAXVER é o método de classificação pixel a pixel mais comum (INPE, 2002). Este classificador requer estimativas de algumas características estatísticas (vetor média e matriz de covariância) das classes às quais os pixels serão alocados. Estas estimativas são obtidas através de amostras de treinamento que servirão de base para a classificação da imagem (Mather, 1999).

Segundo Moreira (2001), a classificação por MAXVER pode ser dividida em duas partes: a primeira consiste no treinamento e a segunda na classificação propriamente dita. Nesta classificação, o analista define um limiar de aceitação. O limiar de aceitação indica a porcentagem de pixels da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a esta classe. E para diminuir a confusão entre classes, amostras significativas de alvos distintos devem ser adquiridas, além da avaliação da matriz de classificação das amostras (INPE, 2002).

Para Schowengerdt (1997), enquanto a classificação de pixels no espaço espectral é independente de qualquer relacionamento espacial, a segmentação incorpora informações espaciais e espectrais na classificação não-supervisionada.

Outra maneira de classificar uma imagem é pela interpretação visual. O intérprete leva em consideração o comportamento espectral do alvo, a forma, o tamanho, a textura, a localização, entre outras características. Gürtler (2003) levantou as principais características de alguns alvos para a identificação dos mesmos (Figura 2.1).

Classes	Cor na composição RGB 453	Características
Cana-de-açúcar	Vermelho	Talhões grandes, com carregadores, geralmente rodeados pela mesma cultura; pode ser de ciclo longo, fica muitos meses no campo.
Soja	Amarelo	Raramente em pivôs-centrais; fica pouco tempo no campo e somente entre outubro e março. É comum ser plantada em áreas de cana-de-açúcar.
Milho de verão	Vermelho – alaranjado	A cor pode ser confundida com a cana-de-açúcar; mas não apresenta carregadores e fica poucos meses no campo, cerca de quatro meses e na época chuvosa.
Milho safrinha	Vermelho – alaranjado	É cultivado entre abril e agosto e possui as mesmas características do milho de verão.
Milho irrigado	Alaranjado	É plantado em pivôs centrais, possui coloração intensa e pode ser cultivado o ano todo.
Solo exposto	Azul escuro	Como os solos da região são muito escuros, a coloração na imagem também é escura.
Palhada	Azul ou ciano muito claro ou branco	Pode ocorrer após a cultura do milho, da soja e da cana-de-açúcar.
Pastagem	Acinzentado	Normalmente, ocorre próximo à drenagem e em terrenos mais acidentados, tendo, portanto, formas irregulares.
Construções	Azul vivo	Simétrico em cor intensa.
Mata	Vermelho a marrom	Áreas fragmentadas, com textura rugosa.
Mata de galeria	Vermelho a marrom	Estreitas faixas em torno dos rios, com textura rugosa.

FIGURA 2.1 – Quadro com a cor na composição RGB 453 e característica de alvos encontrados nos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra-SP. FONTE: Gürtler (2003).

2.2 - Sensoriamento Remoto Agrícola – Análise Multitemporal e Espectral

2.2.1 - Análise Multitemporal

Estudos multitemporais envolvem análises em um período estendido de tempo. No caso do sensoriamento remoto, correspondem à aquisição de duas ou mais imagens, que deverão ser co-registradas antes de serem analisadas.

Para o monitoramento da atividade agrícola, é preciso fazer um acompanhamento periódico, visto que as culturas levam um determinado tempo para se desenvolverem. No caso de estimativas agrícolas, além do tempo do ciclo das culturas, é importante levar em conta que cada cultura tem uma época indicada ou apropriada para ser plantada e colhida. Imagens de satélite obtidas em uma data apenas têm valia limitada para levantar dados de todas as culturas de uma região. Assim, para obter dados de estatísticas agrícolas, ou realizar estudos sobre o comportamento espectral das culturas agrícolas, com o uso de dados de sensoriamento remoto, é recomendável uma análise multitemporal.

Para Apan e Potgieter (2002), a razão que motiva utilizar análises multitemporais baseia-se na premissa de que a imagem de uma única data não fornece informações espectrais que permita identificar todas as culturas plantadas numa determinada estação. Imagens multitemporais podem prover maiores informações sobre área plantada e indicações sobre o crescimento e desenvolvimento de culturas, os quais podem ser elementos chaves na discriminação espectral de diferentes culturas.

Segundo Pax-Lenney e Woodcock (1997), nos países tropicais a alta variabilidade temporal da paisagem dificulta o monitoramento das terras, e, por isso, uma única imagem de satélite pode não ser suficientemente representativa. Assim, a dinâmica das áreas agrícolas poderá ser mais bem monitorada com imagens multitemporais.

Tardin et al. (1990) afirmam ser essencial a exploração do aspecto temporal por causa da complexidade dos diversos tipos de manejo adotados na agricultura brasileira. Segundo Mendonça et al. (1981), para identificar áreas de cana-de-açúcar é mais

eficiente utilizar uma metodologia que explore conjuntamente as variações espectral e temporal.

Conforme Ortiz et al. (1997), um pressuposto que apóia o uso de dados multitemporais é o fato de haver uma tradição regional de cultivo, sendo que fatores como solo, clima e infra-estrutura, fazem com que, numa determinada área, ao longo dos anos, seja plantado um mesmo conjunto de culturas. Áreas plantadas com as mesmas culturas durante anos sucessivos criam padrões úteis no processo de interpretação para a identificação de alvos agrícolas.

De acordo com as conclusões de uma pesquisa realizada por Ippoliti-Ramilo (1999) e Ippoliti-Ramilo et al. (2003), dados multitemporais do sensor TM/Landsat-5 da época de pré-plantio permitiram a identificação e o cálculo da superfície dos talhões que seriam plantados com culturas de ciclo curto no verão subsequente.

Embora as imagens adquiridas durante o pico de crescimento das plantas sejam mais indicadas do que imagens de outras fases de crescimento, em alguns casos a combinação de imagens da época de máximo desenvolvimento com imagens de outro período de menor desenvolvimento proporciona resultados melhores (Pax-Lenney e Woodcock, 1997).

2.2.2 - Análise Espectral

A folha é o componente das plantas que mais influencia as propriedades espectrais dos dosséis das culturas agrícolas, e por isso o conhecimento de suas propriedades ópticas é muito importante. A quantidade de energia que as folhas das plantas refletem é função da incidência da radiação solar, da quantidade de energia absorvida e da quantidade de energia transmitida. De forma sucinta, o comportamento espectral das folhas na região do visível é determinado pela concentração de clorofila e outros pigmentos; no infravermelho próximo é afetado pela estrutura do mesófilo; e no infravermelho médio é dominado pelas propriedades ópticas da água nos tecidos (Bauer et al., 1981b).

As características de reflectância dos dosséis variam com as propriedades ópticas do solo, folha, morfologia do dossel e direção de visada e iluminação. A morfologia do dossel, ou seja, o arranjo geométrico da folhagem no espaço, varia com as mudanças nas variáveis agronômicas (como o estágio de maturação, o índice de área foliar, e a porcentagem de cobertura de solo) e fatores culturais e ambientais (época de plantio, cultivar, espaçamento).

Do ponto de vista do sensoriamento remoto um ciclo agrícola completo corresponde a uma seqüência de etapas: solo exposto, acúmulo de clorofila e aumento da cobertura verde sobre o solo, queda da quantidade de clorofila, solo exposto novamente (Epiphanyo, 1988).

Segundo Bauer et al. (1981a), é importante quantificar e entender as fontes de variação na resposta espectral das plantas para se ter sucesso no uso de sensoriamento remoto multiespectral no monitoramento de culturas agrícolas. Algumas variações podem estar associadas a importantes fatores agronômicos (por exemplo, áreas irrigadas, cultivares, etc.) No início da época de plantio o solo tende a ser a fonte dominante de variação. Quando os dosséis começam a se desenvolver, o espaçamento, a população de plantas, o uso de fertilizantes e a disponibilidade de umidade no solo tornam-se importantes fatores na resposta espectral. Na maturação, o cultivar e a época de plantio são as principais fontes de variação, justamente por influenciarem na data de maturação das culturas.

Formaggio e Epiphanyo (1990) dividem o ciclo fenológico das culturas agrícolas em três grandes fases: (1) envolve o plantio, a germinação e o desenvolvimento inicial, a cultura não recobre totalmente a superfície do solo e, por isso, há a domínio do solo nas interações com a radiação eletromagnética; (2) o dossel já está formado e na metade desta fase ocorre o florescimento e a formação dos grãos, e há o domínio da cobertura verde nas interações da cultura com a radiação; (3) maturação e senescência, em que o domínio espectral é o da vegetação seca juntamente com o solo exposto.

São vários os parâmetros importantes para o sensoriamento remoto agrícola e por isso as relações entre as propriedades físicas e morfológicas de um dossel agrícola são

dinâmicas e não correspondem de modo único nem simples a uma assinatura espectral imutável (Formaggio e Epiphanio, 1990).

2.2.2.1 - Comportamento Espectral de Algumas Culturas Agrícolas

Para Epiphanio (1988), o caráter diferenciado de desenvolvimento das culturas ou famílias de culturas deve ser levado em consideração quando se deseja estudar o comportamento espectral de culturas agrícolas. O autor comparou algumas características importantes das culturas de trigo e feijão em áreas irrigadas, que estão descritas na Tabela 2.1. No mesmo estudo foi constatado que as bandas de melhor desempenho para a separação entre as duas culturas mencionadas foram a TM7, TM2, TM5 e TM3, e que a época da passagem do satélite influenciou de forma diferenciada o desempenho das bandas. A época mais propícia para a diferenciação dessas culturas foi a época em que as culturas apresentavam maior vigor vegetativo.

TABELA 2.1– Comparação de algumas características das culturas de trigo (gramínea) e de feijão (leguminosa).

	Trigo	Feijão
Família	gramínea	leguminosa
Espaçamento de plantio	pequeno	muito maior que o do trigo
Densidade de sementes por metro linear	alta	baixa
Teor de clorofila	Mais clorofila	Menos clorofila
Desenvolvimento da planta	Crescimento inicial e perfilhamento rápidos, contínua produção de folhas e contínuo processo de senescência foliar após o perfilhamento	Desenvolvimento em termos de emissão foliar é lento no início, há o crescimento geométrico das folhas até o início da maturação, e contínuo incremento do número de folhas fotossinteticamente ativas
Cobertura completa do solo	Em pouco tempo	Num tempo maior
Comportamento espectral	Mais regular	Mais irregular
Expressão do comportamento típico de vegetação	Menos de 30 dias após o plantio	De 40 a 50 dias após o plantio

Ao analisar o comportamento espectral da cultura do feijão em faixas espectrais correspondentes as bandas do sensor TM do Landsat-5, Epiphanio (1988) constatou que os níveis digitais correspondentes a área da cultura aumentaram no infravermelho próximo e médio (TM4 e TM5) desde as fases iniciais (solo exposto) passando pelas intermediárias (solo exposto e massa verde) e pelas fases de vigor máximo (cobertura total do solo). Nas fases finais do ciclo, quando as folhas normalmente já secaram e

caíram, restando praticamente apenas os tecidos de sustentação e as vagens, com grande porcentagem de solo exposto novamente, os níveis digitais nas bandas 4 e 5 diminuem, sendo que na banda 4 a diminuição é maior que na banda 5 (Formaggio e Epiphonio, 1989).

Na banda do vermelho (TM3), à medida que o feijão se desenvolve há a diminuição dos valores de reflectância por causa do aumento do IAF e conseqüente aumento da quantidade de clorofila. Isto ocorre até determinada fase, a partir da qual o valor de reflectância fica constante. Na banda do infravermelho próximo (TM4) ocorre o contrário, e a reflectância aumenta até a etapa de senescência da planta (Formaggio e Epiphonio, 1990).

O feijão e a soja são da família das leguminosas, e essas duas culturas possuem comportamento semelhante. Rudorff et al. (1990) observaram que quando a soja entra em senescência, a energia absorvida nos comprimentos de onda do vermelho diminui devido à senescência das folhas, e a energia refletida nos comprimentos de onda do infravermelho também diminui devido à degeneração das células das folhas; além da queda do índice de área foliar.

A dinâmica do comportamento espectral do trigo é bem distinta em relação à do feijão. Nas primeiras fases do ciclo do trigo, em que a cobertura vegetal é baixa, a resposta espectral predominante é a do solo. Entretanto, já aos 22 dias a resposta apresenta as feições típicas de vegetação verde vigorosa, que só se descaracteriza quando a parte aérea da planta se torna totalmente amarelada na fase de maturação das espiguetas (Formaggio e Epiphonio, 1989).

Rudorff e Batista (1989), ao analisarem dados obtidos com espectrorradiômetro no município de Assis-SP, observaram que quando o trigo começa entrar em maturação há uma queda da energia absorvida no comprimento de onda do vermelho por causa da senescência das folhas, e diminuição da energia refletida no infravermelho próximo em virtude da degeneração das células das folhas e diminuição do IAF. Formaggio e Epiphonio (1989), num estudo da região de Barretos-SP, verificaram que o trigo mais novo quando comparado a um mais desenvolvido apresenta valores de nível digital

maiores na banda do vermelho (TM3) e menores na banda do infravermelho próximo (TM4).

2.2.2.2 - Conversão de Números Digitais em Reflectância

Em uma imagem de satélite a cada pixel está associado um nível de cinza ou número digital (ND), que é uma representação numérica quantizada dos valores de radiância correspondentes a cada área imageada no terreno (Formaggio e Epiphonio, 1990).

A conversão de números digitais obtidos com sensores orbitais para valores de radiância ou de reflectância permite uma melhor comparação de dados de imagens obtidas em diferentes datas (Markham e Barker, 1986).

As diferenças entre as radiâncias e os números digitais são determinadas pelos parâmetros de calibração do sensor. O ND de um alvo na banda 4, por exemplo, pode ser menor que o ND na banda 5, embora a reflectância deste alvo na banda 4 seja maior que na banda 5. Ou seja, um mesmo valor de nível digital corresponde a diversos valores de reflectância (dependendo da banda, da localização da área e da data de passagem). Como os números digitais são pouco correlacionados com o comportamento espectral dos alvos, são os dados de reflectância que devem ser usados quando se deseja analisar o comportamento espectral de alvos em imagens digitais (Epiphonio e Formaggio, 1989). Os autores ainda chamam a atenção para o fato de que a reflectância deve ser usada também para a realização de razão entre bandas espectrais, visto que com os números digitais os resultados obtidos não seriam coerentes.

2.2.2.3 - Índices de Vegetação

Os índices de vegetação servem para diminuir a quantidade de dados a serem analisados e tornar mais eficiente a extração de informações.

De acordo com Jackson et al. (1983) um índice de vegetação deve satisfazer três condições: ser sensível à vegetação, ser insensível ao solo e sombra, e ser pouco influenciado pela atmosfera. No entanto, não existe um índice de vegetação com todas

essas características, e por isso, o autor recomenda o uso de dois ou mais índices ao mesmo tempo.

A Razão Simples (RS) é um dos índices mais utilizados para realçar a vegetação. Foi proposto por Jordan (1969), e é obtido pela razão entre os valores dos ND ou das reflectância dos alvos nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho (IVP/V).

O índice conhecido como Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1973) e consiste na razão entre a diferença dos valores dos ND ou das reflectância dos alvos nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho e a soma dessas duas bandas $(IVP-V)/(IVP+V)$.

Ao analisar dois índices baseados em razões de bandas entre o infravermelho próximo (IVP) e o vermelho (V) (NDVI e SAVI), Epiphonio e Huete (1995) constataram que existem quatro situações nas quais um fator pode influenciar as bandas espectrais e conseqüentemente os índices de vegetação: (a) um fator pode causar ao mesmo tempo o aumento do IVP e a diminuição do V resultando no aumento do índice de vegetação (associado ao desenvolvimento das plantas); (b) um fator pode fazer com que ambas as bandas tenham seu valor elevado (relacionado com efeitos de espalhamento molecular e aerossóis atmosféricos) ou (c) diminuído (pode ocorrer dependendo da formulação dos índices de vegetação), e, nesses casos, o índice de vegetação pode aumentar ou diminuir; e também (d) um fator pode ocasionar o aumento no V e redução no IVP (influência atmosférica), resultando na diminuição do índice.

Formaggio e Epiphonio (1990) observaram que existe uma boa relação entre o índice RS e o Índice de Área Foliar (IAF) para as culturas do trigo (gramínea) e feijão (leguminosa).

Moreira e Nitzche (1991), ao analisarem os índices NDVI e RS na região do Distrito Federal, verificaram que os valores dos dois índices foram numericamente maiores para a cultura da soja (leguminosa) do que para a cultura do milho (gramínea). Isto ocorreu devido ao aumento da cobertura do solo da soja (quando comparada ao milho) e conseqüentemente aumento da reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho

próximo (causado pelas múltiplas reflexões das camadas foliares) e uma menor reflectância na região espectral do vermelho (ocasionada pela maior presença de clorofila).

2.3 - Estatísticas Agrícolas

Para Pino (1999), a estatística agrícola é definida como o conjunto de estatísticas sobre variáveis referentes ao setor agropecuário, enquanto para Luiz (2002), a estatística agrícola pode ser definida como qualquer número que represente uma característica do meio agrícola.

Segundo Pino (1999), a informação estatística, a qual consiste em dados estatísticos analisados e não simplesmente conjuntos de números obtidos estatisticamente, fornece poder de decisão para indivíduos e organizações, além de servir como base para estudos mais profundos em diferentes áreas, como a economia agrícola.

O conjunto de procedimentos necessários para a obtenção das estatísticas agrícolas é denominado levantamento agrícola (Luiz, 2002).

Os levantamentos agrícolas podem ser classificados como censitários ou amostrais. O levantamento censitário tem como objetivo fornecer uma classificação detalhada da estrutura agrícola de um país, e o valor de cada variável para a área total do levantamento é obtido a partir dos valores das variáveis em todas as unidades. No levantamento amostral, o valor de cada variável para a área total do levantamento é obtido a partir de inferências feitas sobre uma amostra da população (FAO, 1996).

Pelo critério de amostragem os levantamentos agrícolas podem ser probabilísticos ou não-probabilísticos; e, pela forma de medição das variáveis, podem ser objetivos ou subjetivos. São probabilísticos quando todo e qualquer elemento da população tem garantida uma probabilidade conhecida e não nula de pertencer a uma amostra selecionada, sendo possível o cálculo da variância das estimativas (entre outras análises estatísticas). São não-probabilísticos quando não possuem tais características. São subjetivos quando os valores de uma variável são obtidos de forma indireta ou sujeita a

interferências não controlas (como nas entrevistas), e objetivos quando os valores de uma variável são coletados diretamente e geralmente com o uso de instrumentos de medição (Luiz, 2002).

Os levantamentos amostrais probabilísticos podem ser por área, por listas ou mistos. No levantamento por listas, a população é representada por uma lista; no levantamento por área, a população é uma determinada extensão territorial, as unidades de amostragem são os segmentos, e a probabilidade de seleção de cada segmento é proporcional à sua área. O levantamento misto é uma combinação dos dois (FAO, 1996).

Existem três tipos de segmentos usados nos levantamentos agrícolas por área: quadrados, com fronteiras físicas identificáveis, e os que coincidem com a área das propriedades agrícolas (FAO, 1996). Segmentos de amostragem quadrados exigem um menor custo para serem implantados e por isso são os mais indicados para serem adotados nos levantamentos de países em desenvolvimento, além de não necessitarem de um conhecimento preliminar do território (Tsiligirides, 1998). Num trabalho desenvolvido por Gonzáles-Alonso et al. (1991), os autores concluíram que, do ponto de vista da eficiência, quando se utilizam dados de sensoriamento remoto é melhor usar o método de segmentos quadrados ao invés de segmentos irregulares.

A maioria dos levantamentos por área é estratificada, ou seja, dividem a área amostral em diferentes estratos. A estratificação tem a finalidade de reduzir a variabilidade da amostra ao separar em grupos homogêneos a população heterogênea (Cotter e Tomczak, 1994), o que gera, por consequência, um ganho na precisão da estimativa para toda a população (Cochran, 1977).

A amostragem por pontos amostrais em estratos consiste na seleção de pontos aleatórios, num mapa ou imagem, dentro de uma área determinada. A unidade amostral é definida pela procura do conjunto mais próximo de bordas que circunda o ponto, formando um segmento que terá probabilidade proporcional ao seu tamanho (FAO, 1996). De acordo com Gallego (1995), o painel amostral por pontos, quando comparado ao painel de área por segmento, tem a vantagem de ser mais fácil de ser produzido, pois não necessita de digitalização dos segmentos.

2.3.1 - Estimadores

Estimadores são os algoritmos utilizados para calcular os valores das estatísticas agrícolas desejadas (estimativas), a partir dos dados brutos coletados nos levantamentos por amostragem. Os estimadores comumente utilizados em levantamentos agrícolas são o por expansão direta e o por regressão linear. O estimador por expansão direta baseia-se apenas nos dados amostrais, e reproduz para toda a população as proporções relativas encontradas nas amostras. O estimador por regressão linear necessita de uma ou mais variáveis auxiliares, as quais devem ter seus valores disponíveis para todos os elementos da população (Luiz, 2002).

Para o método que utiliza pontos amostrais, a estimativa por expansão direta consiste em multiplicar a proporção de pontos de cada cultura em um município pela área municipal (Equação 2.1) (FAO, 1998).

$$z_{hc} = v_h \cdot n_{hc} \quad (2.1)$$

sendo que:

z_{hc} = área estimada da cultura c no município h ;

v_h = fator de expansão para um ponto;

n_{hc} = número de pontos da categoria c .

O fator de expansão é dado pela razão

$$v_h = a_h / n_h \quad (2.2)$$

sendo que:

a_h = área total do município h ;

n_h = número de pontos amostrais no município h .

Ambos os estimadores mencionados são baseados em pressupostos estatísticos, e por isso suas estimativas estão sujeitas a erros aleatórios, os quais são passíveis de serem estimados, permitindo analisar a confiabilidade dos resultados obtidos (Luiz, 2002).

2.3.2 - Levantamentos Agrícolas Realizados no Brasil

O Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) realizado pelo IBGE é uma pesquisa de previsão e acompanhamento das safras agrícolas, que fornece estimativas de área, produção e rendimento médio de 35 culturas investigadas, desde a fase de intenção de plantio até o final da colheita. A pesquisa é realizada mensalmente em todo o território nacional, e tem o ano civil como período de referência do levantamento de dados (IBGE, 2002).

A metodologia empregada no LSPA faz levantamentos sobre área plantada e colhida, produções esperada e obtida, e produtividades prevista e obtida para as culturas temporárias e permanentes. Os dados são obtidos pela rede de coleta do IBGE, técnicos de outros órgãos que atuam na área, produtores e outros colaboradores, representantes técnicos de entidades públicas e privadas que participam dos colegiados técnicos de estatísticas agropecuárias estaduais, regionais e municipais. Os procedimentos metodológicos são divididos em básicos e complementares. Nos primeiros, a metodologia é aplicada na sua totalidade para a maioria dos produtos investigados, que são aqueles cujo período de colheita se desenvolve inteiramente dentro de um mesmo ano civil. Os procedimentos complementares são aplicados aos produtos que possuem mais de uma safra no mesmo ano civil, sendo cada safra investigada e acompanhada em separado das culturas temporárias, cujo ciclo vegetativo ultrapassa doze meses, e dos produtos com período de colheita longo, para os quais a estimativa de produção refere-se à soma das quantidades colhidas a cada mês, de janeiro a dezembro (IBGE, 2002).

No Instituto de Economia Agrícola (IEA), da década de 50 até a de 90, foi operado um levantamento por amostragem probabilística, denominado “objetivo”, para a previsão e estimativa de safras e obtenção de dados sócio-econômicos. Este levantamento foi desconsiderado para a elaboração das estimativas de safras agrícolas, entre outros motivos, pelas dificuldades de atualização do cadastro (Francisco, 2003). Atualmente, o

IEA, em conjunto com a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), realiza um levantamento subjetivo de previsões e estimativas das safras agrícolas sobre área e produção de culturas, por município, para o Estado de São Paulo. Os técnicos responsáveis pelas Casas de Agricultura fornecem a informação dos dados agrícolas de cada município e o IEA faz o processamento, a depuração e a consolidação desses dados (IEA, 2003).

A Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA) encerrou, em 1997, os trabalhos do Projeto Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícolas (LUPA), com a publicação de um livro com as estatísticas censitárias municipais (Francisco, 2003).

A Pesquisa Objetiva de Previsão de Safras (PREVS) foi um levantamento feito até recentemente no Estado do Paraná, com uma metodologia objetiva que utilizava dados de sensoriamento remoto na fase de estratificação para a construção dos painéis amostrais. A PREVS era baseada em métodos probabilísticos, cujos dados amostrais eram obtidos por levantamentos de campo (FAO, 1998). Comparada a outros levantamentos realizados no Brasil, a PREVS representou um passo à frente na tentativa de obter estimativas agrícolas mais objetivas.

2.3.3 - Uso de Sensoriamento Remoto para Estatísticas Agrícolas

Dados e técnicas de sensoriamento remoto podem ser usados para a estratificação agrícola em painéis amostrais e para a criar o delineamento amostral quando não há um levantamento de campo prévio. Também podem servir como variáveis auxiliares para melhorar a precisão de estimativas obtidas por regressão ou por outros métodos baseados em matrizes de confusão (Carfagna, 2003).

Para Luiz et al. (2002), o uso de imagens de satélite para auxiliar os levantamentos por amostragem em agricultura é uma opção técnica e economicamente viável. Quando comparado aos levantamentos aerofotogramétricos, os levantamentos auxiliados por imagens de satélite possuem um custo muito menor por unidade de área monitorada e uma resolução temporal muito mais alta.

Uma das potencialidades das técnicas de sensoriamento remoto é auxiliar os métodos tradicionais de avaliação de safras (Ippoliti-Ramilo, 1999). Na estimativa de estatísticas agrícolas, o uso integrado do sensoriamento remoto com sistemas de informações geográficas diminui o tempo e o custo gastos com trabalhos de campo, visto que o tamanho das amostras a serem visitadas no campo é reduzido (Tsiligrídes, 1998). O caráter global, sinóptico, multiespectral e repetitivo faz com que o sensoriamento remoto seja altamente qualificado para obter estatísticas agrícolas, ainda mais em países de grandes dimensões como o Brasil.

Para Luiz e Epiphânio (2001) e Epiphânio et al. (2002), a garantia de recobrimento total da região de interesse é uma grande vantagem obtida quando imagens de sensoriamento remoto são usadas como instrumento auxiliar na construção de painéis amostrais por área. Outro benefício é o fato de que nos levantamentos por amostragem, a área do município e os elementos da amostra correspondem, respectivamente, à população e aos elementos de cena (pixels). Como no caso de painéis amostrais por área a probabilidade de seleção de cada elemento da amostra é proporcional à sua área, e como a área de cada elemento de cena de uma imagem é constante, todo elemento de cena tem a mesma chance de pertencer à amostra.

Nem todas as culturas agrícolas são passíveis de serem efetivamente monitoradas por sensoriamento remoto, sendo isto possível apenas para as culturas que ocupam a maior parte das áreas cultivadas, em talhões acima de uma certa área mínima. Isto ocorre porque a porcentagem de elementos de cena impuros nas bordas dos segmentos das imagens aumenta com a redução do tamanho da área agrícola, o que dificulta o emprego do sensoriamento remoto (Luiz e Epiphânio, 2001).

Entre os programas que utilizam os dados de sensoriamento remoto nas estimativas agrícolas citam-se o MARS (*Monitoring Agriculture with Remote Sensing*) (JRC, 2003) e o programa norte americano. O Serviço de Estatística Agrícola Nacional (*National Agricultural Statistics Service* - NASS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) tem a responsabilidade de obter as estatísticas agrícolas oficiais dos EUA. Os métodos de levantamento são amostrais, probabilísticos por área e mistos, e o

estimador usado é o de expansão direta (FAO, 1998). O sensoriamento remoto é utilizado na construção dos painéis amostrais, e é aplicado para melhorar a precisão estatística dos indicadores de estimativa de área agrícola (USDA-NASS, 2003).

O projeto MARS, da Comunidade Européia, lançado em 1989, foi elaborado para definir e demonstrar como o sensoriamento remoto pode ser usado de forma operacional para complementar, interpretar e padronizar os dados de estatísticas agrícolas obtidos por meio de técnicas convencionais (Tsiligirides, 1998). No MARS, são utilizados painéis amostrais com segmentos quadrados, e na coleta de dados de campo não é feita nenhuma entrevista com os proprietários (FAO, 1998).

Segundo Luiz (2003), o uso integrado de imagens de satélite com sistemas de informação geográfica (SIG), *global positioning system* (GPS), amostragem aleatória simples e trabalho de campo permite que áreas agrícolas de grandes culturas sejam estimadas de forma rápida, econômica, simples e com confiabilidade determinada.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde aos municípios de Ipuã, Guará e São Joaquim da Barra, que fazem parte do Escritório de Desenvolvimento Regional (EDR) de Orllândia, localizado ao norte do Estado de São Paulo (Figura 3.1).

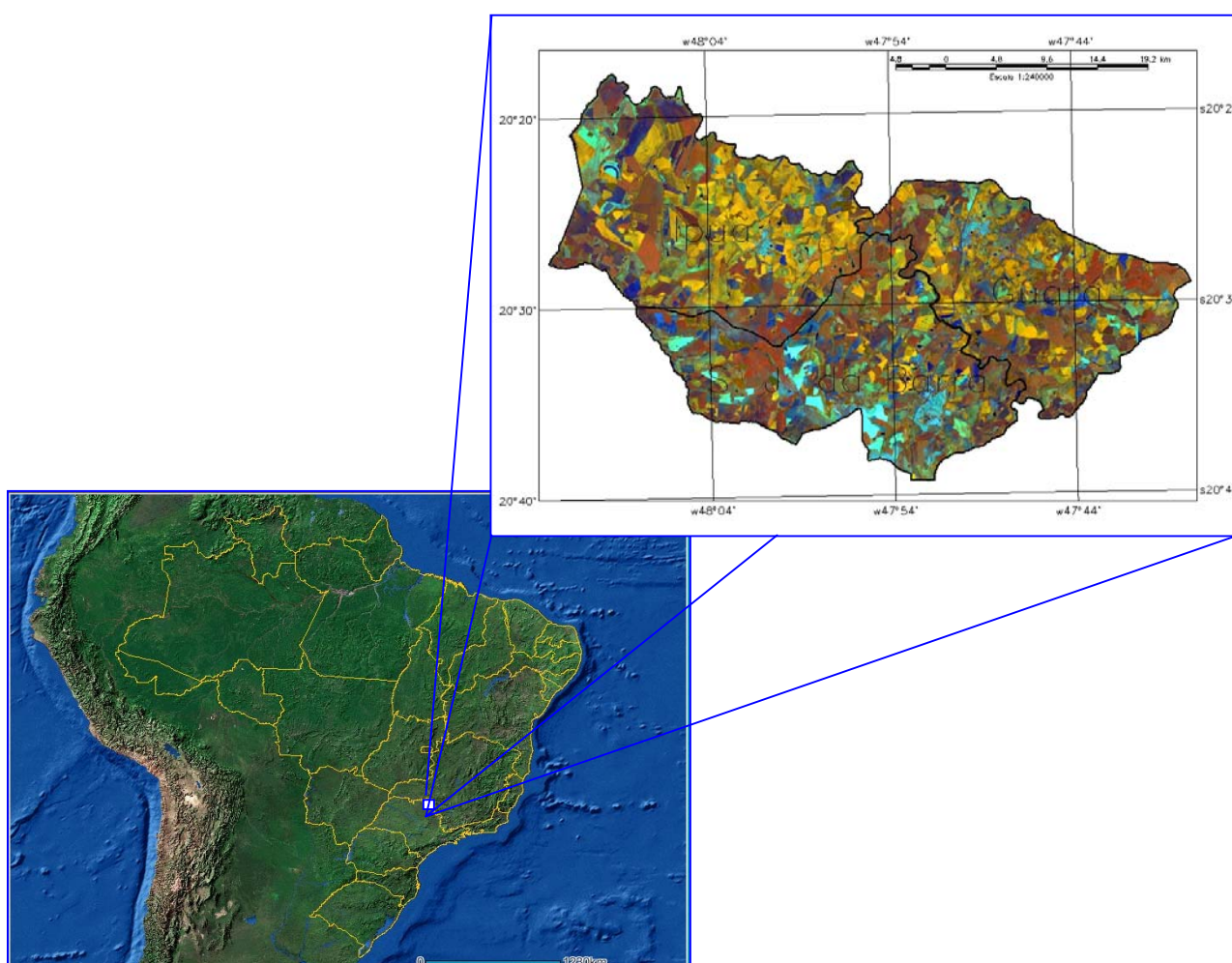


FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo, com destaque para os municípios de Ipuã, Guará e São Joaquim da Barra.

Os municípios de Ipuã, São Joaquim da Barra e Guará possuem área de 46.600 ha, 41.200 ha e 36.300 ha, respectivamente, somando juntos 124.100 ha. Entre esses municípios, o mais povoado é São Joaquim da Barra, com 41.587 habitantes, seguido por Guará com 18.916 habitantes, e Ipuã com 11.870 habitantes (IBGE, 2003a).

As coordenadas geográficas dos municípios da área de estudo podem ser observadas na Tabela 3.1. A órbita/ponto do satélite Landsat que cobre essa área é a 220/74.

TABELA 3.1 – Coordenadas geográficas dos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra.

	Guará	Ipuã	São Joaquim da Barra
Latitude	20°22'30"S	20°22'30"S	20°30"S
	20°30'S	20°30"S	20°37'30"S
Longitude	47°52'30"W	48°07'30"W	47°52'30"W
	47°45'W	48°W	47°45'W
Latitude do ponto central	20°26'15"S	20°26'15"S	20°33'45"S
Longitude do ponto central	47°48'45"W	48°03'45"W	47°48'45"W

FONTE: Embrapa (2003a).

O EDR de Orlândia é composto por 12 municípios e totaliza uma área de mais de 500.000 ha. Mais de 80% deste total correspondem a áreas agrícolas (Tabela 3.2), o que demonstra o caráter agrícola da região (CATI, 2003).

TABELA 3.2 – Área segundo o uso do solo (1995/1996) para o EDR de Orlândia.

Uso do solo	Área (hectares)	Porcentagem
Cultura perene	2.440,10	0,43
Cultura semi-perene	269.818,60	48,08
Cultura anual	129.098,20	23,00
Pastagem	102.217,90	18,21
Reflorestamento	839,80	0,15
Vegetação natural	25.114,90	4,47
Área inaproveitada	22.921,50	4,08
Área complementar	8.791,10	1,57
Área total	561.242,10	100,00

FONTE: LUPA (CATI, 2003).

No EDR de Orlândia são cultivadas as lavouras de algodão, amendoim, arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho, soja, sorgo, tomate, banana, café e laranja. Há um predomínio de culturas temporárias (anuais e semi-perenes) sobre as culturas

permanentes. Entre as culturas temporárias citadas, as principais são a soja, a cana-de-açúcar e o milho, que ocupam a maior parte da área agrícola desta região Tabela 3.3 (IBGE, 2003b).

TABELA 3.3 – Área plantada no ano de 2001 com lavoura temporária e permanente no EDR de Orlândia.

Área Plantada em hectares	
Algodão herbáceo	9.163
Amendoim	1.877
Arroz	756
Cana-de-açúcar	250.841
Feijão	2.106
Mandioca	15
Milho	76.150
Soja	130.350
Sorgo	18.570
Tomate	10
Total lavoura temporária	489.838
Banana	87
Café	1.581
Laranja	15
Total lavoura permanente	1.683
TOTAL	491.521

FONTE: SIDRA (IBGE, 2003b).

Os dados sobre área plantada e quantidade produzida para a soja, cana-de-açúcar e milho, para os três municípios estudados, para todo o EDR de Orlândia, para o Estado de São Paulo e para o Brasil podem ser visualizados nas Tabelas 3.4 e 3.5. Verifica-se que 9,77% da área plantada com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, 6,78% da área plantada com milho e 24,60% da área plantada com soja estão no EDR de Orlândia. Isto equivale a 10,23% da quantidade total (toneladas) de cana-de-açúcar, 5,85% de milho e 24,41% de soja produzidos no Estado.

TABELA 3.4 – Área plantada no ano de 2001 com cana-de-açúcar, milho e soja nos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, no EDR de Orlândia, no Estado de São Paulo, e no Brasil.

Área plantada	Cana-de-açúcar (hectares)	Milho (hectares)	Soja (hectares)
Guará	11.000	7.300	10.550
Ipuã	24.000	8.500	16.200
São Joaquim da Barra	23.500	3.000	5.000
EDR de Orlândia	250.841	76.150	130.350
São Paulo (Estado)	2.567.178	1.122.535	530.000
Brasil	5.022.490	12.912.390	13.988.351

FONTE: SIDRA (IBGE, 2003b).

TABELA 3.5 – Quantidade produzida de cana-de-açúcar, milho e soja nos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, no EDR de Orlândia, no Estado de São Paulo, e no Brasil.

Quantidade produzida	Cana-de-açúcar (toneladas)	Milho (toneladas)	Soja (toneladas)
Guará	880.000	22.200	25.320
Ipuã	1.920.000	42.000	43.700
São Joaquim da Barra	2.256.000	9.090	12.600
EDR de Orlândia	20.354.565	245.644	330.920
São Paulo (Estado)	198.932.127	4.200.120	1.355.680
Brasil	344.292.922	41.962.475	37.907.259

FONTE: SIDRA (IBGE, 2003b).

Na Tabela 3.6 podem ser visualizados, para a região específica dos três municípios estudados, os períodos favoráveis e desfavoráveis para o plantio de soja e milho, por mês e decêndio. As épocas de preparo do solo e plantio para a cultura da cana-de-açúcar, no EDR de Orlândia, podem ser observadas na Tabela 3.7.

material de origem os produtos de alteração de rochas vulcânicas (Formação Serra Geral) e aluviões (Prado, 1997).

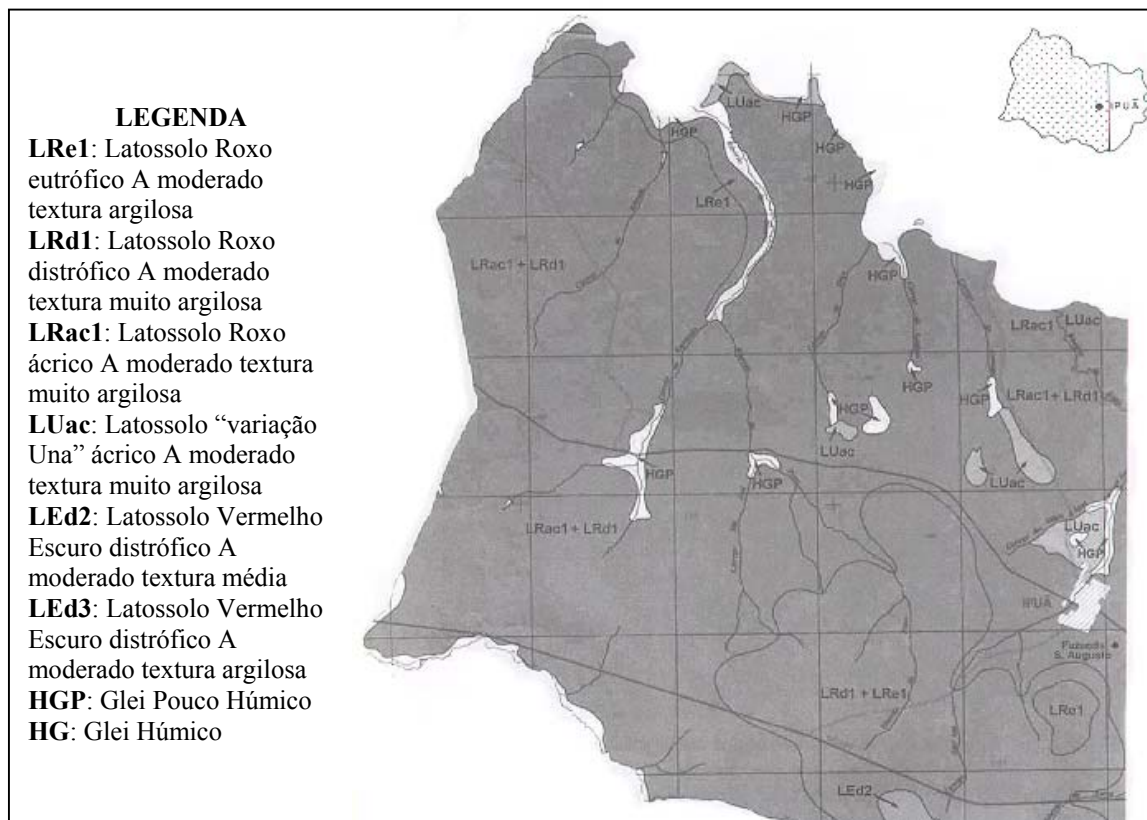


FIGURA 3.2 – Solos do município de Ipuã mapeados em semidetalhe na escala 1:100.000.

FONTE: Extraído de Prado (1997).

3.2 - Principais Culturas Encontradas na Área de Estudo

3.2.1 - Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) pertence à família Poaceae (Gramineae) e sua origem é atribuída ao sudoeste da Ásia, Java, Nova Guiné e Índia (IAC, 1998). É cultivada numa extensa área territorial, compreendida entre os paralelos 35° de latitude Norte e Sul do Equador, e apresenta melhor comportamento nas regiões quentes (Agrobyte, 2003a). Fornece como produtos o açúcar, o álcool e a aguardente. Como subprodutos, gera o bagaço, a vinhaça e a torta de filtro, que têm grande importância socioeconômica na geração de energia, produção de ração animal, produtos aglomerados e fertilizantes, entre outros (IAC, 1998).

A época de plantio para a cana de ano e meio é de janeiro a março; para cana de ano é de outubro a novembro; o plantio de outono ocorre de abril a junho, desde que haja disponibilidade de água e uso de matéria orgânica. A cana de ano e meio é mais indicada para a indústria (as demais são usadas para complementar a primeira). A cana de ano é a mais indicada como forrageira.

No preparo do solo, quando a cana-de-açúcar vai ser implantada pela primeira vez, é feita uma aração profunda com bastante antecedência ao plantio para a destruição, incorporação e decomposição dos restos culturais existentes, seguida de gradagem, com o objetivo de completar a primeira operação. No preparo do solo, quando o terreno já se encontra ocupado com a cana-de-açúcar, inicialmente é feita a destruição da soqueira, que deve ser realizada logo após a colheita. Essa operação pode ser feita por meio de aração rasa (15-20 cm) nas linhas de cana, seguida de gradagem ou por gradagem pesada, enxada rotativa ou uso de herbicida. Nas vésperas do plantio procede-se a uma aração profunda (25-30 cm), por meio de arado ou grade pesada. Em ambos os casos, se o solo estiver compactado é necessário fazer a subsolagem; e na véspera do plantio, uma nova gradagem deve ser feita, visando ao acabamento do preparo do terreno e à eliminação de ervas daninhas. Devido à facilidade de transporte, à menor regulagem e ao maior rendimento operacional, há uma tendência de as grades pesadas substituírem o arado (Agrobyte, 2003a).

O processo de produção da cana-de-açúcar é contínuo e a renovação se inicia imediatamente após a última colheita do ciclo anterior. Uma vez plantada em uma área, esta cultura proporciona pelo menos cinco colheitas anuais consecutivas, sem a necessidade de replantio durante este ciclo. A palha remanescente da cana colhida crua é manejada de forma a proporcionar ao solo proteção contra erosão e insolação (Native, 2003).

O solo cultivado com a cana-de-açúcar é parcialmente mobilizado em intervalos mínimos de seis ou sete anos. As máquinas utilizadas são equipadas com esteiras com grande superfície de contato, que evitam a compactação e garantem a manutenção da estrutura física do solo. Na renovação dos canaviais é realizada a rotação de culturas

com adubos verdes, que produzem alta biomassa, com a finalidade de fixar e incorporar nutrientes e adicionar matéria orgânica ao solo. A rotação de culturas também tem importância no manejo integrado de pragas e doenças, bem como no manejo de conservação de solo (Native, 2003).

3.2.2 - Soja

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa originária da China, adaptada a diversos climas, desde os temperados frios aos tropicais. No entanto, produz melhor em climas quentes, desde que haja boa quantidade de água disponível (Ruralnews, 2001).

É uma planta de ciclo anual (90 a 160 dias) que se beneficia da rotação de culturas e do plantio direto, que consiste na plantação feita diretamente sobre os resíduos da cultura anterior (Ruralnews, 2001).

O plantio da soja depende do cultivar, e é feito de setembro a novembro. A colheita acontece de fevereiro a abril nos cultivos de verão. O estágio de maturação da soja é caracterizado por senescência e queda das folhas junto com a secagem de vagens e sementes. Normalmente, são utilizadas colhedoras mecanizadas para a colheita dos grãos, que também promovem a distribuição da palhada no solo (IAC, 1998).

3.2.3 - Milho e Milho Safrinha

O milho (*Zea mays*) pertence à família Gramineae e é uma das culturas mais antigas do mundo. Existem indicações de que sua origem tenha sido no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos (Embrapa, 2003b).

Do milho utiliza-se o grão para consumo e a planta inteira para silagem. Serve para a extração de óleo, fabricação de alimentos e rações, e pode ser consumido como milho verde (IAC, 1998).

É cultivado durante todo o ano. O milho convencional é plantado de agosto a janeiro, o milho irrigado pode ser plantado em qualquer mês, e o milho safrinha sucede uma cultura de verão e é plantado entre fevereiro e abril.

O preparo do solo é feito com aração (20 cm de profundidade) seguida de gradagem para quebrar os torrões e nivelar o solo. O plantio pode ser manual (em covas distanciadas 1 m entre as linhas e 50 cm entre as covas, com três sementes cada uma), ou com plantadeiras (com sementes de 20 cm em 20 cm). A plantação deve ser mantida sempre limpa, e para isso deve-se fazer quantas capinas (com enxadas ou com cultivadores com enxadinhas) forem necessárias. A colheita pode ser mecanizada ou manual, dependendo do tamanho da plantação. O milho deve ser colhido o quanto antes, desde que os grãos estejam secos (Ruralnews, 2000).

Por volta de 1994, para melhorar a renda das propriedades, os agricultores da região de Orândia começaram a plantar milho safrinha em rotação com a soja. O plantio é feito logo após a colheita da soja, em plantio direto. Desta forma, a terra que ficava ociosa de março a setembro, período entre a colheita de soja e o plantio do milho de águas, passou também a ser cultivada. O milho convencional, apesar de apresentar uma maior produtividade por hectare, quando comparado ao milho safrinha, exige mais investimentos em insumos (OESP, 1999).

3.2.4 - Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma gramínea anual (ciclo de 100 a 120 dias) tropical originária do continente africano, mais especificamente da região que compreende a Etiópia e o Sudão. É bastante resistente às condições climáticas adversas como calor e falta de água, consegue resistir a períodos de estiagem prolongados devido às suas raízes profundas e abundantes. É utilizado na fabricação de farinhas e como alimentação animal, mas ainda não é uma cultura muito explorada no Brasil (Ruralnews, 2002).

Em plantios de outubro a novembro o sorgo é menos vantajoso que o milho porque apresenta maior risco de perda na colheita em condições de ocorrência de período chuvoso após a maturação (IAC, 1998).

Pode ser cultivado na época seca (plantado de janeiro a março), como cultura complementar, após uma cultura das águas. Nos plantios da seca, quando comparado ao milho, o sorgo apresenta um melhor desenvolvimento (Zoneamento, 2003). Além disso,

utiliza o mesmo maquinário utilizado na cultura do milho e do trigo, e com isso o plantio e a colheita podem ser feitos em períodos de ociosidade do maquinário agrícola, o que aumenta a produtividade dessas máquinas e proporciona maiores lucros (Ruralnews, 2002).

No preparo do solo, a aração deve ser feita logo após a colheita da cultura anterior. Antes do plantio de sorgo é preciso passar a grade uma ou duas vezes, para eliminar os torrões, detritos e ervas daninhas. A superfície do solo deve ser nivelada o máximo possível para que a emergência da plântula seja rápida e uniforme. No plantio do sorgo de sucessão ou 2ª época, a semeadura pode ser feita diretamente sobre as palhadas de soja ou milho (Agrobyte, 2003b).

O plantio é feito em linhas, com espaçamento de 70 a 80 cm, entre elas. Em geral, são cultivadas cerca de 15 plantas em cada metro das linhas. É aconselhável que se plante o sorgo após a cultura da soja, pois poderão ser aproveitadas as características de nutrientes encontradas no solo e, desta forma, a adubação pode até mesmo não ser necessária (Ruralnews, 2002).

3.2.5 - Outras Culturas

Na região, entre junho e setembro, pode ser plantado milheto ou nabo forrageiro, cujas raízes conseguem quebrar o solo e aerar a terra, o que ajuda no preparo do solo para a plantação de soja, e serve como proteção ao solo por facilitar a infiltração da água da chuva (OESP, 1999).

3.2.6 - Plantio Direto

Na região de estudo é comum a prática do plantio direto, que é uma técnica de cultivo conservacionista na qual procura-se manter uma cobertura vegetal sobre o solo, com a intenção de proteger o solo do impacto das gotas de chuva, do escoamento superficial e das erosões hídrica e eólica (Embrapa, 2004b).

A palhada representa a essência do plantio direto e tem como funções reduzir o impacto das gotas de chuva, dificultar o escoamento superficial, reduzir as perdas de solo e

água pela erosão, proteger a superfície do solo da ação direta dos raios solares, reduzindo a evaporação, aumentar a matéria orgânica no perfil do solo, e ajudar no controle de plantas daninhas, por supressão ou por ação alelopática (Embrapa, 2004b).

A rotação de culturas, que consiste na combinação de espécies com diferentes exigências nutricionais, a velocidade de decomposição, a produção de fitomassa e o sistema radicular, tornam o plantio direto mais eficiente. A soja não contribui muito na rotação de culturas, porque tem baixa produção de fitomassa seca. Porém, as gramíneas, como o milho, deixam uma grande quantidade de restos culturais no campo (Embrapa, 2004b).

Em áreas de agricultura intensiva, onde há irrigação, rotação de culturas, como o cultivo do milho safrinha, o solo é mais explorado e pode haver degradação, problemas de compactação e erosão do solo, e redução do potencial produtivo. Neste casos, sempre que possível deve-se optar pelo sistema de plantio direto. Assim, haverá o aumento da infiltração da água no solo e a redução da evaporação, com conseqüente aumento no teor de água disponível para as plantas (Embrapa, 2004b).

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Materiais

Foi utilizado um banco de dados pré-existente (Gürtler, 2003) concebido no SPRING com gerenciador ACCESS que continha imagens Landsat, pontos de controle, divisão dos municípios da área de estudo e um painel amostral pré-definido.

No total foram utilizadas 40 imagens de satélite, sendo 13 imagens do sensor TM/Landsat-5, 26 do ETM+/Landsat-7, e uma da CCD1/CBERS-2 (Tabela 4.1).

TABELA 4.1 – Imagens do banco de dados.

	2000	2001	2002	2003
Janeiro	08/01/00 (TM)	18/01/01 (ETM+)	05/01/02 – 21/01/02 (ETM+)	08/01/03 (ETM+)
Fevereiro	-	19/02/01 (ETM+)	06/02/02 (ETM+)	09/02/03 - 25/02/03 (ETM+)
Março	-	23/03/01 (ETM+)	10/03/02 (ETM+)	-
Abril	05/04/00 (ETM+)	08/04/01 (ETM+)	11/04/02 (ETM+)	14/04/03 - 30/04/03 (ETM+)
Mai	-	02/05/01 (TM)	29/05/02 (ETM+)	16/05/03 (ETM+)
Junho	16/06/00 (TM)	11/06/01 (ETM+)	30/06/02 (ETM+)	-
Julho	-	05/07/01 (TM)	16/07/02 (ETM+)	27/07/03 (TM)
Agosto	19/08/00 (TM)	14/08/01 (ETM+)	17/08/02 (ETM+)	12/08/03 (TM)
Setembro	20/09/00 (TM)	07/09/01 (TM)	02/09/02 (ETM+)	15/10/03 (TM)
Outubro	22/10/00 (TM)	25/10/01 (TM)	20/10/02 (ETM+)	-
Novembro	-	02/11/01 (ETM+)	-	-
Dezembro	09/12/00 (TM)	04/12/01 (ETM+)	-	24/12/03 CCD1
Total	7	12	11	10

A imagem CBERS, bandas 2, 3 e 4, foi utilizada somente para o fechamento dos dados para a estimativa de área agrícola, e não entrou na análise espectro-temporal de culturas.

A faixa e região espectral das seis bandas utilizadas (1 a 5 e 7) dos sensores TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7 podem ser conferidas na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Faixa espectral e região espectral das bandas 1 a 5 e 7 dos sensores TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7.

TM e ETM+	Faixa espectral (nm)	Região do espectro
Banda 1	450-520	Azul
Banda 2	530-610	Verde
Banda 3	630-690	Vermelho
Banda 4	780-900	IVP
Banda 5	1550-1750	IVM
Banda 7	2090-2350	IVM

FONTE: Moreira (2001).

Os dados de temperatura para o município de Ipuã foram obtidos com a metodologia de Valeriano e Picini (2000) a partir dos dados de temperatura média de Franca (IAC-CIIAGRO, 2004), município mais próximo a Ipuã com disponibilidade desses dados. Estes dois municípios estão localizados na mesma latitude, e Franca tem 300 m de altitude a mais que Ipuã. Com base na diferença de altitude dos municípios foi calculado o coeficiente angular da altitude (Valeriano e Picini, 2000) para cada mês do ano, e em seguida a temperatura média de Ipuã foi obtida (Tabela 4.3).

TABELA 4.3 – Cálculo da temperatura média de Ipuã a partir de dados de temperatura média do município de Franca.

Temperatura média em °C			Franca-SP				Ipuã-SP			
Coeficiente angular da altitude	coef*300m	Mês	2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
0,00542	1,6	jan	24,1	23,7	23,6	24,1	25,7	25,3	25,2	25,7
0,00559	1,7	fev	23,8	24,8	22,9	24,3	25,5	26,5	24,6	26,0
0,00562	1,7	mar	23,8	23,8	24,1	23,9	25,5	25,5	25,8	25,6
0,00559	1,7	abr	21,8	22,8	23,0	22,6	23,5	24,5	24,7	24,3
0,00545	1,6	mai	19,5	19,3	20,4	18,9	21,1	20,9	22,0	20,5
0,00537	1,6	jun	19,0	18,2	19,6	19,1	20,6	19,8	21,2	20,7
0,00527	1,6	jul	16,5	19,9	18,3	19,0	18,1	21,5	19,9	20,6
0,00552	1,7	ago	20,8	19,4	21,6	19,6	22,5	21,1	23,3	21,3
0,00523	1,6	set	21,3	21,8	21,6	22,6	22,9	23,4	23,2	24,2
0,00533	1,6	out	24,3	21,9	26,1	23,0	25,9	23,5	27,7	24,6
0,00555	1,7	nov	22,8	23,5	24,8	23,1	24,5	25,2	26,5	24,8
0,00560	1,7	dez	23,9	23,1	24,5	24,5	25,6	24,8	26,2	26,2

Como não existem dados de precipitação para o município de Ipuã, para este estudo foram adotados os dados de precipitação de Franca (Tabela 4.4).

TABELA 4.4 – Dados de precipitação para o município de Franca.

Mês	Dias de chuva				Média mensal da chuva total (mm)			
	2000	2001	2002	2003	2000	2001	2002	2003
Janeiro	21	15	11	21	674,2	161,4	124,3	528,2
Fevereiro	20	12	15	15	348,2	32,6	233,4	168,1
Março	16	19	10	17	192,2	248,7	186,6	194,4
Abril	3	6	1	7	34,0	27,2	13,0	130,2
Mai	2	5	3	5	19,5	38,6	39,0	43,6
Junho	0	1	0	0	0,0	2,0	0,0	0,0
Julho	3	0	1	0	32,2	0,0	18,0	0,0
Agosto	2	6	2	4	3,0	62,4	9,0	16,8
Setembro	13	6	6	3	161,8	81,3	66,8	12,2
Outubro	11	9	5	7	59,9	218	47,6	64,9
Novembro	16	18	12	15	199,3	231,5	144,3	204,0
Dezembro	15	15	12	15	159,3	312,6	318,3	141,0

FONTE: IAC – CHAGRO (2004).

A variação da temperatura média calculada e da precipitação adotada para o município de Ipuã, nos quatro anos estudados, pode ser visualizada na Figura 4.1.

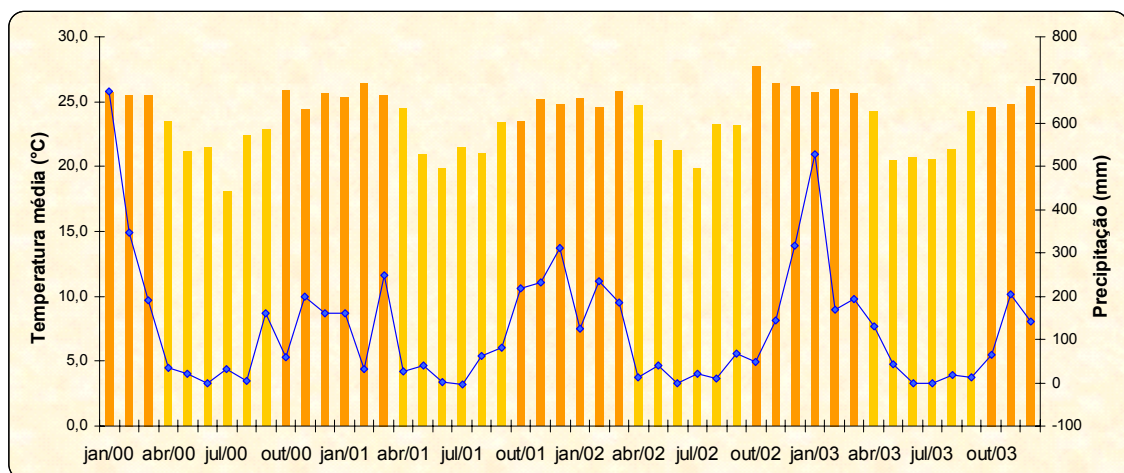


FIGURA 4.1 – Temperatura média calculada (colunas) e precipitação adotada (pontos conectados) de janeiro de 2000 a dezembro de 2003 para o município de Ipuã. As colunas laranjas e amarelas representam a época chuvosa e seca, respectivamente.

Os aplicativos utilizados foram o SPRING 3.6.03 com gerenciador Microsoft ACCESS 2000, Microsoft EXCEL 2000 e STATISTICA 99.

4.2 - Métodos

O fluxograma com as etapas da metodologia pode ser observado na Figura 4.2.

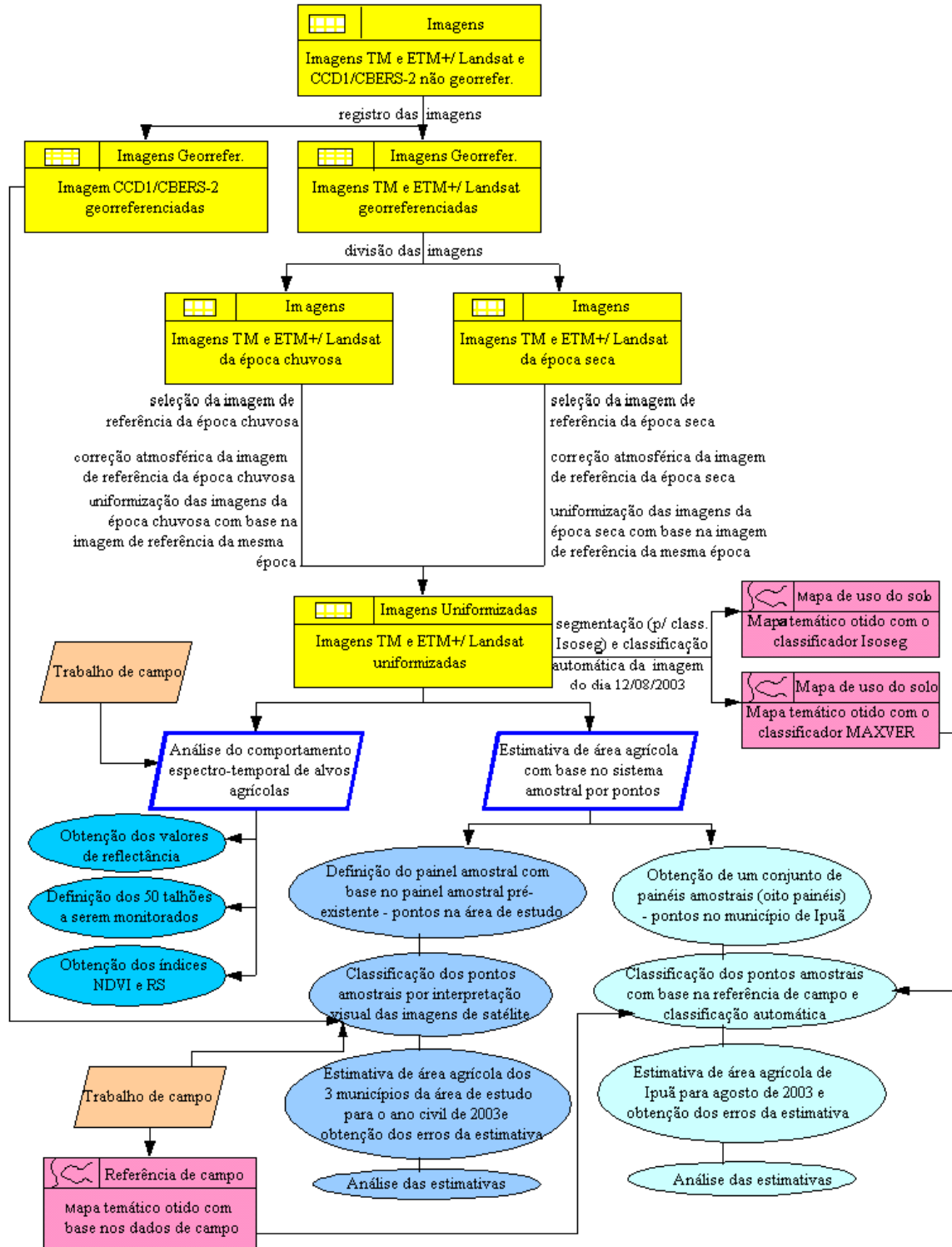


FIGURA 4.2 – Fluxograma com as etapas da metodologia utilizada no trabalho.

4.2.1 - Processamentos

4.2.1.1 - Aquisição de Imagens

Foram adquiridas todas as imagens Landsat livres de nuvens (ou com quantidade aceitável de nuvens) para os anos de 2000 e 2003. Para os anos de 2001 e 2002, como havia várias imagens livres de nuvens disponíveis (Landsat-5 e Landsat-7) foram escolhidas imagens suficientes para cobrir todos os meses desses anos. Não foi possível adquirir imagens em novembro e dezembro de 2002 livres de nuvens. Em dezembro de 2003 adquiriu-se uma imagem CCD1/CBERS-2 livre de nuvens.

As imagens Landsat foram adquiridas no formato Geotiff nível 1G (com correção geométrica e reamostragem pelo vizinho mais próximo). No módulo Impima do SPRING as imagens foram recortadas para diminuir o tamanho do banco de dados e, conseqüentemente, agilizar os processamentos, e salvas no formato Grib.

4.2.1.2 - Registro das Imagens e Importação para o Banco de Dados

No banco pré-existente (Gürtler, 2003) a imagem do dia 05/01/02 foi registrada em tela com 13 pontos de controle obtidos com GPS no campo, com quatro pontos para ajuste ou registro e nove pontos de teste (Figura 4.3), e posteriormente foi importada para o SPRING, com ajuste pelo interpolador vizinho mais próximo. Com base nesta imagem todas as demais imagens do banco de dados foram registradas no SPRING (Tabela 4.5). Após serem registradas, as imagens foram importadas para o banco de dados, também pelo interpolador vizinho mais próximo.



FIGURA 4.3 – Localização dos 13 pontos obtidos com GPS no EDR de Orlândia. Os municípios hachurados correspondem à área de estudo.

TABELA 4.5 – Pontos de controle coletados com GPS e respectivas coordenadas geográficas e descrição para registro de imagens, realizado em outubro de 2001.

Ponto	Latitude	Longitude	Descrição
4	20° 10' 51.6"	47° 42' 58.3"	Cruzamento entre as estradas Anhanguera-Pedregulho com Buritizal-Igarapava (trevo de Buritizal), ponto central.
5	20° 15' 16.1"	48° 09' 11.8"	Ponte sobre o Rio Sapucaí, entre Miguelópolis e Guaira, logo acima do córrego do Cerro, margem de Miguelópolis, lado leste da estrada.
10	20° 38' 30.6"	47° 40' 49.4"	Ponte sobre o Rio Sapucaí, da estrada entre São José da Bela Vista e Nuporanga, ponto central da ponte e do rio.
11	20° 42' 47.0"	48° 03' 38.8"	Cruzamento da estrada Orândia-Jaborandi com uma estrada de terra para Guaira, logo após o trevo de Morro Agudo, ponto central.

FONTE: Luiz (2001).

Apesar de algumas imagens utilizadas neste trabalho já estarem importadas e registradas no banco pré-existente, elas só continham as bandas 3, 4 e 5 (TM e ETM+/Landsat). Então, para cada uma dessas imagens, as bandas 1, 2 e 7 foram adquiridas e armazenadas no mesmo arquivo que as demais. Na opção “registro” do SPRING todas as seis bandas (para cada imagem) foram selecionadas, e após clicar na tecla salvar na tela de registro de imagens, o registro das três bandas passou automaticamente para as demais bandas, mantendo o erro de registro.

4.2.1.3 - Divisão das Imagens e Seleção das Imagens de Referência

Com base em estudo anterior (Gürtler, 2003), as imagens (com exceção da imagem CBERS, que só passou pelo pré-processamento registro de imagens) foram divididas em imagens da época chuvosa (imagens obtidas nos meses de outubro a março) e imagens da época seca (obtidas de abril a setembro) (Tabela 4.6).

TABELA 4.6 – Imagens Landsat do banco de dados divididas em época chuvosa e seca.

Época chuvosa			Época seca		
Imagem referência: 05/01/02			Imagem referência: 14/08/01		
08/01/00	02/11/01	08/01/03	05/04/00	05/07/01	17/08/02
22/10/00	04/12/01	09/02/03	16/06/00	14/08/01	02/09/02
09/12/00	05/01/02	25/02/03	19/08/00	07/09/01	14/04/03
18/01/01	21/01/02	15/10/03	20/09/00	11/04/02	30/04/03
19/02/01	06/02/02		08/04/01	29/05/02	16/05/03
23/03/01	10/03/02		02/05/01	30/06/02	27/07/03
25/10/01	20/10/02		11/06/01	16/07/02	12/08/03

Para as etapas de correção atmosférica e uniformização foram escolhidas duas imagens para servirem como imagens de referência. A imagem do dia 14/08/01 foi selecionada para ser a imagem referência da época seca e a imagem do dia 05/01/02, para a época chuvosa. Essas imagens foram escolhidas como referência por apresentarem menor incidência de nuvens que as demais imagens que já tinham sido adquiridas no momento da escolha (Figura 4.4).

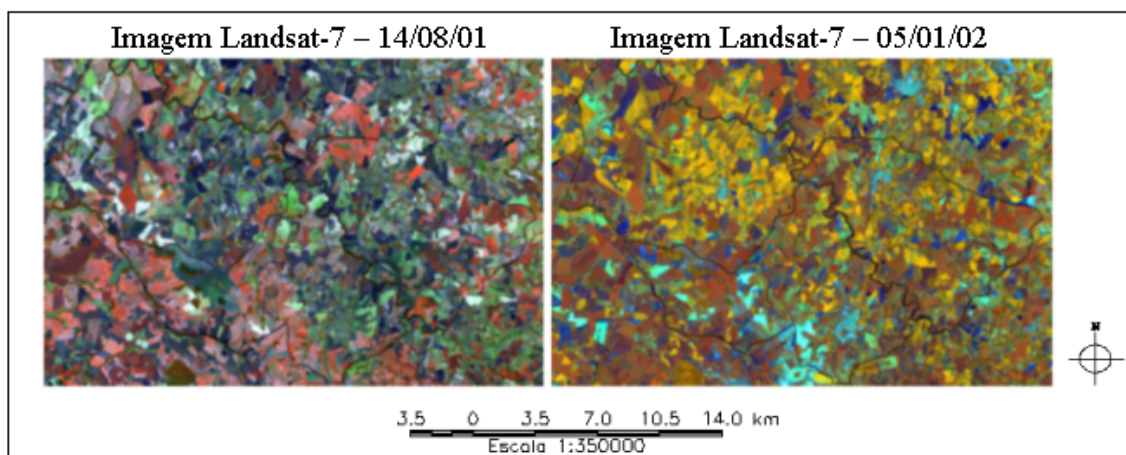


FIGURA 4.4 – Recorte das imagens de referência da época seca e chuvosa, na composição colorida RGB 453, com contraste.

4.2.1.4 - Correção Atmosférica das Imagens de Referência

Foi feita uma correção para minimizar os efeitos atmosféricos nas imagens, pois a atmosfera, pelos fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética, afeta a radiância refletida pela superfície. A técnica utilizada foi a de Subtração do Pixel Escuro (SPE) (*Dark-object subtraction technique*) desenvolvida por

Chavez (1988). Como se pretendia fazer a uniformização das imagens, ao invés de fazer a correção atmosférica de todas as imagens, optou-se em fazer a correção das duas imagens de referência. Segundo Silva et al. (2003), numa série temporal basta fazer a correção atmosférica uma imagem, pois a normalização (uniformização) entre as imagens garante o ajuste radiométrico entre elas.

A correção atmosférica das duas imagens de referência foi feita no SPRING usando a linguagem de programação Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL).

4.2.1.5 - Uniformização das Imagens de Satélite

Como um mesmo alvo apresenta valores digitais distintos de uma imagem para outra (imagens de diferentes datas), causados por diferenças do ângulo solar e do espalhamento atmosférico, entre outros fatores, conjuntos multitemporais de imagens precisam ser uniformizados. Neste trabalho, a uniformização das imagens foi feita de acordo com a metodologia proposta por Gürtler et al. (2003).

Primeiramente foram definidos 12 alvos claros (construções de concreto ou telhados) e escuros (corpos d'água), que supostamente não variavam temporalmente nas diversas datas. Em seguida foram criados, no banco de dados, polígonos de 100 pixels, com cada polígono contendo um dos 12 alvos no centro. Esses polígonos foram criados porque os alvos apresentam formas irregulares, e um erro de registro poderia influenciar nos limites dos alvos de uma data para a outra.

Com a ferramenta “estatística por polígono” disponível no SPRING foram obtidos os valores de níveis de cinza mínimo e máximo para cada um dos polígonos correspondentes aos doze alvos, por banda, em todas as imagens. Para os alvos claros foram utilizados os valores de nível de cinza máximo, e para os alvos escuros os valores mínimos. Esta foi uma forma de fazer com que os polígonos de 100 pixels criados para os alvos claros e escuros pudessem ser usados em todas as imagens do banco de dados, mesmo que as imagens tivessem pixels de tamanhos diferentes (25 ou 30m). Para

exemplificar esta etapa, foi escolhida a banda 1 das imagens dos dias 08/01/00 (imagem a ser uniformizada) e 05/01/02 (imagem de referência da época chuvosa) (Tabela 4.7).

TABELA 4.7 – Valores de ND mínimo e máximo obtidos com a ferramenta “estatística por polígono” disponível no SPRING para cada um dos polígonos correspondentes aos doze alvos da banda 1 das imagens dos dias 08/01/00 e 05/01/02.

	Alvos	Data imagem_ banda espectral	ND mínimo	ND máximo		
Imagem a ser uniformizada	1	escuro 4	080100_b1	75	86	ND da imagem nível IG
	2	escuro 5	080100_b1	92	114	
	3	escuro 8	080100_b1	70	86	
	4	escuro 12	080100_b1	112	121	
	5	escuro 13	080100_b1	75	86	
	6	escuro 15	080100_b1	75	83	
	7	claro 10	080100_b1	79	179	
	8	claro 11	080100_b1	86	145	
	9	claro 16	080100_b1	86	138	
	10	claro 17	080100_b1	77	109	
	11	claro 20	080100_b1	70	135	
	12	claro 25	080100_b1	109	152	
Imagem de referência	1	escuro 4	050102_b1	25	31	ND da imagem após a correção atmosférica
	2	escuro 5	050102_b1	25	34	
	3	escuro 8	050102_b1	26	34	
	4	escuro 12	050102_b1	26	30	
	5	escuro 13	050102_b1	25	32	
	6	escuro 15	050102_b1	26	29	
	7	claro 10	050102_b1	30	93	
	8	claro 11	050102_b1	26	67	
	9	claro 16	050102_b1	32	100	
	10	claro 17	050102_b1	31	84	
	11	claro 20	050102_b1	30	90	
	12	claro 25	050102_b1	27	92	

Valores em negrito: valores escolhidos para fazer as regressões lineares.

Regressões lineares entre as imagens de referência corrigidas (correção atmosférica) e as demais imagens a serem uniformizadas, para as seis bandas espectrais e em todas as imagens do banco, foram obtidas a partir dos valores de nível de cinza dos 12 alvos claros e escuros (exemplo na Tabela 4.8). Foram feitas várias regressões, variando os alvos claros e escuros. Após examinar as regressões e os coeficientes de regressão das mesmas, três alvos claros e três alvos escuros foram selecionados entre os 12 alvos, os quais apresentaram os melhores valores de coeficiente de determinação.

TABELA 4.8 – ND máximos referentes aos alvos claros e ND mínimos referentes aos alvos escuros da banda 1 escolhidos para fazer as regressões lineares entre as imagens dos dias 08/01/00 e 05/01/02.

	Banda 1 da Imagem - 08/01/00	Banda 1 da Imagem de referência - 05/01/02
Alvos	ND da imagem nível 1G	ND da imagem após correção atmosférica
1 escuro 4	75	25
2 escuro 5	92	25
3 escuro 8	70	26
4 escuro 12	112	26
5 escuro 13	75	25
6 escuro 15	75	26
7 claro 10	179	93
8 claro 11	145	67
9 claro 16	138	100
10 claro 17	109	84
11 claro 20	135	90
12 claro 25	152	92

Para as bandas 5 e 7 da imagem do dia 11/06/01 e para a banda 5 da imagem do dia 05/07/01 foi excluído um alvo claro, pois este alvo apresentou valor de reflectância igual a 255 nessas bandas. Decidiu-se eliminar os alvos com nível digital igual a 255 porque este valor pode ser resultado de uma saturação de pixels, o que comprometeria a uniformização.

Por fim, foram obtidas novas regressões lineares, agora só com os seis alvos selecionados (Tabela 4.9 e Figura 4.5) (cinco alvos para as bandas que apresentaram valor digital igual a 255), as quais foram utilizadas para a uniformização das imagens usando a linguagem de programação LEGAL no SPRING.

TABELA 4.9 – Seis alvos escolhidos para fazer a regressão linear entre a banda 1 das imagens do dias 08/01/00 e 05/01/02 para posterior uniformização.

	Banda 1 da Imagem - 08/01/00	Banda 1 da Imagem de referência - 05/01/02
Alvos	ND da imagem nível 1G	ND da imagem após correção atmosférica
1 escuro 4	75	25
2 escuro 8	70	26
3 escuro 13	75	25
4 claro 11	145	67
5 claro 16	138	100
6 claro 25	152	92

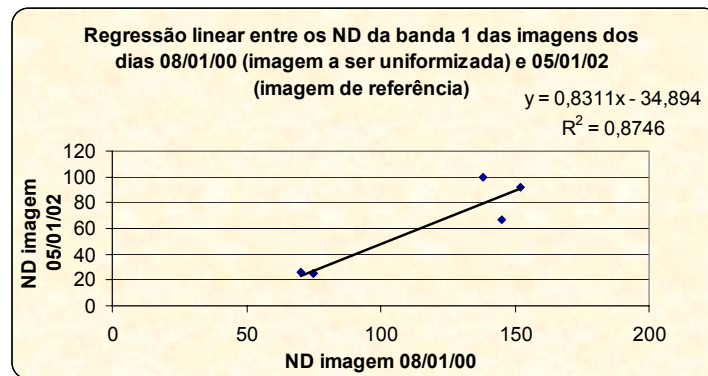


FIGURA 4.5 – Regressão linear e coeficiente de determinação obtidos com os ND da banda 1 das imagens dos dias 08/01/00 e 05/01/02 para posterior uniformização.

Para avaliar a uniformização foram observados: a) os coeficientes de determinação das regressões lineares; b) os valores de níveis digitais de cada um dos seis alvos usados na uniformização, nas seis bandas espectrais, em cada imagem; c) a Soma do Quadrado dos Resíduos (SQR) também para cada banda e em cada imagem.

Para os valores de níveis digitais foram obtidas as médias de cada um dos seis alvos escolhidos para cada banda. Por exemplo, para a banda 1 do alvo escuro 4, tomou-se o valor de ND do alvo escuro 4 na banda 1 de todas as imagens a serem uniformizadas (de uma mesma época, seca ou chuvosa), e obteve-se a média desses ND. Esses valores médios foram plotados em gráficos juntamente com o ND de cada alvo para averiguar se havia valores de ND muito distantes da média, o que poderia prejudicar a uniformização.

O cálculo da SQR foi feito com o intuito de melhor identificar e avaliar quantitativamente o desempenho da uniformização nas diversas bandas e imagens.

4.2.1.6 - Obtenção dos Valores de Reflectância

Como uma das metas deste trabalho era estudar o comportamento espectral dos alvos em imagens de diferentes datas, os valores de nível de cinza das imagens foram convertidos em valores de reflectância, que melhor representam os diversos alvos. Esta transformação foi feita com um programa em LEGAL, segundo a metodologia proposta por Luiz et al. (2003).

4.2.1.7 - Mapa de Referência de Campo

Foi importado para o banco de dados uma delimitação dos talhões do município de Ipuã, correspondente ao mês de agosto de 2001, em forma de vetores (Luiz, 2003). Foi feita uma edição vetorial neste dado, tendo como base a imagem de satélite de 12/08/03 (a imagem mais próxima do trabalho de campo, realizado em agosto de 2003). Depois, foi feita a classificação por interpretação visual dos talhões, tendo como referência os dados levantados no trabalho de campo. Em seguida foi feita uma edição matricial para realizar os acertos finais. Como resultado foi obtido um mapa de referência terrestre. A partir do mapa obtido, foram extraídas as áreas de cada uma das classes temáticas, com a ferramenta “medida de classes” disponível no SPRING.

4.2.1.8 - Segmentação e Classificação de Imagens

Foram realizadas duas classificações automáticas da imagem do dia 12/08/03.

Primeiro foi feita a segmentação da imagem por crescimento de regiões, levando em conta as seis bandas estudadas (banda 1 a 5 e 7), usando dois pares de limiares de similaridade e área: 16 e 24, e 16 e 45 (Oliveira, 2002).

Com base na segmentação realizada, a imagem foi classificada com o classificador não-supervisionado Isoseg, disponível no SPRING, com limiar de aceitação de 75%.

Para a classificação supervisionada foi utilizado o classificador MAXVER, com limiar de aceitação de 100%.

Os dois mapas obtidos a partir dos dois classificadores mencionados foram avaliados visualmente e com base no teste estatístico Kappa.

4.2.2 - Trabalho de Campo

Foram realizados dois trabalhos de campo na região de estudo. O primeiro foi realizado em março e o outro em agosto de 2003, com duração de aproximadamente uma semana cada. Os materiais utilizados foram GPS, câmara fotográfica digital, planilhas em papel e imagens de satélite impressas em papel glossy na escala 1:150.000 e 1:60.000.

No primeiro trabalho de campo foram visitados os pontos que geraram dúvidas durante a classificação visual das imagens de janeiro e fevereiro de 2003. É normal que o intérprete às vezes se sinta inseguro no processo de interpretação visual, pois os alvos não possuem uma assinatura espectral única e constante. Uma das funções da ida ao campo é justamente sanar essas dúvidas. No caso deste primeiro trabalho de campo as dúvidas eram sobre as imagens dos dois primeiros meses de 2003, que eram as imagens disponíveis e livres de nuvens até o dia da ida ao campo, as quais foram incorporadas ao banco de dados.

Todos os pontos incorporados ao painel amostral também foram visitados no primeiro trabalho de campo, para levantar o uso do solo nesses pontos. É muito importante esta primeira visita ao ponto, visto que uma classificação inicial errada poderá comprometer as classificações das imagens de datas posteriores. Desta forma, o intérprete terá uma maior segurança na interpretação e os resultados serão mais confiáveis. Além disso, nos pontos onde houver palhada ou solo exposto, é possível examinar os restos culturais, verificar se houve um plantio recente e até mesmo conversar com pessoas no campo, e assim saber o que estava ou o que seria plantado.

No segundo trabalho todos os talhões do município de Ipuã foram visitados com a intenção de verificar o uso do solo para a produção de um mapa de referência terrestre para este trabalho.

4.2.3 - Comportamento Espectro-Temporal de Alvos Agrícolas

4.2.3.1 - Alvos Monitorados

Foram escolhidos 50 talhões, no município de Ipuã, correspondentes a diversos alvos agrícolas e mata para terem o seu comportamento espectro temporal analisado. Entre os 50 talhões, foram escolhidos dois talhões de mata (um era de mata galeria), dois de pastagem, e os demais correspondem a cana-de-açúcar, milho, soja e outras culturas.

No banco de dados foi criado um polígono de 100 pixels (10 x10) no meio de cada talhão, exceto para os talhões de mata para os quais foram feitos polígonos menores, de

25 pixels (5x5), devido ao tamanho reduzido desses alvos. Este procedimento foi feito para que os dados obtidos de um talhão realmente correspondessem somente ao respectivo talhão, sem a interferência de talhões vizinhos.

Os 50 talhões foram classificados por interpretação visual (em composição colorida RGB 453) em todas as imagens adquiridas (de 2000 a 2003). Ressalva-se que dos 50 talhões selecionados apenas os dois talhões de mata não correspondem a pontos do painel amostral.

Para cada um dos 50 polígonos criados (referentes aos 50 talhões), foi obtida a média do valor de reflectância, nas seis bandas estudadas, para todas as datas. As tabelas com os dados de reflectância foram exportadas do SPRING no formato ASCII delimitado e importadas para o EXCEL. No EXCEL os dados foram tratados de forma a permitir a análise proposta.

4.2.3.2 - Obtenção dos Índices RS e NDVI

Com base nos dados de reflectância foram obtidos os índices de vegetação Razão Simples (IV/V) e o Índice de Vegetação Diferença Normalizada ($([IV-V]/IV+V)$). Estes índices foram obtidos como forma de tentar tornar a extração de informações mais eficiente.

4.2.4 - Estimativa de Área Agrícola de Ipuã para o Mês de Agosto de 2003

4.2.4.1 - Conjunto de Painéis Amostrais

Foram obtidos oito painéis amostrais com o intuito de fazer algumas simulações com o mapa de referência de campo e com os mapas obtidos com as classificações automáticas, e verificar se realmente há uma melhora na estimativa de área agrícola quando se utiliza um painel amostral contendo apenas pontos agrícolas ao invés de um com pontos agrícolas e não-agrícolas.

Vários pontos foram sorteados aleatoriamente (metodologia de Luiz e Gürtler, 2003) para formar painéis de 50, 100, 150 e 200 pontos.

Quatro painéis possuem pontos agrícolas e não-agrícolas, e quatro painéis só possuem pontos agrícolas. Para a obtenção dos painéis livres de alvos não-agrícolas os procedimentos foram os descritos a seguir: os pontos foram sorteados (sempre em quantidade maior do que o painel desejado, a fim de permitir a eliminação de pontos não-agrícolas). A seguir os pontos foram importados para o banco de dados do SPRING, foram classificados tendo como base o mapa de referência de campo, depois foram exportados. Em seguida os pontos não-agrícolas foram removidos, os pontos em excesso foram apagados e os demais pontos foram importados para o banco de dados, formando assim os painéis de 50, 100 150 e 200 pontos agrícolas. Os pontos em excesso foram apagados obedecendo à ordem pela qual eles foram sorteados; por exemplo, para formar um painel amostral de 100 pontos, após apagar os pontos não-agrícolas ficou-se com 130 pontos, então os trinta últimos pontos foram apagados e os 100 primeiros pontos foram importados para o bando de dados.

Os pontos amostrais dos oito painéis foram classificados por meio de um programa em LEGAL. Foram obtidas duas classificações para cada ponto: uma referente ao mapa de referência de campo, e outra referente ao mapa gerado pela classificação com o classificador MAXVER. Não foi utilizado o mapa obtido com o classificador Isoseg porque ele não se apresentou minimamente satisfatório.

4.2.5 - Estimativas de Área Agrícola da Região de Estudo para o Ano de 2003

4.2.5.1 - Definição do Painel Amostral

O painel amostral utilizado neste trabalho consiste de uma pequena modificação do painel amostral contido no banco de dados pré-existente. Apenas os pontos amostrais que correspondem a áreas agrícolas foram utilizados. O município de Guará, que tinha 69 pontos em áreas agrícolas passou a ter 70 pontos em áreas agrícolas; Ipuã, ao invés de 99 pontos, possui agora 102; e São Joaquim da Barra continua com 90 pontos. Ou seja, foram usados os mesmos pontos do painel amostral do banco de dados pré-existente (sendo desprezados os pontos em áreas não-agrícolas), e houve um acréscimo de 1 ponto no município de Guará e 3 pontos em Ipuã, que foram sorteados aleatoriamente de acordo com Luiz e Gürtler (2003). No total, o painel amostral tem

262 pontos. Essas alterações permitiram que a área mínima estimada fosse aproximadamente a mesma para cada município, e com valor igual ou próximo a 397 ha. Assim, o mesmo valor foi garantido pelo tamanho da amostra para toda a área de estudo considerada (os três municípios juntos) (Tabela 4.10).

TABELA 4.10 – Número de pontos amostrais, área mínima estimada e resolução amostral do painel amostral do banco de dados pré-existente e do painel amostral que será utilizado neste trabalho.

Município	Área agrícola (ha)	Total de pontos amostrais	Painel amostral pré-existente*			Painel amostral atual**		
			Pontos amostrais em áreas agrícolas	Área mínima estimada (ha) ⁽¹⁾	Resolução amostral (%) ⁽²⁾	Pontos amostrais em áreas agrícolas	Área mínima estimada (ha) ⁽¹⁾	Resolução amostral (%) ⁽²⁾
Guará	27.929	79	69	462	1,45	70	399	1,43
Ipuã	40.421	106	99	421	1,01	102	396	0,98
SJB	35.696	115	90	399	1,11	90	397	1,11
Total	104.046	300	258	424	0,39	262	397	0,38

* Painel amostral do banco de dados pré-existente. ** Painel amostral que foi usado neste trabalho.

⁽¹⁾ Área agrícola ÷ número de pontos amostrais. ⁽²⁾ Área mínima estimada ÷ área agrícola (x 100).

4.2.5.2 - Classificação dos Pontos Amostrais

A classificação dos pontos amostrais foi feita por interpretação visual das imagens em composição colorida RGB 453. Os 262 pontos pertencentes ao painel amostral foram classificados em todas as imagens adquiridas correspondentes ao ano de 2003.

Na interpretação visual foram levados em conta vários fatores, como o comportamento espectral dos alvos na composição colorida RGB 453, as culturas tradicionalmente cultivadas na região, a época de ocorrência dessas culturas na região, a textura e tamanho dos alvos, a presença de carregadores, se o talhão era irrigado ou não (pivô central), o histórico do ponto amostral (interpretação visual em datas anteriores disponíveis no banco de dados pré-existente) e visitas a campo.

4.2.5.3 - Estimativa de Área Agrícola e Erro da Estimativa

A estimativa de área agrícola foi obtida para o ano civil de 2003, dividida em três safras, de acordo com a metodologia do IBGE/LSPA. A 1ª safra corresponde às culturas que foram colhidas em uma data de janeiro a abril; a 2ª safra diz respeito às culturas colhidas de maio a agosto; a 3ª safra é aquela cuja colheita foi realizada de setembro a dezembro.

Com base na classificação do uso do solo dos 262 pontos do painel amostral, nas imagens obtidas no ano de 2003, e uso de rotinas condicionais em planilha eletrônica Excel (Gürtler, 2003), as estimativas de área para os municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, e para os três municípios juntos (estimativa total) foram calculadas.

Após a classificação dos pontos amostrais no banco de dados, os dados foram transferidos para uma planilha Excel. Em seguida as três safras foram determinadas. Os pontos foram somados primeiramente por tipo de cultivo, se simples ou associado, e depois por cultura. Com o total de pontos de cada classe de uso e utilizando o método de expansão direta apresentado anteriormente (Equação 2.1 do item 2.3.1) foi obtida a estimativa de área agrícola para cada cultura. De acordo com o método, a proporção de cada cultura é calculada por município e depois essa proporção é multiplicada pela área do município.

É importante ressaltar que na área de estudo é comum o cultivo associado de culturas, ou seja, duas ou mais culturas são plantadas numa mesma área em épocas diferentes no mesmo ano. Com a metodologia usada, as áreas de cultivo associado são contabilizadas mais de uma vez, e conseqüentemente a soma das áreas de cultivo simples com as áreas de cultivo associado resultam num valor superior à área agrícola do município.

Para analisar estatisticamente as estimativas obtidas, foram calculados o desvio padrão, os limites inferior e superior e o coeficiente de variação. Os limites superior e inferior foram calculados a partir do ajuste a uma distribuição binomial, com intervalo de confiança de 90%. O limite inferior, em alguns casos, foi negativo, o que não tem significado; nesses casos optou-se em utilizar a expressão menor que zero (< 0).

As estimativas do IEA/CATI foram adquiridas e comparadas com as estimativas obtidas no presente trabalho com o intuito de reforçar a avaliação dos resultados obtidos. Optou-se em utilizar os dados do IEA/CATI porque os dados do IBGE só são disponibilizados mais tarde. E também porque, de acordo com Gurtler (2003), os dados do IEA/CATI são semelhantes aos do IBGE. Como os dados do IEA/CATI são mais detalhados (como por exemplo, a cana-de-açúcar para indústria é separada da cana-de-açúcar para forragem), eles foram agrupados por cultura, para permitir a comparação.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Processamentos

5.1.1 - Registro de Imagens

Os erros de registro das imagens do banco de dados variaram de 0,053 pixels na imagem do dia 12/08/03 a 0,296 pixels na imagem do dia 30/06/02 (Tabela 5.1). Não foi mostrado o erro de registro da imagem CBERS pelo fato de ela ter tido um papel secundário, embora necessário, neste trabalho.

TABELA 5.1 – Erro de registro das imagens contidas no banco de dados. A imagem base foi a de 05/01/02.

Data da imagem	Erro de registro	Data da imagem	Erro de registro	Data da imagem	Erro de registro
08/01/00	0,289	05/07/01	0,176	16/07/02	0,125
05/04/00	0,245	14/08/01	0,223	17/08/02	0,177
16/06/00	0,269	07/09/01	0,172	02/09/02	0,126
19/08/00	0,263	25/10/01	0,186	20/10/02	0,132
20/09/00	0,106	02/11/01	0,185	08/01/03	0,152
22/10/00	0,246	04/12/01	0,270	09/02/03	0,295
09/12/00	0,254	05/01/02	0,191	25/02/03	0,147
18/01/01	0,256	21/01/02	0,211	14/04/03	0,103
19/02/01	0,172	06/02/02	0,164	30/04/03	0,176
23/03/01	0,250	10/03/02	0,244	16/05/03	0,194
08/04/01	0,164	11/04/02	0,240	27/07/03	0,123
02/05/01	0,158	29/05/02	0,284	12/08/03	0,053
11/06/01	0,267	30/06/02	0,296	15/10/03	0,101

Valor em vermelho – maior erro de registro; Valor em azul – menor erro de registro.

Na Tabela 5.2 são apresentados os valores dos erros de registro em metros e as resoluções espaciais das imagens. Os erros de registro variaram de 1,59 m na imagem do dia 12/08/03 a 8,85 m na imagem do dia 09/02/03. A média dos erros corresponde a 5,28 m. Os erros foram satisfatórios, visto que os pixels das imagens possuem tamanho de 25 ou 30 m.

TABELA 5.2 – Erro de registro em metros e resolução espacial das imagens contidas no banco de dados.

Data da imagem - Resolução espacial	Erro de registro	Data da imagem - Resolução espacial	Erro de registro	Data da imagem - Resolução espacial	Erro de registro
08/01/00 - 25 m	7,23 m	05/07/01 - 30 m	5,28 m	16/07/02 - 25 m	3,75 m
05/04/00 - 30 m	7,35 m	14/08/01 - 25 m	5,58 m	17/08/02 - 30 m	3,31 m
16/06/00 - 25 m	6,73 m	07/09/01 - 30 m	5,16 m	02/09/02 - 30 m	3,78 m
19/08/00 - 25 m	6,58 m	25/10/01 - 30 m	5,58 m	20/10/02 -30 m	3,96 m
20/09/00 - 25 m	2,65 m	02/11/01 - 30 m	5,55 m	08/01/03 - 30 m	4,56 m
22/10/00 - 25 m	6,15 m	04/12/01 - 25 m	6,75 m	09/02/03 -30 m	8,85 m
09/12/00 - 25 m	6,35 m	05/01/02 - 25 m	4,78 m	25/02/03 - 30 m	4,41 m
18/01/01 - 25 m	6,40 m	21/01/02 - 25 m	5,28 m	14/04/03 - 30 m	3,09 m
19/02/01 - 25 m	4,30 m	06/02/02 - 25 m	4,10 m	30/04/03 - 30 m	5,28 m
23/03/01 - 25 m	6,25 m	10/03/02 - 25 m	6,10 m	16/05/03 - 30 m	5,82 m
08/04/01 - 30 m	4,92 m	11/04/02 - 25 m	6,00 m	27/07/03 - 30 m	3,69 m
02/05/01 - 30 m	4,74 m	29/05/02 - 25 m	7,10 m	12/08/03 - 30 m	1,59 m
11/06/01 - 25 m	6,68 m	30/06/02 - 25 m	7,40 m	15/10/03 - 30m	3,03 m

Valor em vermelho – maior erro de registro; Valor em azul – menor erro de registro.

No decorrer da interpretação visual dos pontos amostrais foi observado que, mesmo pequeno, o erro de registro foi percebido em alguns pontos. Isto ocorreu principalmente nos casos em que os pontos amostrais estavam próximos às divisas de talhões agrícolas, e que em algumas datas o ponto estava no limite entre dois talhões. Isso gerou uma certa dúvida para saber a qual talhão o ponto pertencia. Para eliminar qualquer incerteza, sempre que uma nova imagem ia ser classificada por interpretação visual, uma imagem de data anterior já classificada era acoplada à primeira. Este procedimento garantiu que os pontos fossem sempre relacionados aos mesmos talhões.

5.1.2 - Correção Atmosférica

O resultado visual da correção atmosférica pode ser observado na Figura 5.1. As imagens corrigidas ficaram um pouco mais escuras que as imagens nível 1G, houve uma redução do aspecto de névoa das imagens. Como a técnica de correção atmosférica utilizada - SPE - tenta compensar o espalhamento atmosférico, a imagem corrigida apresentou uma redução nos níveis digitais em todas as bandas (Figura 5.2). Visto que o espalhamento atmosférico é maior nas bandas espectrais do visível, os níveis digitais das bandas 1, 2 e 3 sofreram uma maior redução.

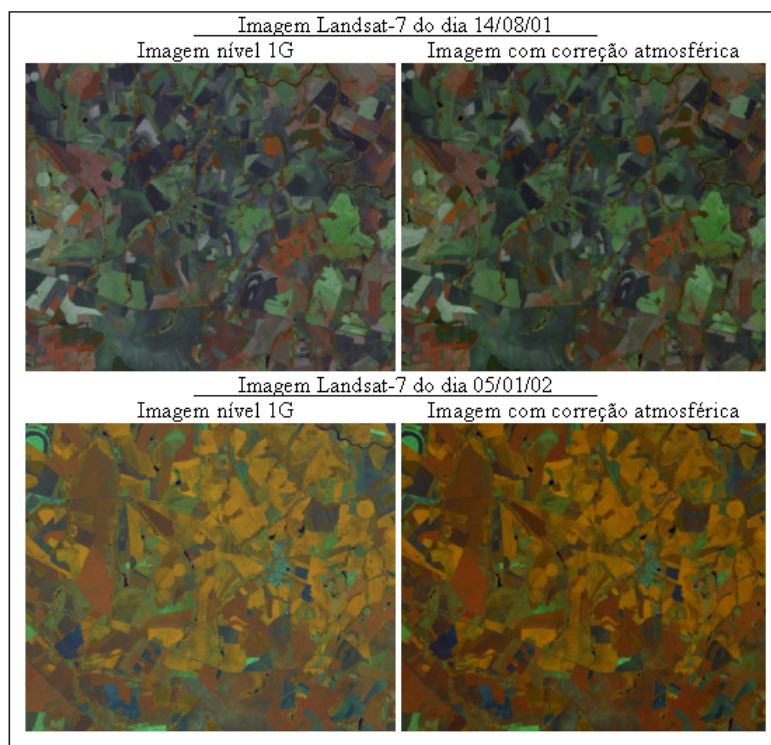


FIGURA 5.1 – Recorte da imagem Landsat-7, na composição colorida RGB 453, dos dias 14/08/01 e 05/01/02 antes (imagem nível 1G) e depois da correção atmosférica.

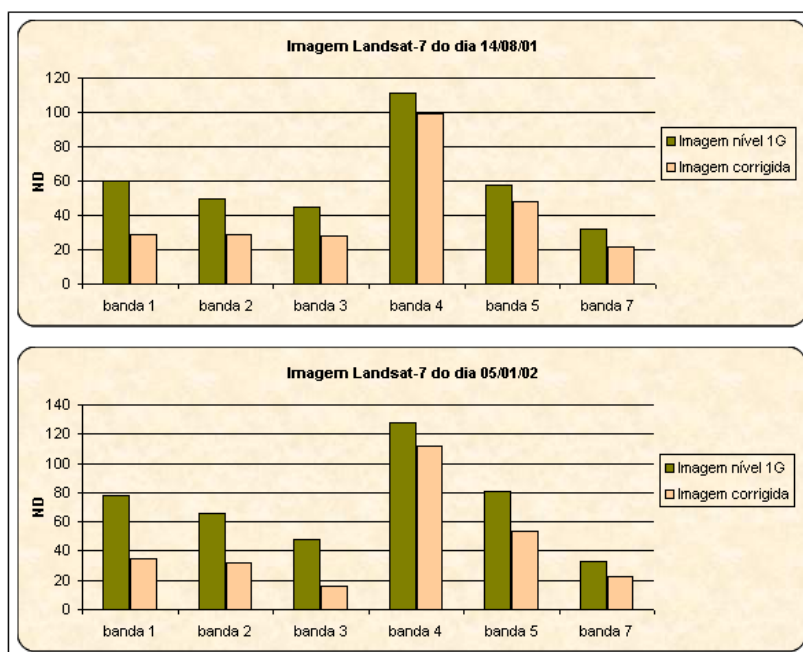


FIGURA 5.2 – Níveis Digitais (ND) de um alvo agrícola das imagens dos dias 14/08/01 e 05/01/02 níveis 1G e uniformizadas.

5.1.3 - Uniformização de Imagens

Nas Tabelas 5.3 e 5.4 são apresentadas as equações de regressão obtidas a partir dos seis alvos claros e escuros e os respectivos coeficientes de determinação. Nas equações, a variável independente “x” é o valor de ND da imagem antes da uniformização, e a variável dependente “y” é o valor de ND da imagem depois da uniformização.

De forma geral, foram altos os valores dos coeficientes de determinação obtidos com as regressões lineares para a uniformização das imagens do banco de dados. As médias dos coeficientes das bandas 1 a 5 foram maiores para as imagens da época chuvosa, e a média dos coeficientes da banda 7 foi maior para as imagens da época seca (Tabelas 5.3 e 5.4).

Os coeficientes de determinação obtidos a partir das imagens da época chuvosa variaram de 0,768 a 0,999 para a banda 1 da imagem do dia 18/01/01 e para a banda 5 da imagem do dia 20/10/02, respectivamente (Tabela 5.3).

TABELA 5.3 – Regressões lineares obtidas entre os ND dos seis alvos (claros e escuros) da imagem de referência da época chuvosa e os ND dos seis alvos de cada uma das demais imagens da mesma época e respectivos coeficientes de determinação (R^2).

		Imagem de referência: 05/01/02					
Data	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7	
1 08/01/00	$y = 0,8311x - 34,894$ $R^2 = 0,875$	$y = 1,842x - 36,015$ $R^2 = 0,960$	$y = 1,6964x - 39,539$ $R^2 = 0,978$	$y = 0,9623x - 7,3979$ $R^2 = 0,844$	$y = 1,1059x - 8,5857$ $R^2 = 0,904$	$y = 1,3539x - 4,8387$ $R^2 = 0,861$	
2 22/10/00	$y = 0,9583x - 52,779$ $R^2 = 0,978$	$y = 1,6051x - 33,382$ $R^2 = 0,982$	$y = 1,309x - 33,456$ $R^2 = 0,974$	$y = 1,0777x - 11,805$ $R^2 = 0,927$	$y = 0,808x - 4,296$ $R^2 = 0,998$	$y = 0,8746x - 3,5561$ $R^2 = 0,998$	
3 09/12/00	$y = 0,7435x - 30,91$ $R^2 = 0,992$	$y = 1,3067x - 18,228$ $R^2 = 0,992$	$y = 1,1367x - 20,57$ $R^2 = 0,998$	$y = 0,8651x - 9,1848$ $R^2 = 0,892$	$y = 0,7928x - 8,3384$ $R^2 = 0,976$	$y = 0,8789x - 5,7637$ $R^2 = 0,977$	
4 18/01/01	$y = 0,9231x - 54,326$ $R^2 = 0,768$	$y = 0,8584x - 43,977$ $R^2 = 0,885$	$y = 0,8703x - 46,381$ $R^2 = 0,920$	$y = 0,8749x - 34,117$ $R^2 = 0,866$	$y = 0,8546x - 34,271$ $R^2 = 0,932$	$y = 0,6926x - 16,793$ $R^2 = 0,960$	
5 19/02/01	$y = 0,8232x - 22,37$ $R^2 = 0,862$	$y = 0,8282x - 18,409$ $R^2 = 0,937$	$y = 0,8763x - 21,319$ $R^2 = 0,959$	$y = 0,9882x - 12,532$ $R^2 = 0,918$	$y = 0,8913x - 6,4601$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,6656x - 2,1309$ $R^2 = 0,976$	
6 23/03/01	$y = 0,7729x - 16,689$ $R^2 = 0,863$	$y = 0,8162x - 15,705$ $R^2 = 0,926$	$y = 0,88x - 21,252$ $R^2 = 0,960$	$y = 1,0689x - 11,259$ $R^2 = 0,885$	$y = 0,8287x - 5,1056$ $R^2 = 0,985$	$y = 0,7005x - 4,4409$ $R^2 = 0,981$	
7 25/10/01	$y = 0,8795 - 28,744$ $R^2 = 0,969$	$y = 1,5318x - 22,192$ $R^2 = 0,969$	$y = 1,4635x - 25,84$ $R^2 = 0,969$	$y = 1,0777x - 11,95$ $R^2 = 0,905$	$y = 1,0597x - 9,647$ $R^2 = 0,998$	$y = 1,3617x - 7,9203$ $R^2 = 0,985$	
8 02/11/01	$y = 0,8565x - 37,235$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,8648x - 30,16$ $R^2 = 0,997$	$y = 0,9693x - 28,952$ $R^2 = 0,858$	$y = 1,2132x - 21,195$ $R^2 = 0,885$	$y = 0,8668x - 13,158$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,7121x - 7,9683$ $R^2 = 0,994$	
9 04/12/01	$y = 0,8709x - 40,261$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,8521x - 31,183$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,8582x - 34,078$ $R^2 = 0,995$	$y = 1,1083x - 23,856$ $R^2 = 0,912$	$y = 0,8901x - 16,437$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,7457x - 11,564$ $R^2 = 0,998$	
10 21/01/02	$y = 1,3346x - 93,42$ $R^2 = 0,998$	$y = 1,2013x - 66,165$ $R^2 = 0,961$	$y = 1,1187x - 54,983$ $R^2 = 0,934$	$y = 1,3949x - 61,173$ $R^2 = 0,968$	$y = 0,9891x - 16,321$ $R^2 = 0,880$	$y = 0,9108x - 13,225$ $R^2 = 0,896$	
11 06/02/02	$y = 0,8106x - 25,231$ $R^2 = 0,960$	$y = 0,8538x - 22,953$ $R^2 = 0,963$	$y = 0,8875x - 23,046$ $R^2 = 0,973$	$y = 1,0333x - 14,396$ $R^2 = 0,992$	$y = 0,8033x - 4,228$ $R^2 = 0,989$	$y = 0,6713x - 1,7433$ $R^2 = 0,979$	
12 10/03/02	$y = 0,9904x - 35,783$ $R^2 = 0,998$	$y = 0,9923x - 28,85$ $R^2 = 0,998$	$y = 1,0083x - 28,62$ $R^2 = 0,998$	$y = 1,1769x - 14,016$ $R^2 = 0,886$	$y = 0,9173x - 9,1715$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,7851x - 7,7614$ $R^2 = 0,983$	
13 20/10/02	$y = 1,3874x - 78,74$ $R^2 = 0,883$	$y = 1,2695x - 55,066$ $R^2 = 0,962$	$y = 1,1216x - 48,188$ $R^2 = 0,985$	$y = 1,4895x - 25,101$ $R^2 = 0,922$	$y = 0,9352x - 12,227$ $R^2 = 0,999$	$y = 0,7414x - 7,3284$ $R^2 = 0,998$	
14 08/01/03	$y = 0,5023x - 0,8469$ $R^2 = 0,830$	$y = 0,6875x - 14,041$ $R^2 = 0,942$	$y = 0,9873x + 3,3626$ $R^2 = 0,967$	$y = 0,9314x - 15,642$ $R^2 = 0,967$	$y = 0,838x - 10,903$ $R^2 = 0,992$	$y = 0,7295x - 7,0116$ $R^2 = 0,992$	
15 09/02/03	$y = 0,6969x - 12,808$ $R^2 = 0,810$	$y = 0,8829x - 22,087$ $R^2 = 0,919$	$y = 1,1547x - 0,9691$ $R^2 = 0,976$	$y = 1,1174x - 19,286$ $R^2 = 0,978$	$y = 0,8419x - 8,0714$ $R^2 = 0,984$	$y = 0,6954x - 2,4851$ $R^2 = 0,978$	
16 25/02/03	$y = 0,7581x - 15,684$ $R^2 = 0,856$	$y = 0,8334x - 18,033$ $R^2 = 0,917$	$y = 0,9221x - 20,876$ $R^2 = 0,942$	$y = 1,1679x - 16,409$ $R^2 = 0,940$	$y = 0,8438x - 7,4175$ $R^2 = 0,983$	$y = 0,699x - 4,4252$ $R^2 = 0,985$	
17 15/10/03	$y = 0,9088x - 25,202$ $R^2 = 0,787$	$y = 1,7077x - 21,394$ $R^2 = 0,910$	$y = 1,6357x - 28,082$ $R^2 = 0,941$	$y = 1,1997x - 12,75$ $R^2 = 0,949$	$y = 0,9486x - 7,4821$ $R^2 = 0,995$	$y = 1,1559x - 4,9429$ $R^2 = 0,991$	
Média	$R^2 = 0,907$	$R^2 = 0,954$	$R^2 = 0,960$	$R^2 = 0,920$	$R^2 = 0,976$	$R^2 = 0,973$	

R^2 em vermelho: menor valor para a banda; R^2 em azul: maior valor para a banda; R^2 em vermelho e sublinhado: menor valor em todas as bandas; R^2 em azul e sublinhado: maior valor em todas as bandas.

Os coeficientes de determinação obtidos para as regressões lineares das imagens da época seca variaram de 0,666, para a banda 7 da imagem do dia 07/09/01 a 1, para a banda 7 da imagem do dia 02/05/01 (Tabela 5.4).

TABELA 5.4 – Regressões lineares obtidas entre os ND dos seis alvos (claros e escuros) da imagem de referência da época seca e os ND dos seis alvos de cada uma das demais imagens da mesma época e respectivos coeficientes de determinação (R^2).

		Imagem de referência: 14/08/01					
Data	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7	
1	05/04/00 $y = 0.6646x - 16.037$ $R^2 = 0,939$	$y = 0.6953x - 10.124$ $R^2 = 0,955$	$y = 0.752x - 6.893$ $R^2 = 0,983$	$y = 0.6304x + 2.3017$ $R^2 = 0,962$	$y = 0.7814x + 0.5491$ $R^2 = 0,989$	$y = 0.8357x - 1.939$ $R^2 = 0,993$	
2	16/06/00 $y = 0.8635x - 22.381$ $R^2 = 0,985$	$y = 1.5943x - 11.631$ $R^2 = 0,964$	$y = 1.3381x - 5.0755$ $R^2 = 0,976$	$y = 1.2367x + 1.2969$ $R^2 = 0,986$	$y = 0.8637x + 0.451$ $R^2 = 0,991$	$y = 1.0785x + 0.3765$ $R^2 = 0,946$	
3	19/08/00 $y = 0.792x - 24.649$ $R^2 = 0,987$	$y = 1.3231x - 8.308$ $R^2 = 0,996$	$y = 1.1528x - 3.6973$ $R^2 = 0,986$	$y = 1.1199x + 3.2845$ $R^2 = 0,987$	$y = 0.7493x + 0.7746$ $R^2 = 0,992$	$y = 1.0177x - 1.3427$ $R^2 = 0,986$	
4	20/09/00 $y = 0.6224x - 20.298$ $R^2 = 0,946$	$y = 1.1334x - 10.226$ $R^2 = 0,972$	$y = 1.033x - 6.9021$ $R^2 = 0,992$	$y = 0.9442x + 2.9026$ $R^2 = 0,994$	$y = 0.7288x - 2.2012$ $R^2 = 0,981$	$y = 1.0003x - 5.1861$ $R^2 = 0,979$	
5	08/04/01 $y = 0.665x - 19,067$ $R^2 = 0,997$	$y = 0,7207x - 15,879$ $R^2 = 0,986$	$y = 0,7818x - 13,709$ $R^2 = 0,995$	$y = 1,1177x - 10,777$ $R^2 = 0,948$	$y = 0,8698x - 11,93$ $R^2 = 0,9952$	$y = 0,9642x - 10,805$ $R^2 = 0,995$	
6	02/05/01 $y = 0,3949x + 9,1669$ $R^2 = 0,915$	$y = 0,7895x + 6,944$ $R^2 = 0,960$	$y = 0,9947x + 4,8107$ $R^2 = 0,968$	$y = 0,8701x + 2,2583$ $R^2 = 0,996$	$y = 0,977x - 4,2536$ $R^2 = 0,998$	$y = 1,5617x - 2,8103$ $R^2 = 1$	
7	11/06/01 $y = 0,3699x + 10,792$ $R^2 = 0,864$	$y = 0,4422x + 10,564$ $R^2 = 0,877$	$y = 0,6387x + 7,174$ $R^2 = 0,909$	$y = 0,6533x + 0,9329$ $R^2 = 0,972$	$y = 0,7724x + 0,4504$ $R^2 = 0,971$	$y = 0,7799x - 0,2571$ $R^2 = 0,960$	
8	05/07/01 $y = 0,4651x + 8,945$ $R^2 = 0,875$	$y = 0,699x + 15,169$ $R^2 = 0,851$	$y = 0,8282x + 17,892$ $R^2 = 0,834$	$y = 0,7681x + 10,137$ $R^2 = 0,887$	$y = 1,0238x - 2,7355$ $R^2 = 0,984$	$y = 0,9388x + 8,4313$ $R^2 = 0,943$	
9	07/09/01 $y = 0,8644x - 28,067$ $R^2 = 0,995$	$y = 1,5532x - 20,253$ $R^2 = 0,986$	$y = 1,532x - 19,561$ $R^2 = 0,997$	$y = 1,2219x - 9,0955$ $R^2 = 0,993$	$y = 0,9806x - 11,559$ $R^2 = 0,984$	$y = 1,8058x - 25,025$ $R^2 = 0,666$	
10	11/04/02 $y = 0,6732x - 16,911$ $R^2 = 0,966$	$y = 0,7461x - 14,189$ $R^2 = 0,962$	$y = 0,8046x - 10,719$ $R^2 = 0,995$	$y = 1,1054x - 4,9303$ $R^2 = 0,932$	$y = 0,8557x - 4,7577$ $R^2 = 0,991$	$y = 0,9161x - 6,9711$ $R^2 = 0,997$	
11	29/05/02 $y = 1,1289x - 54,419$ $R^2 = 0,989$	$y = 1,2488x - 48,369$ $R^2 = 0,973$	$y = 1,3029x - 45,841$ $R^2 = 0,985$	$y = 1,1997x - 41,576$ $R^2 = 0,939$	$y = 1,4609x - 44,358$ $R^2 = 0,997$	$y = 1,5022x - 35,986$ $R^2 = 0,996$	
12	30/06/02 $y = 0,695x - 8,5349$ $R^2 = 0,985$	$y = 0,8838x - 11,209$ $R^2 = 0,985$	$y = 0,9722x - 8,4526$ $R^2 = 0,991$	$y = 1,4332x - 5,5671$ $R^2 = 0,990$	$y = 0,9349x - 2,7751$ $R^2 = 0,991$	$y = 0,9633x - 3,6762$ $R^2 = 0,993$	
13	16/07/02 $y = 0,7618x - 13,069$ $R^2 = 0,968$	$y = 0,9024x - 13,004$ $R^2 = 0,996$	$y = 0,9983x - 11,208$ $R^2 = 0,996$	$y = 1,0037x - 6,8824$ $R^2 = 0,992$	$y = 0,9589x - 3,0466$ $R^2 = 0,997$	$y = 0,9183x - 3,1618$ $R^2 = 0,816$	
14	17/08/02 $y = 0,7826x - 18,765$ $R^2 = 0,994$	$y = 0,8652x - 16,665$ $R^2 = 0,992$	$y = 0,8992x - 12,97$ $R^2 = 0,995$	$y = 1,4278x - 8,2053$ $R^2 = 0,998$	$y = 0,8885x - 7,6123$ $R^2 = 0,999$	$y = 0,8878x - 8,7086$ $R^2 = 0,989$	
15	02/09/02 $y = 0,7681x - 24,156$ $R^2 = 0,912$	$y = 0,8613x - 21,104$ $R^2 = 0,944$	$y = 0,9009x - 17,914$ $R^2 = 0,980$	$y = 1,4539x - 15,364$ $R^2 = 0,988$	$y = 1,0118x - 13,979$ $R^2 = 0,986$	$y = 0,9697x - 9,956$ $R^2 = 0,985$	
16	14/04/03 $y = 0,3002x + 11,095$ $R^2 = 0,841$	$y = 0,4579x + 3,8275$ $R^2 = 0,907$	$y = 0,67x - 0,4851$ $R^2 = 0,931$	$y = 0,9725x - 1,9711$ $R^2 = 0,951$	$y = 1,0494x - 10,444$ $R^2 = 0,971$	$y = 1,2594x - 13,806$ $R^2 = 0,951$	
17	30/04/03 $y = 1,0297x - 40,221$ $R^2 = 0,981$	$y = 1,1331x - 34,95$ $R^2 = 0,956$	$y = 1,1741x - 30,368$ $R^2 = 0,993$	$y = 1,4536x - 22,616$ $R^2 = 0,953$	$y = 1,1307x - 24,014$ $R^2 = 0,965$	$y = 1,0127x - 12,483$ $R^2 = 0,859$	
18	16/05/03 $y = 0,6136x - 6,3174$ $R^2 = 0,973$	$y = 0,7883x - 9,0275$ $R^2 = 0,981$	$y = 0,9821x - 10,985$ $R^2 = 0,975$	$y = 0,8365x - 7,2514$ $R^2 = 0,981$	$y = 0,8954x - 5,6799$ $R^2 = 0,996$	$y = 0,9301x - 5,6054$ $R^2 = 0,990$	
19	27/07/03 $y = 0,8464x - 12,488$ $R^2 = 0,974$	$y = 1,7511x - 10,537$ $R^2 = 0,988$	$y = 1,6706x - 6,1615$ $R^2 = 0,975$	$y = 1,4046x - 2,5457$ $R^2 = 0,985$	$y = 1,032x - 3,7846$ $R^2 = 0,985$	$y = 1,5306x - 3,9875$ $R^2 = 0,957$	
20	12/08/03 $y = 0,974x - 21,634$ $R^2 = 0,996$	$y = 1,7515x - 15,51$ $R^2 = 0,974$	$y = 1,5414x - 8,5074$ $R^2 = 0,967$	$y = 1,3007x - 3,2815$ $R^2 = 0,983$	$y = 1,0962x - 5,9896$ $R^2 = 0,999$	$y = 1,4772x - 4,248$ $R^2 = 0,978$	
Média	$R^2 = 0,954$	$R^2 = 0,959$	$R^2 = 0,971$	$R^2 = 0,971$	$R^2 = 0,988$	$R^2 = 0,949$	

R^2 em vermelho: menor valor para a banda; R^2 em azul: maior valor para a banda; R^2 em vermelho e sublinhado: menor valor em todas as bandas; R^2 em azul e sublinhado: maior valor em todas as bandas.

As médias dos níveis digitais utilizados na uniformização, para cada alvo (claro e escuro), para as imagens da época seca e chuvosa, foram obtidas para avaliar e melhor compreender os coeficientes de determinação obtidos com as regressões lineares da uniformização das imagens (Figura 5.3 a Figura 5.8). Nessas Figuras, no eixo das abscissas estão os números que correspondem às imagens de satélite, e no eixo das ordenadas estão os valores de ND dos alvos (claros e escuros). O valor de ND da

imagem de referência (imagem 0) está escrito à esquerda. O valor médio dos ND de todas as imagens uniformizadas encontra-se à direita (imagem 17 para as imagens da época chuvosa e imagem 21 para as imagens da época seca).

Foi observado que oito imagens, três da época chuvosa (18/01/01- imagem 4, 21/01/02- imagem 10 e 08/01/03- imagem 14) e cinco da época seca (05/04/00 - imagem 1, 11/06/01- imagem 7, 07/09/01- imagem 9, 29/05/02 - imagem 11 e 14/04/03 - imagem 16) apresentaram valores acima ou abaixo da média (destacados com um quadrado verde em volta nas Figuras 5.3 a 5.8), ao considerar um desvio padrão de 2,5. Entre essas oito imagens a grande maioria apresentou valores de coeficiente de determinação abaixo da média nas bandas em que o valor de ND de algum alvo estava fora do desvio padrão.

Citam-se como exemplos (destacados com um círculo vermelho nas Figuras 5.4 e 5.8) a banda 2 da imagem do dia 18/01/01 (imagem 4 da época chuvosa) que apresentou para o alvo escuro 13 valor de ND igual a 103 enquanto que a média para todas as datas foi de ND igual a 48, e que teve o menor coeficiente de determinação das imagens da época chuvosa ($R^2 = 0,768$). Destaca-se também a banda 7 da imagem do dia 07/09/02 (imagem 9 da época da seca) que apresentou para os alvos escuros 4 e 8 e alvo claro 11 ND iguais a 40, 43 e 35, sendo que as médias obtidas foram de 9, 10 e 114, respectivamente, e que teve o menor coeficiente de determinação de todas as imagens (0,666).

Os alvos que apareceram mais vezes com valores acima (ou abaixo) do desvio padrão adotado foram os três alvos escuros. Esses alvos correspondem a corpos d'água que provavelmente sofreram alterações na concentração de sedimentos (entre outros), os quais influenciam na resposta espectral desses alvos.

As bandas da região do visível tiveram menos valores acima (ou abaixo) do desvio padrão do que as bandas da região do infravermelho. Normalmente, há uma maior variabilidade de ND nos comprimentos de onda do infravermelho em relação aos comprimentos de onda do visível. Porém, esta maior variação dos ND observada nas bandas do infravermelho pode ter sido causada por alguma modificação dos alvos.

Contudo, seria necessário ter um maior controle de campo para poder averiguar as causas dessa variação.

Apesar de alguns valores de ND dos alvos utilizados na uniformização estarem distantes da média, de forma geral, os alvos apresentaram variação satisfatória, o que proporcionou uma uniformização adequada.

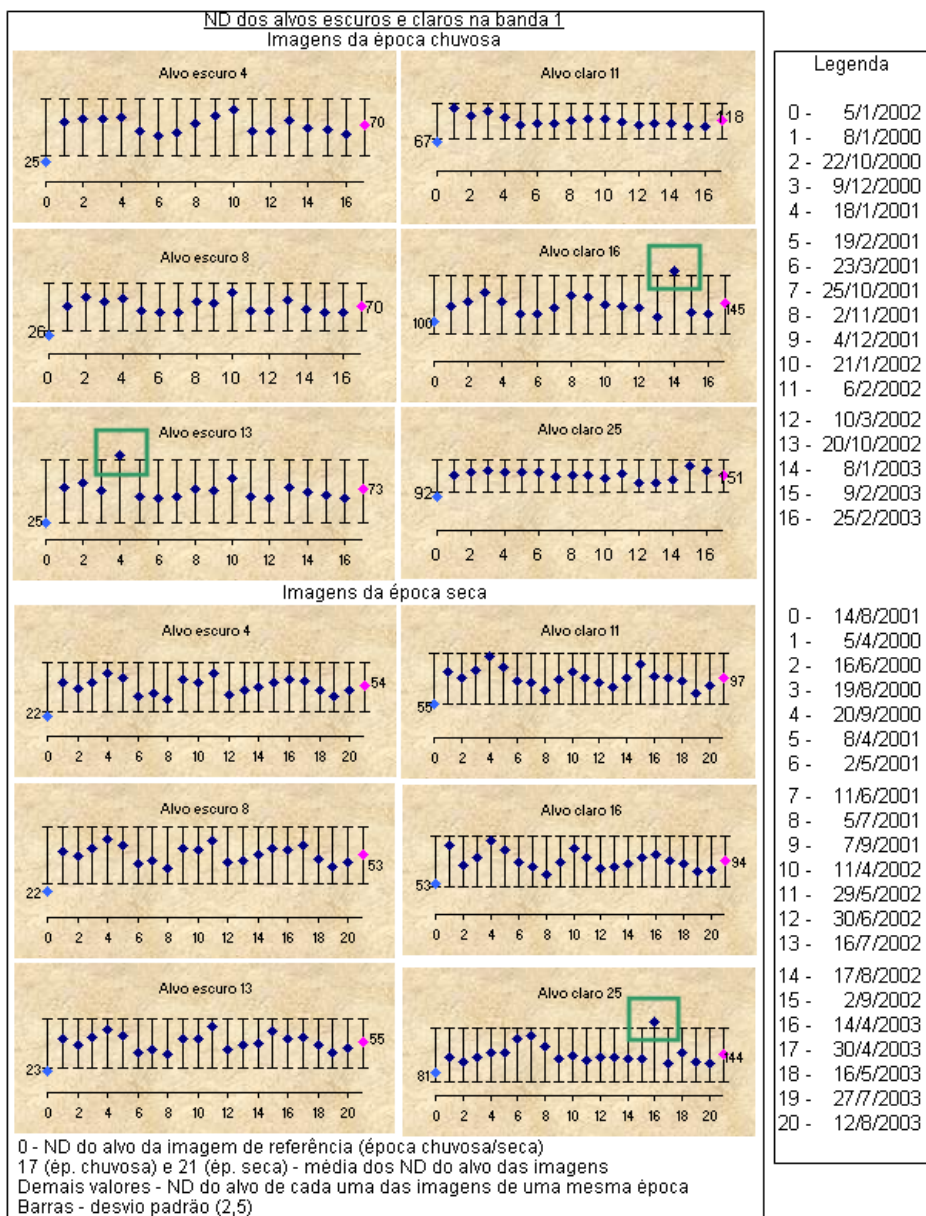


FIGURA 5.3 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 1 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.

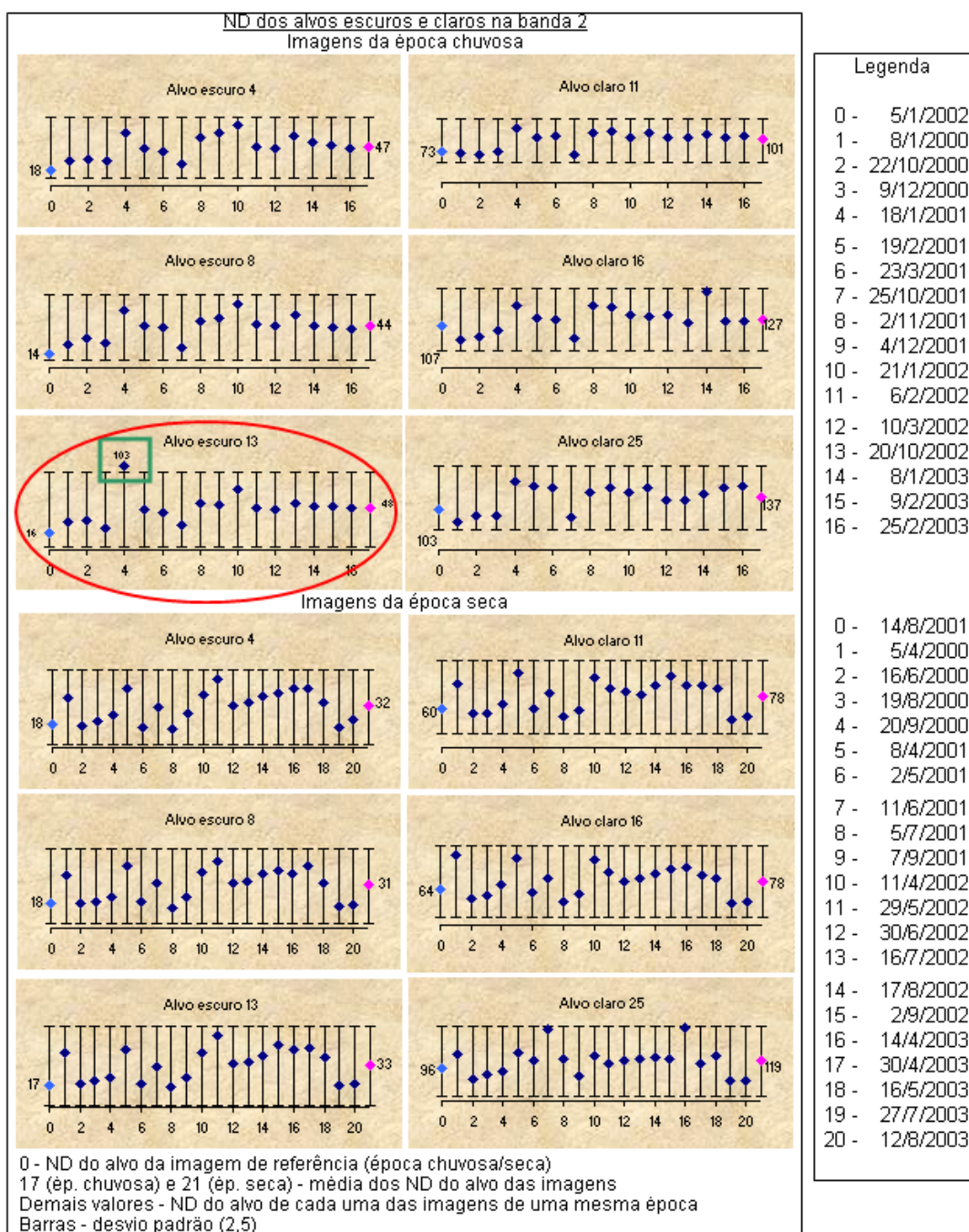


FIGURA 5.4 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 2 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.

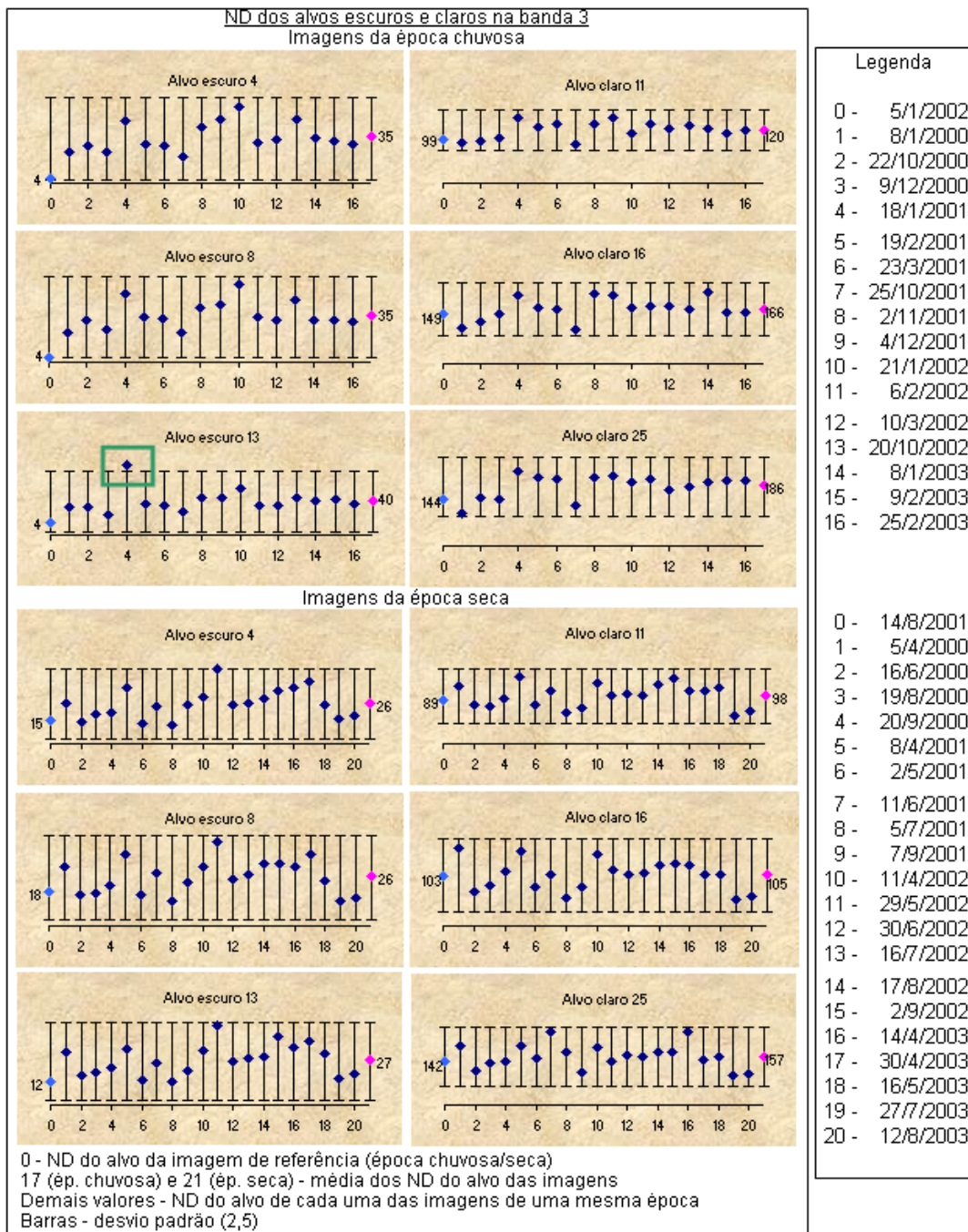


FIGURA 5.5 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 3 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.

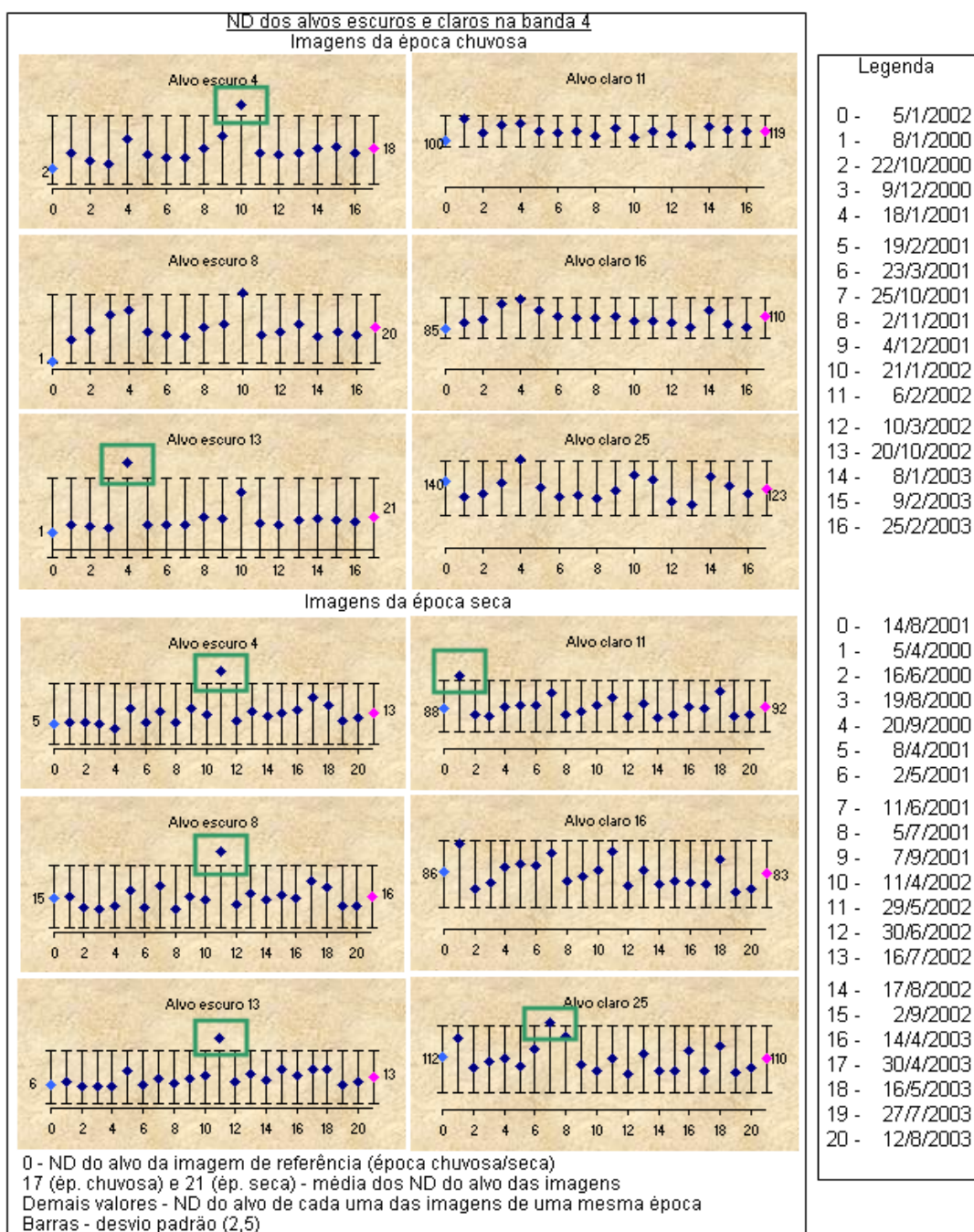


FIGURA 5.6 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 4 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.

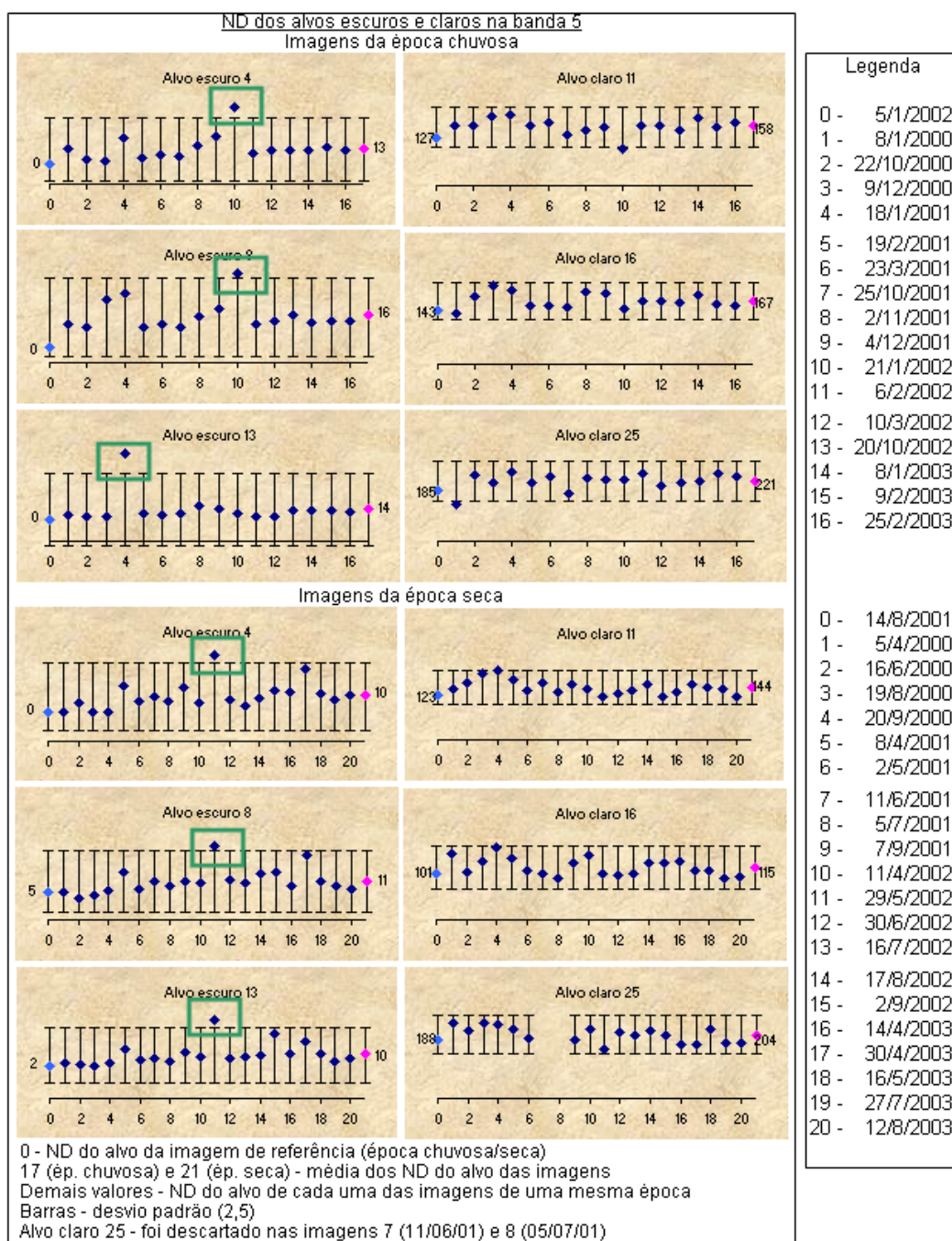


FIGURA 5.7 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 5 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.

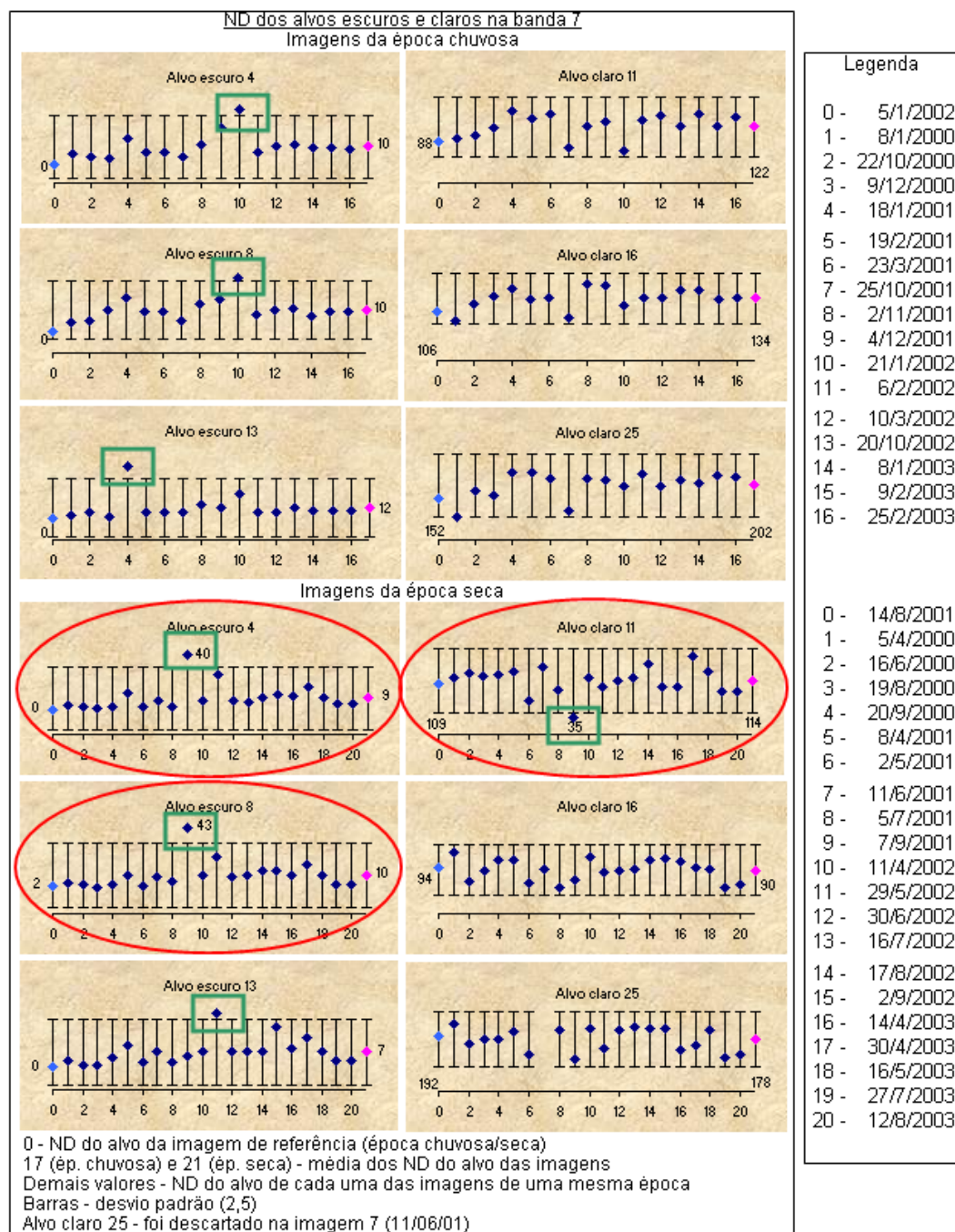


FIGURA 5.8 – Comportamento do Número Digital (ND) dos alvos claros e escuros, na banda 7 da época chuvosa e seca, que foram usados na uniformização das imagens de satélite.

A Soma do Quadrado dos Resíduos (SQR) (Tabela 5.5) foi obtida para todas as imagens também com o intuito de avaliar as regressões obtidas na etapa de uniformização. A

SQR é uma análise relativa e neste caso indica as imagens em que a uniformização foi mais eficiente (menor valor de SQR) ou menos eficiente (maior valor de SQR).

TABELA 5.5 – Valores de SQR obtidos para todas as imagens.

Data	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
08/01/00	774,26	396,94	570,10	2.938,55	3.472,35	3.073,30
05/04/00	181,01	244,04	264,45	441,90	347,24	218,47
16/06/00	44,20	194,05	363,98	165,90	301,70	1.705,86
19/08/00	39,11	22,44	211,08	150,60	264,40	451,47
20/09/00	159,04	154,26	121,73	71,20	606,08	660,83
22/10/00	134,09	182,52	660,91	1.363,39	78,89	35,17
09/12/00	52,24	82,91	60,95	2.029,33	874,44	507,30
18/01/01	1.430,60	1.140,86	2.054,40	2.514,16	2.467,03	880,33
19/02/01	851,25	622,23	1.049,94	1.542,89	210,35	533,88
23/03/01	843,63	732,14	1.034,71	2.152,92	551,99	424,51
08/04/01	9,69	179,04	70,91	609,36	151,94	150,26
02/05/01	251,84	219,28	501,08	42,05	68,57	7,27
11/06/01	403,44	665,21	1.406,73	330,04	427,85	493,05
05/07/01	371,61	807,87	2.571,43	1.330,30	241,42	1.801,85
07/09/01	16,11	78,22	41,11	79,21	514,77	10.455,52
25/10/01	188,93	306,56	950,97	1.781,58	200,36	325,15
02/11/01	34,34	34,30	316,50	2.165,34	224,89	123,33
04/12/01	38,76	58,41	140,31	1.653,19	66,14	36,58
21/01/02	10,53	389,70	1.688,81	597,35	4.361,48	2.308,76
06/02/02	247,41	367,58	689,71	151,50	412,90	469,19
10/03/02	14,76	22,91	27,12	2.145,23	203,59	382,53
11/04/02	100,84	206,98	82,77	799,91	300,14	87,61
29/05/02	33,05	145,67	137,65	718,48	82,20	124,26
30/06/02	45,05	82,89	142,99	114,11	273,56	222,33
16/07/02	164,29	388,17	61,29	89,12	109,04	5.749,09
17/08/02	19,07	44,67	84,66	22,39	24,32	336,51
02/09/02	260,33	303,87	311,70	146,84	437,77	483,26
20/10/02	723,90	373,98	387,32	1.465,97	22,93	35,48
08/01/03	1.051,60	573,97	486,87	624,27	306,80	178,17
09/02/03	1.187,69	803,25	1.834,53	420,79	569,99	485,72
25/02/03	889,60	824,52	1.497,20	1.129,81	635,98	336,26
14/04/03	472,13	506,49	1.069,83	572,53	911,74	1.540,02
30/04/03	56,42	133,61	108,32	553,58	1.087,32	4.405,30
16/05/03	81,42	105,75	380,35	226,69	134,37	306,81
27/07/03	76,17	67,25	389,23	179,03	481,68	1.345,20
12/08/03	11,21	142,42	503,94	204,53	45,36	680,05
15/10/03	1.314,39	889,39	1.500,62	967,63	193,83	192,55
Média	340,11	337,69	642,60	878,15	585,55	1.123,06

Valores em vermelho: maior valor para a banda;

Valores em azul: menor valor para a banda;

Valores em vermelho e sublinhado: maior valor em todas as bandas;

Valores em azul e sublinhado: menor valor em todas as bandas.

Os resultados obtidos com a SQR corroboram os resultados anteriores ao mostrar que as imagens que apresentaram os menores valores de SQR são as mesmas que apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação na etapa de uniformização das imagens.

A banda 7 da imagem do dia 02/05/01 apresentou o menor valor de SQR (7,27), e também apresentou o maior valor de coeficiente de determinação ($R^2 = 1$) entre todas as imagens.

O maior valor de SQR foi o da banda 7 da imagem do dia 07/09/01 (10.455,52), imagem que na uniformização teve o menor valor de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,666$) entre todas as bandas e que apresentou valores de ND acima (ou abaixo) do desvio padrão em três alvos na banda 7. Estes desvios podem ter sido ocasionados ou por problemas na banda espectral em questão, ou por problemas com os alvos utilizados na uniformização das imagens.

Teoricamente, os alvos que não variam com o tempo (os chamados invariantes) deveriam ser escolhidos para serem utilizados na uniformização. Mas, como esses alvos são abstrações, os alvos que pouco variam são os escolhidos. No entanto, às vezes é difícil escolher um grupo de alvos adequado a todas as imagens, principalmente quando se trabalha com um número grande de imagens, como o que ocorreu neste trabalho.

5.1.4 - Análise Temporal de Imagens

Ao observar o recorte das imagens de satélite (que corresponde à área dos três municípios da área de estudo) na composição falsa cor RGB 453, no decorrer dos meses do ano, é possível estabelecer um padrão de cultivo para a região de estudo (Figuras 5.9 a 5.12). Nos primeiros dois meses do ano a cor que se sobressai na composição colorida é o amarelo, característico da cultura da soja na composição utilizada. De março a junho ou julho, dependendo do ano, as tonalidades de magenta se sobressaem (vermelho, laranja, marrom), que correspondem principalmente à cultura de cana-de-açúcar e em menor escala ao milho. De agosto/setembro até dezembro predominam as cores azul escuro e verde claro. A primeira representa o solo exposto. A segunda representa a palhada dos restos de culturas colhidas e deixadas no solo, e as culturas recém plantadas.

O calendário das imagens de 2001, por banda, pode ser visualizado no APÊNDICE A.

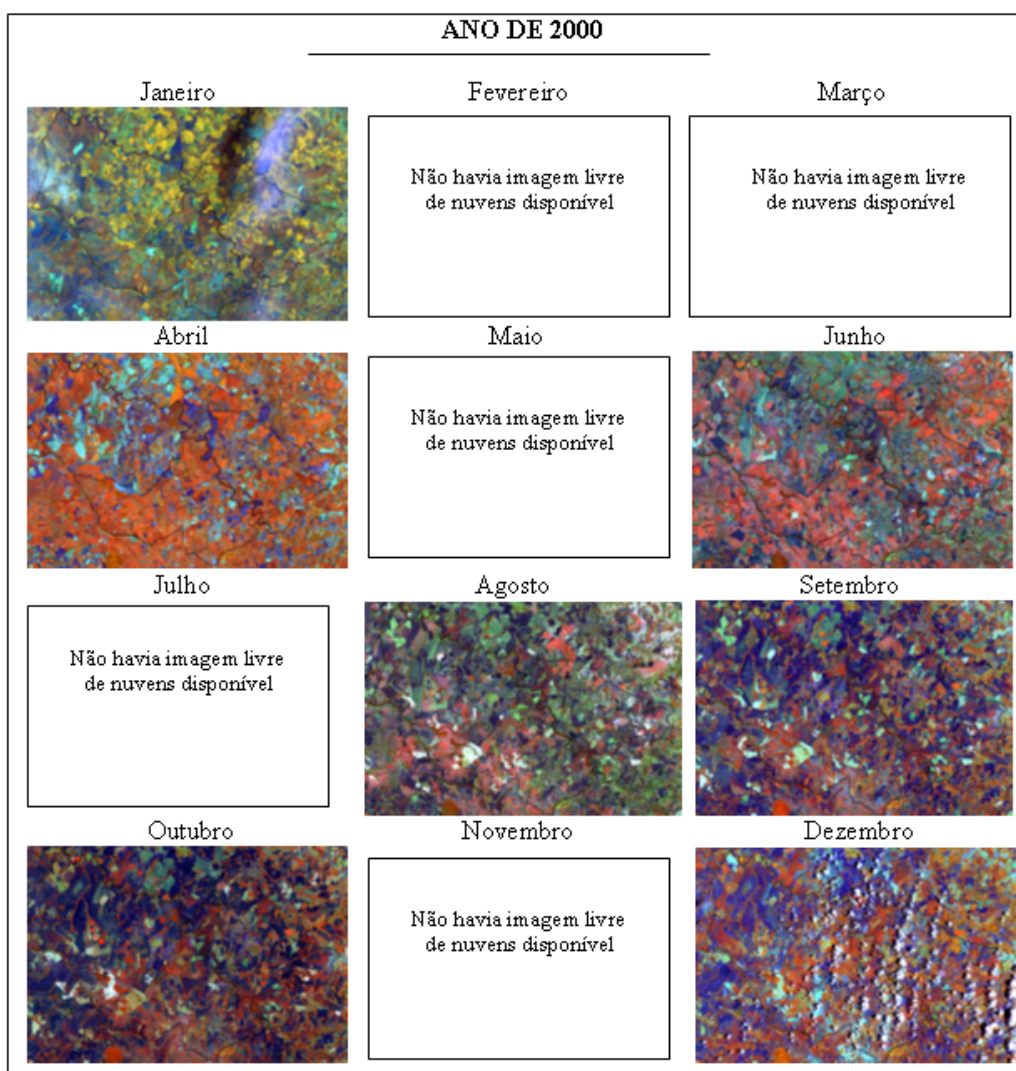


FIGURA 5.9 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2000, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

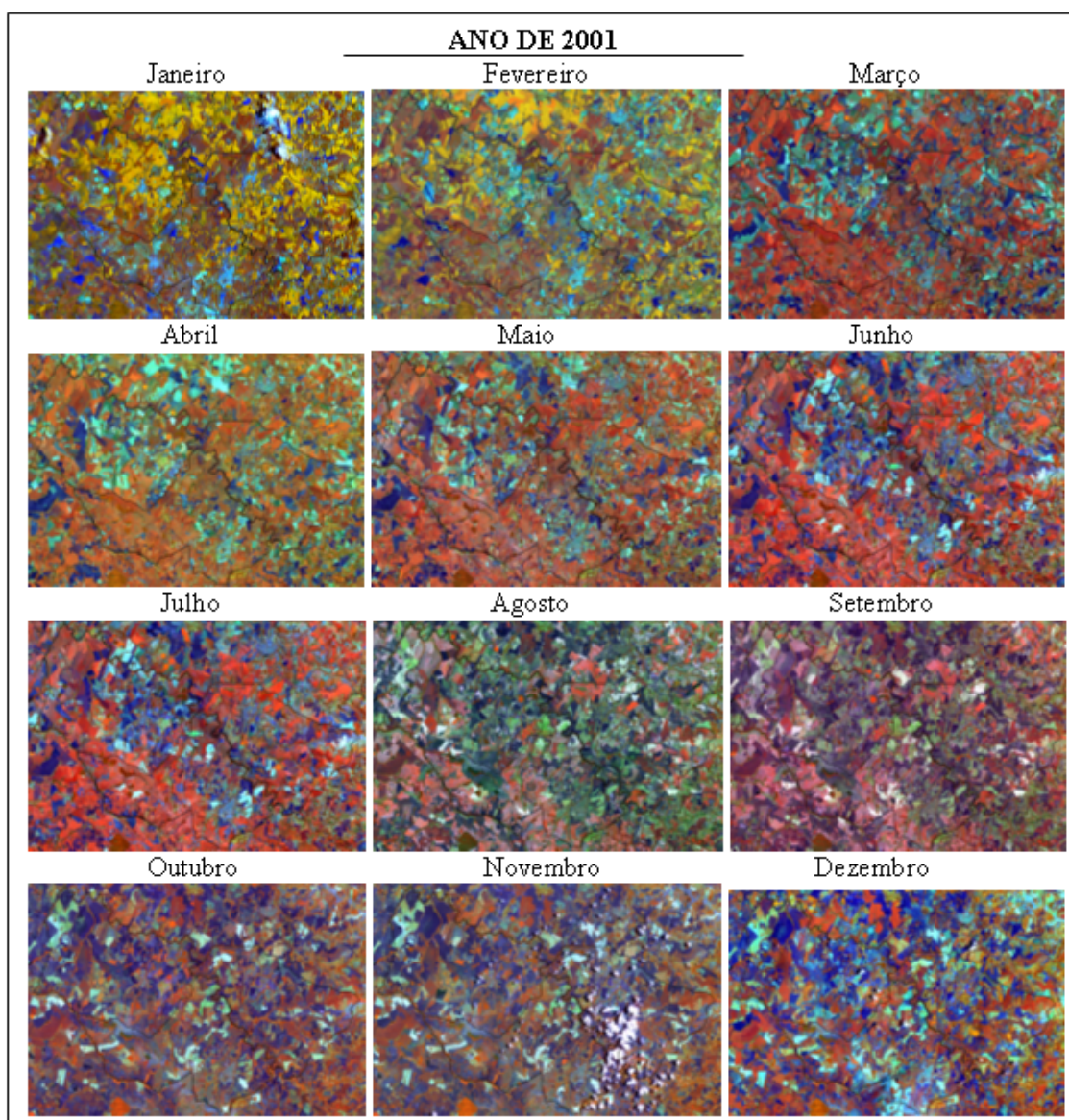


FIGURA 5.10 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2001, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

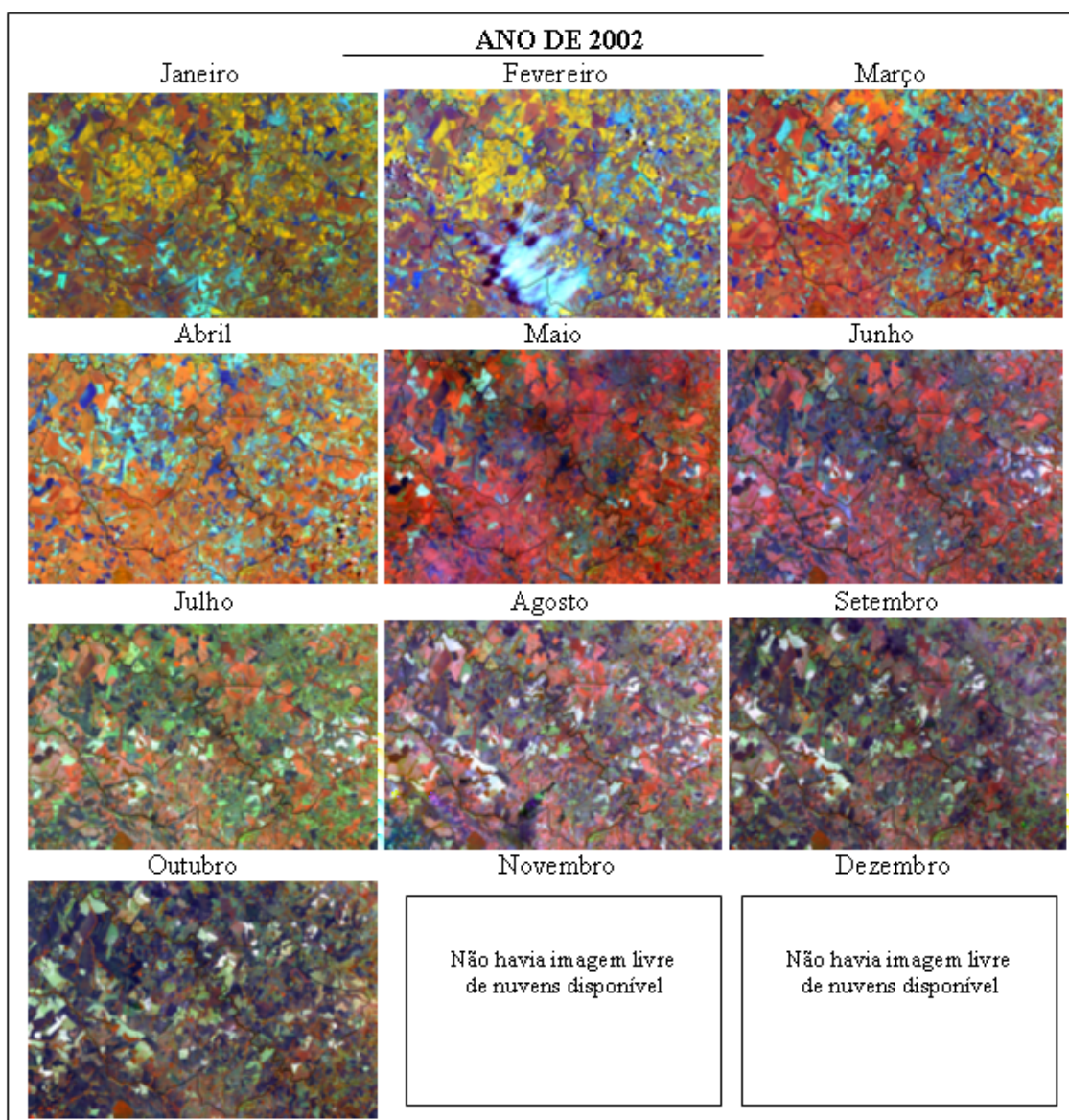


FIGURA 5.11 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2002, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

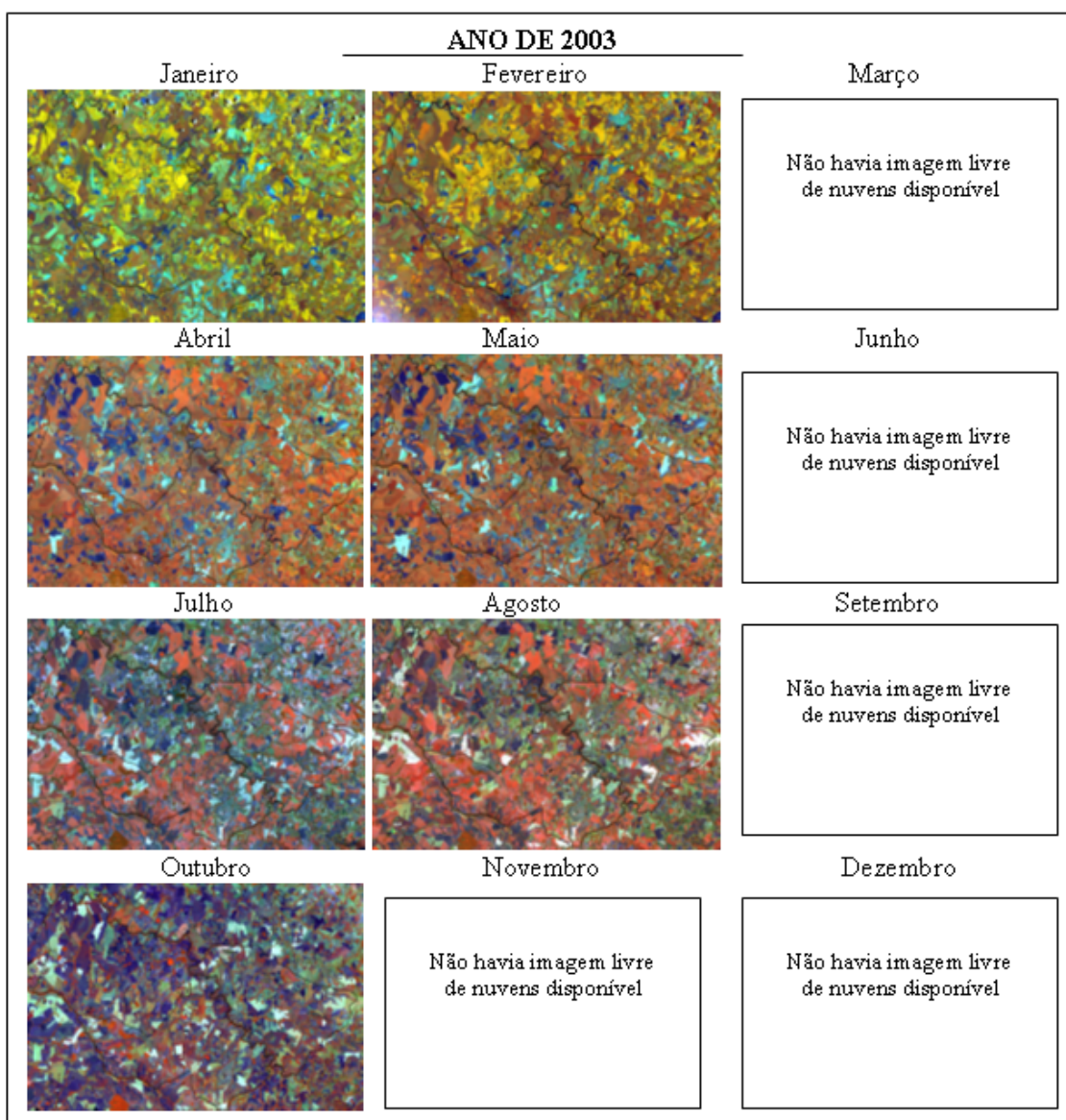


FIGURA 5.12 – Calendário de recortes de imagens (referente à área de estudo) uniformizadas e com contraste, do ano de 2003, segundo a composição RGB 453. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

5.1.5 - Mapa de Referência de Campo

O mapa de referência de campo pode ser visualizado na Figura 5.13. Deste mapa foram extraídas as áreas (em km² e hectares) de cada uma das 20 classes temáticas de uso do solo (Tabela 5.6).

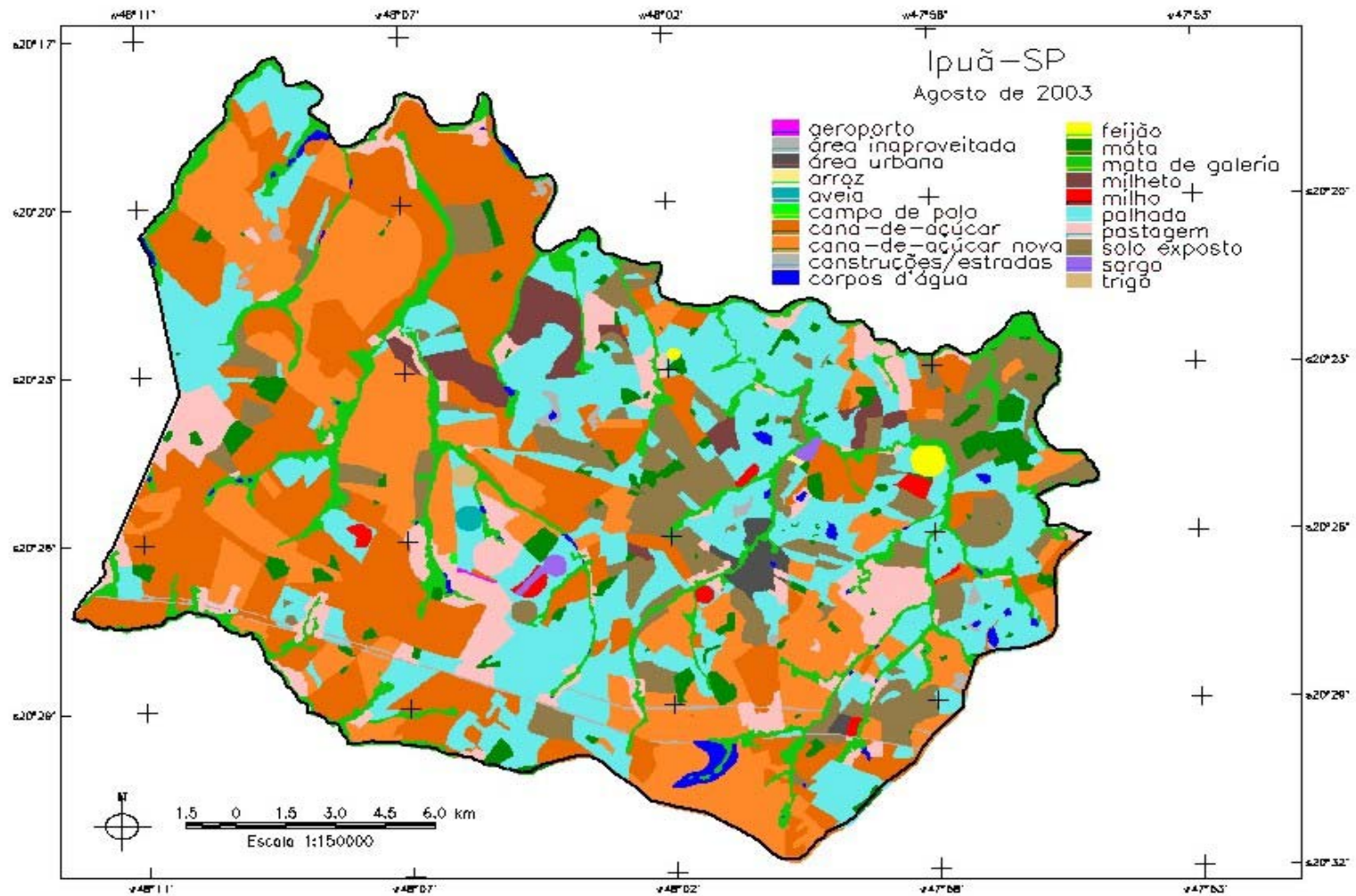


FIGURA 5.13 – Mapa de referência de campo do município de Ipuã para o mês de Agosto de 2003.

TABELA 5.6 – Área das classes temáticas do mapa de referência de campo.

Classes (sigla)	km ²	hectares
Aeroporto (AE)	0,092	9,2
Área inaproveitada (IN)	1,936	193,6
Área urbana (UR)	2,977	297,7
Arroz (AR)	0,092	9,2
Aveia (AV)	0,555	55,5
Campo de pólo (CP)	0,072	7,2
Cana-de-açúcar (CA)	107,606	10.760,6
Cana-de-açúcar nova (CAn)	92,218	9.221,8
Construções/Estradas (C/E)	2,136	213,6
Corpos d'água (AG)	3,321	332,1
Feijão (FE)	1,046	104,6
Mata (MA)	14,951	1.495,1
Mata de galeria (GA)	42,132	4.213,2
Milheto (ML)	9,506	950,6
Milho (MI)	2,147	214,7
Palhada (PA)	108,905	10.890,5
Pastagem (PS)	31,390	3.139,0
Solo exposto (SE)	45,662	4.566,2
Sorgo (SR)	1,030	103,0
Trigo (TR)	0,487	48,7
Total	468,273	46.827,3

5.1.6 - Segmentação e Classificação

Foram feitas duas segmentações, a primeira usando os limiares 16 e 24 e a segunda com os limiares 16 e 45 de similaridade e área, respectivamente. As duas segmentações ficaram semelhantes; no entanto, para a classificação não-supervisionada foi utilizada a segunda segmentação, visto que com o uso do limiar de área igual a 24 algumas áreas homogêneas eram divididas, o que prejudicava a qualidade da segmentação.

Visualmente o mapa gerado a partir do classificador não-supervisionado Ioseg não apresentou bons resultados. Nesta classificação não-supervisionada foram identificadas três classes: cana-de-açúcar, palhada e solo exposto (Figura 5.14). Praticamente todos os talhões de cana-de-açúcar foram classificados corretamente, mas na verdade a maior parte da área do município foi classificada como cana-de-açúcar.

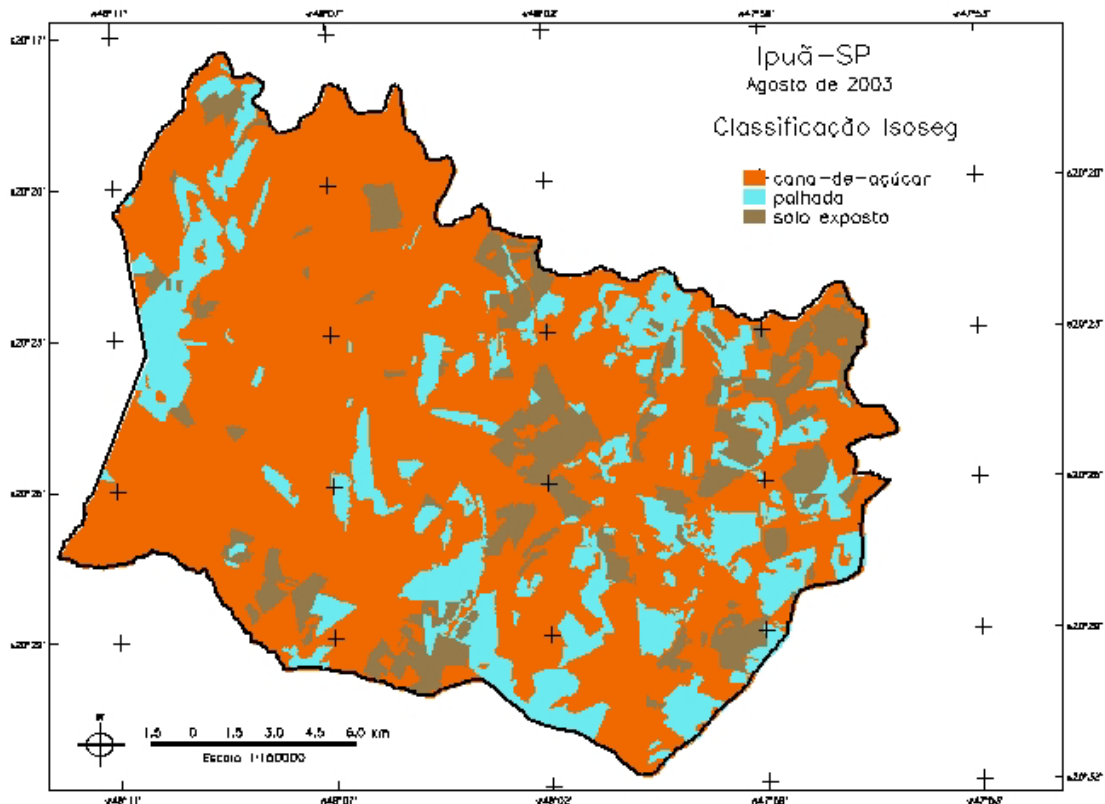


FIGURA 5.14 – Mapa gerado a partir da classificação do recorte da imagem do dia 12/08/03 com o classificador Isoseg.

Ao aplicar o classificador MAXVER, sete classes de uso do solo foram identificadas. Porém, como este classificador é pixel a pixel, o mapa classificado ficou com aspecto “pipocado”, e algumas áreas não foram classificadas. Não obstante, através da análise visual, o mapa obtido foi considerado como um bom resultado para as classes de cana-de-açúcar, mata e solo exposto (Figura 5.15).

A maior parte das áreas de cana-de-açúcar adulta, os talhões de mata (mas não a mata de galeria) e o solo exposto foram corretamente classificados.

A cana-de-açúcar nova foi confundida principalmente com o solo exposto e a palhada. Isso ocorreu porque na fase inicial de crescimento da cana-de-açúcar, como de outras culturas, a resposta espectral predominante é a do solo. Quando a planta já está um pouco mais desenvolvida é notada uma mudança espectral nas imagens; no entanto, apesar de tal mudança espectral, ainda não é possível identificar a cultura.

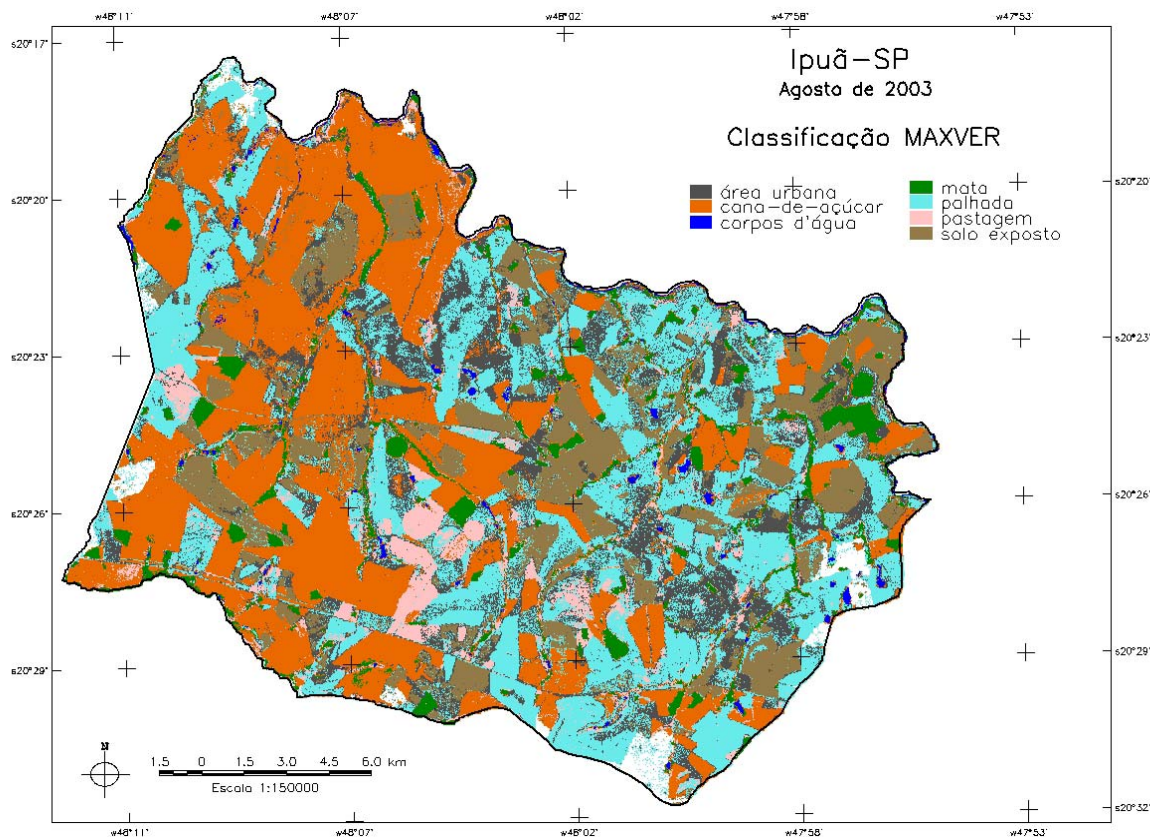


FIGURA 5.15 – Mapa gerado a partir da classificação do recorte da imagem do dia 12/08/03 com o classificador MAXVER.

A mata de galeria foi classificada em alguns pontos como cana-de-açúcar. Em algumas situações o comportamento desses dois alvos é bastante semelhante, e a distinção deles é feita pela textura. Mas, como o classificador utilizado não leva esse parâmetro em consideração, houve a confusão entre essas classes.

Algumas áreas de pastagens foram classificadas como palhada. As pastagens pouco desenvolvidas (ou no período de seca) podem assumir comportamento espectral semelhante ao da palhada.

A palhada foi confundida com solo exposto. No campo é fácil constatar se num talhão está plantada alguma cultura, ou se essa cultura já foi colhida e a palhada ficou sobre o talhão, ou se o talhão está com solo exposto. Entretanto, apenas com o comportamento espectral dos alvos às vezes é difícil estabelecer um limite de quando uma palhada passa

a ser considerada uma cultura, ou quando a palhada decomposta passa a ser solo exposto.

O milho foi classificado como palhada e cana-de-açúcar. O comportamento espectral do milho verde é bastante semelhante ao da cana-de-açúcar, e do milho seco pode parecer com a palhada.

O sorgo foi confundido com a palhada e a pastagem, e o milheto confundido com a palhada. Conforme mencionado acima, dependendo do desenvolvimento da planta e da época do ano, a palhada e a pastagem se confundem. Como o sorgo e o milheto são plantas de estrutura não muito vigorosa, o comportamento espectral dessas duas culturas pode ser confundido com o comportamento da palhada e pastagem.

Para analisar estatisticamente os mapas de uso de solo gerados através das classificações automáticas, foram obtidas as matrizes de erros, os erros de omissão e inclusão, a exatidão global e a estatística Kappa (Tabelas 5.7 e 5.8).

De acordo com a exatidão global os dois mapas classificados automaticamente não foram satisfatórios. Baseado na estatística Kappa o resultado obtido pela classificação MAXVER foi ruim, e o obtido com o Isoseg foi péssimo (Tabelas 5.7 e 5.8).

TABELA 5.7 – Matriz de erro do mapa de uso gerado pela classificação Isoseg, exatidão global e estatística Kappa.

Matriz de Erro (em pixels)	REFERÊNCIA DE CAMPO																						Total	Erro de inclusão (%)
	AE	IN	UR	AR	AV	HC	CP	CA	CA _n	C/E	AG	FE	MA	GA	ML	MI	PA	PS	SE	SR	TR			
Aeroporto (AE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Área Inaproveitada (IN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Área Urbana (UR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Arroz (AR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Aveia (AV)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Não classificado (HC)	0	0	0	0	0	0	0	7	2	0	4	0	2	107	0	0	11	12	0	0	0	0	145	100
Campo de Pólo (CP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Cana-de-açúcar (CA)	7	178	274	1	56	0	7	10579	6563	117	276	20	1372	3811	850	144	4943	2050	1271	79	50	32648	68	
Cana-de-açúcar nova (Can)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Construções/Estradas (C/E)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Corpos d'água (AG)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Feijão (FE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Mata (MA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Mata de Galeria (GA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Milheto (ML)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Milho (MI)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Palhada (PA)	2	10	22	1	0	0	1	98	2011	51	17	81	65	175	55	22	4564	1049	68	25	0	8317	45	
Pastagem (PS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Solo exposto (SE)	0	6	4	7	0	0	0	78	648	45	35	4	54	119	46	49	1373	29	3229	0	0	5726	44	
Sorgo (SR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Trigo (TR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Total	9	194	300	9	56	0	8	10762	9224	213	332	105	1493	4212	951	215	10891	3140	4568	104	50	46836		
Erro de omissão (%)	100	100	100	100	100	100	100	2	100	100	100	100	100	100	100	100	58	100	29	100	100			

EXATIDÃO GLOBAL = 39% - KAPPA = -0,0003

TABELA 5.8 – Matriz de erro do mapa de uso gerado pela classificação MAXVER, exatidão global e estatística Kappa.

Matriz de Erro (em pixels)	REFERÊNCIA DE CAMPO																				Total	Erro de inclusão (%)	
	AE	IN	UR	AR	AV	HC	CP	CA	CAn	C/E	AG	FE	MA	GA	ML	MI	PA	PS	SE	SR			TR
Aeroporto (AE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Área Inaproveitada (IN)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Área Urbana (UR)	3	37	191	1	33	0	0	405	1534	58	41	42	128	704	434	44	2574	517	368	10	2	7126	97
Arroz (AR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Aveia (AV)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Não classificado (HC)	0	17	0	0	0	0	0	58	376	1	8	0	4	170	0	0	346	55	8	0	0	1043	100
Campo de Pólo (CP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Cana-de-açúcar (CA)	3	20	11	1	19	0	0	9736	3066	44	70	12	165	1150	29	54	306	196	164	6	3	15055	35
Cana-de-açúcar nova (Can)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Construções/Estradas (C/E)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Corpos d'água (AG)	0	36	1	0	0	0	0	5	14	0	114	0	1	172	1	0	15	21	4	0	0	384	70
Feijão (FE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Mata (MA)	0	6	0	0	0	0	0	79	31	1	7	2	1009	1006	3	2	60	43	37	1	43	2330	57
Mata de Galeria (GA)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Milheto (ML)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Milho (MI)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Palhada (PA)	2	64	72	1	2	0	1	160	2549	77	68	24	76	566	468	83	6088	1345	300	28	1	11975	49
Pastagem (PS)	1	9	9	0	2	0	7	234	241	14	20	22	85	352	6	30	413	939	12	59	0	2455	62
Solo exposto (SE)	0	5	16	6	0	0	0	85	1413	18	4	3	25	92	10	2	1089	24	3675	0	1	6468	43
Sorgo (SR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Trigo (TR)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Total	9	194	300	9	56	0	8	10762	9224	213	332	105	1493	4212	951	215	10891	3140	4568	104	50	46836	
Erro de omissão (%)	100	100	36	100	100	100	100	10	100	100	65,66	100	32	100	100	100	44	70	20	100	100		

EXATIDÃO GLOBAL = 46% - KAPPA = 0,0827

Com o classificador Ioseg, os talhões de cana-de-açúcar foram corretamente classificados, com o erro de omissão igual a 2%. No entanto, a maioria das outras classes foi classificada como cana-de-açúcar, e por isso o erro de inclusão foi elevado (68%). As duas outras classes que foram identificadas com o classificador Ioseg, a palhada e o solo exposto, também tiveram erros de omissão e inclusão insatisfatórios (Tabela 5.7).

Na classificação MAXVER, após excluir as classes que não foram identificadas com este classificador (100% de erro de omissão e inclusão), as classes que tiveram os piores resultados foram área urbana e corpos d'água, as quais apresentaram o maior erro de inclusão e de omissão, respectivamente, seguida da pastagem. O melhor resultado foi obtido para a cana-de-açúcar, que apresentou 10% de erro de omissão e 35% de erro de inclusão (Tabela 5.8).

Os resultados obtidos com os classificadores automáticos poderiam ter sido melhores se a imagem classificada fosse de uma outra época. Em Ipuã, no mês de agosto, há muita palhada, cana-de-açúcar em fase de início de desenvolvimento, pastagem seca, o que ocasiona uma grande confusão na classificação dos alvos, até mesmo se for para fazer uma interpretação visual.

5.2 - Trabalho de Campo

A etapa de levantamento do uso do solo do município de Ipuã foi facilitada pelo planejamento do itinerário. Na imagem de satélite impressa em papel glossy e levada ao campo foram delimitadas as drenagens. No campo, o itinerário adotado foi traçado de modo a permitir visitar todos os talhões agrícolas que se encontravam entre duas drenagens importantes. Desta forma, não se perdia tempo tentando atravessar as drenagens, as quais se constituem em importante empecilho ao progresso dos trabalhos de campo.

A seguir são apresentados alguns recortes de talhões das imagens (uniformizadas e com contraste) do dia 25/02/03 e do dia 12/08/03 em composição colorida RGB 453, e fotos

digitais referentes a esses talhões obtidas nos trabalhos de campo em 17 a 19 de março e 25 a 28 de agosto (Figuras 5.16 a 5.21). É importante ressaltar que existe uma diferença de alguns dias entre as imagens e as fotos apresentadas.

As Figuras 5.16, 5.17 e 5.19 representam, respectivamente, talhões de cana-de-açúcar, milho e soja em diferentes estádios de crescimento. A Figura 5.21 representa diferentes talhões de milho após a colheita.

Ao observar as fotos de campo referentes à Figura 5.16 (a/b/c/d/e), percebe-se que, em (a), além das plantas de cana-de-açúcar com aproximadamente 0,50 m de altura no talhão, existem também um pouco de palhada e de solo exposto. Em (b), a cana-de-açúcar está com 1 m de altura, e o solo exposto ainda aparece. Em (c), as plantas estão com 1,5 m de altura, há solo exposto e sombras nas entrelinhas. Em (d) e (e) as plantas estão com cerca de 4 m de altura, possuem folhas secas e o dossel está bastante irregular.

Nas fotos da Figura 5.17, em (a) as plantas de milho estão com 0,4 m de altura e há a presença de solo exposto. Em (b) e (c) o milho está com mais de 2 m de altura e há sombreamento interno. Em (d) o milho foi colhido e as hastes das plantas estão tombadas, há um pouco de mato no talhão. Em (e) o milho também foi colhido, as hastes das plantas estão em pé e há muito mato no talhão.

Na Figura 5.18, em (a) o solo está completamente coberto pela palhada e as hastes das plantas colhidas ainda estão em pé. Em (b), aparece um pouco de solo exposto, há palhada e as hastes das plantas também estão em pé. Em (c), há bastante solo exposto, palhada, e algumas hastes em pé. Em (d) a palhada recobre todo o solo e não há hastes de plantas em pé.

Na seqüência de fotos na Figura 5.17, em (a) a soja está em pleno vigor vegetativo e todas as folhas estão verdes. Em (b), as plantas de soja estão com vagens e começaram a senescer, existem folhas amarelas e folhas verdes nas plantas. Em (c), as plantas estão na fase de senescência, e muitas folhas já caíram das plantas. Em (d), a soja está

completamente seca, pronta para ser colhida. Em (e) a soja já foi colhida, as hastes das plantas ainda estão em pé no campo.

Ao analisar os alvos agrícolas na composição colorida RGB 453, verifica-se que no início de crescimento da cana-de-açúcar, do milho e da soja o comportamento espectral do solo predomina, e estes alvos aparecem azulados na composição das imagens de satélite escolhida. À medida que as culturas vão se desenvolvendo, o solo vai sendo progressivamente coberto pelas plantas, a cor dos alvos na composição passa de azul para verde. Em seguida a cana-de-açúcar e o milho assumem tonalidade de magenta e a soja fica de cor amarela, com se vê nas Figuras 5.16, 5.17 e 5.19.

A diferença do comportamento espectral da cana-de-açúcar e do milho em relação à soja, na fase de pleno desenvolvimento (atividade fotossintética alta), na composição colorida utilizada, é explicada a seguir. Nas três culturas citadas a maior reflectância ocorre na banda 4, como consequência do aumento do número de folhas, seguida da banda 5. Entretanto, a reflectância da soja na banda 4 é bem superior à da cana-de-açúcar e do milho, e é um pouco mais elevada na banda 5. Como na composição RGB 453 a cor vermelha é atribuída à banda 4, e a cor verde atribuída à banda 5, e sabendo-se que a união de vermelho com verde gera o amarelo, quanto maior for a reflectância nas bandas 4 e 5, mais amarelada será a cor resultante, no entanto, ficará amarelo alaranjado, se a reflectância for maior na banda 4, e amarelo esverdeado, se a reflectância for maior na banda 5.

O porquê de a soja refletir mais na banda 4 - região espectral do infravermelho próximo - e na banda 5 - região espectral do infravermelho médio, do que a cana-de-açúcar e o milho é explicado mais adiante.

Nas Figuras 5.17 e 5.18 estão retratados talhões de milho antes e depois da colheita. A planta de milho seca tem a sua atividade fotossintética reduzida se comparada com uma planta não-seca. Isso causa uma diminuição na reflectância na banda 4 e 5 e um aumento da reflectância na banda 3, que na composição colorida RGB 543 é traduzida como uma perda na intensidade da tonalidade magenta. O milho colhido assume diversas cores na composição colorida. Quando as hastes das plantas colhidas ainda

estão em pé no campo, a coloração apresentada é a esverdeada; com as hastes tombadas, a cor azul predomina. Se o milho colhido estiver com as hastes arrancadas e a palhada for deixada no campo, a cor varia de esbranquiçada à azul bem clara. Talhões de milho colhidos mecanicamente possuem cor branca na composição colorida porque, após a colheita, o solo fica totalmente coberto pela palhada.

No caso da cultura da soja, retratada na Figura 5.19, foram utilizadas a imagem de 08/01/03 e uma foto de um trabalho de campo realizado em 2002 para representar de forma equivalente um dos estádios de crescimento desta cultura.

Na composição colorida, a soja perde a cor amarela intensa quando suas folhas e vagens começam a secar, como consequência da redução da fotossíntese. Após a colheita da soja, as hastes pequenas e numerosas no campo proporcionam uma cor esverdeada na composição colorida. Este matiz esverdeado decorre da maior reflectância na banda 5, comportamento típico de palhadas. Por fim, o talhão de soja volta a ter tonalidade azul quando a palhada é decomposta (predomínio de solo exposto) ou quando o solo é gradeado e preparado para o próximo plantio (Figura 5.19).

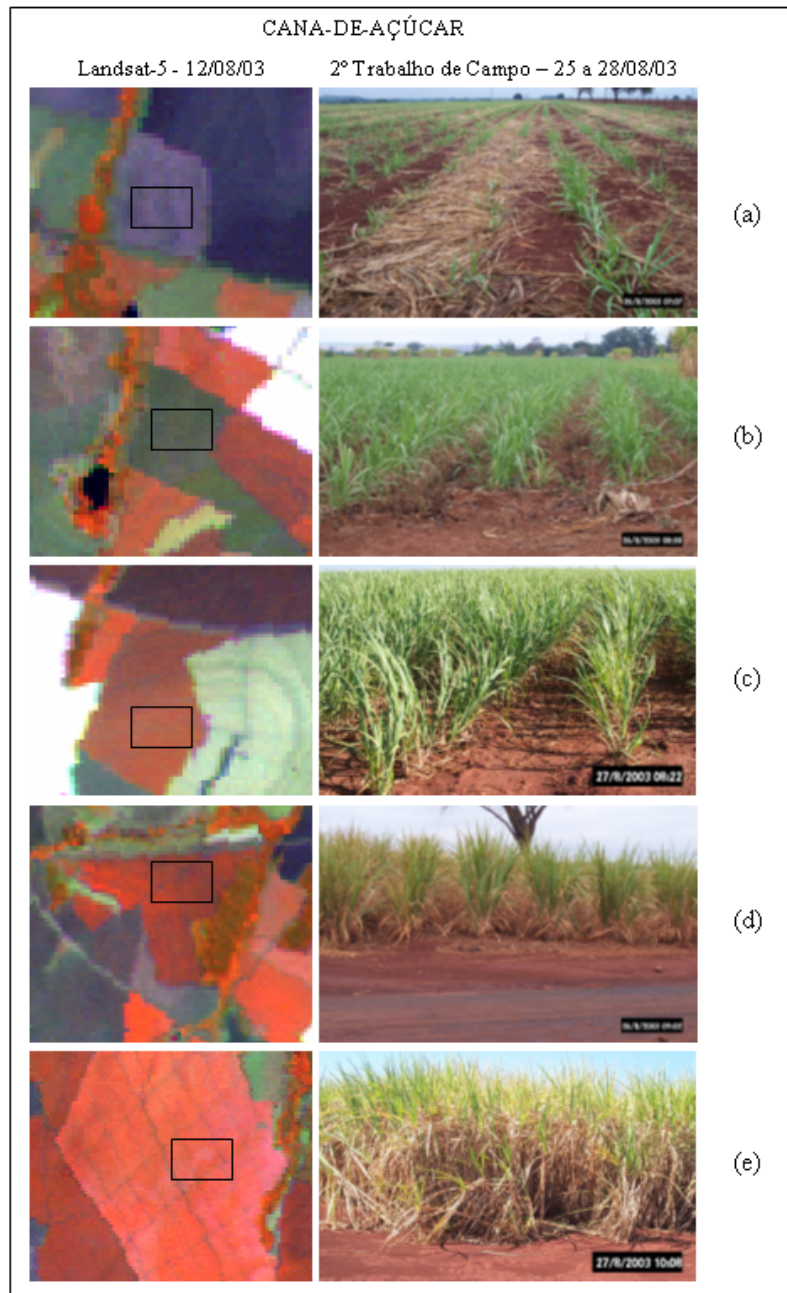


FIGURA 5.16 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de cana-de-açúcar em diferentes estádios de crescimento.

No campo foi observado que talhões de cana-de-açúcar mais velha possuíam gradações de magenta mais claras (Figura 5.19 (e)) que talhões de cana-de-açúcar mais nova (Figura 5.19 (d)) na composição colorida adotada.

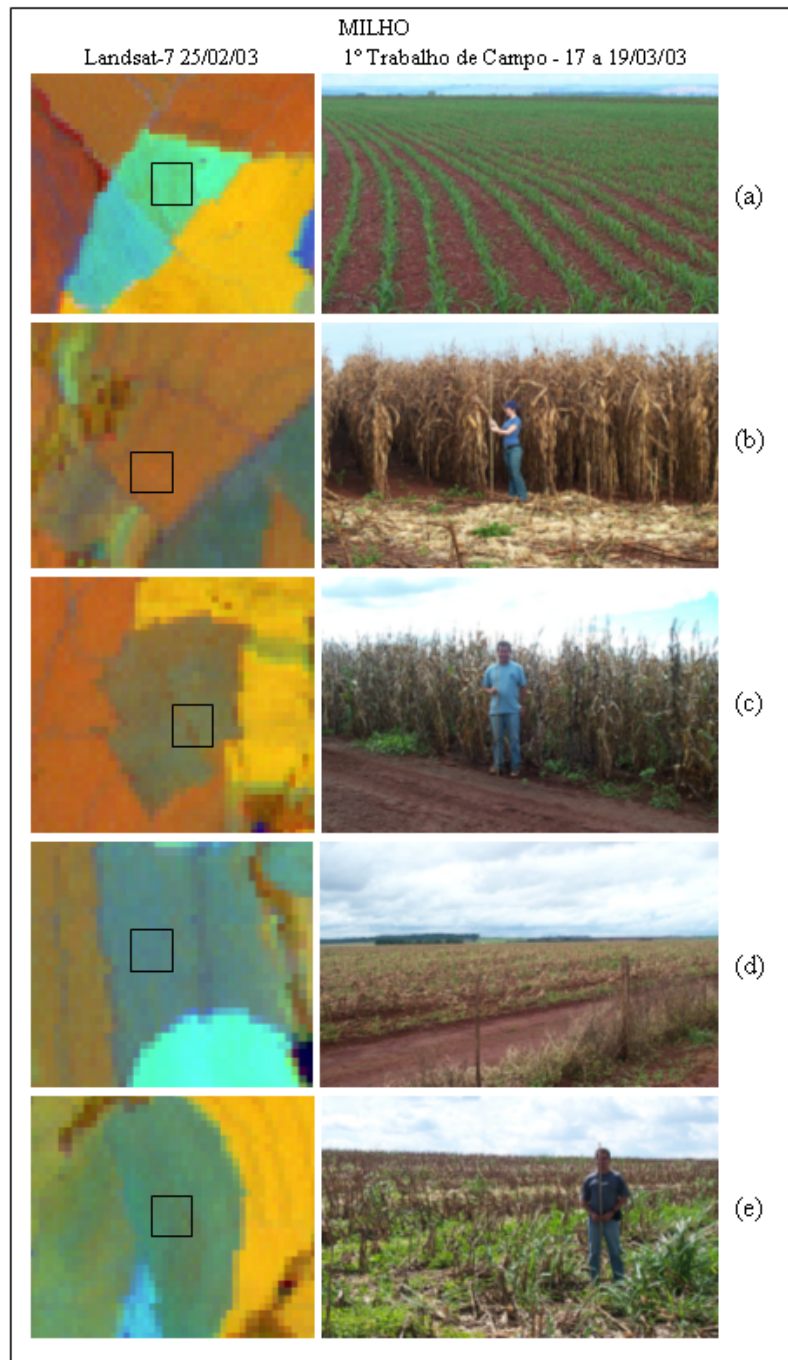


FIGURA 5.17 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de milho em diferentes estádios de crescimento.

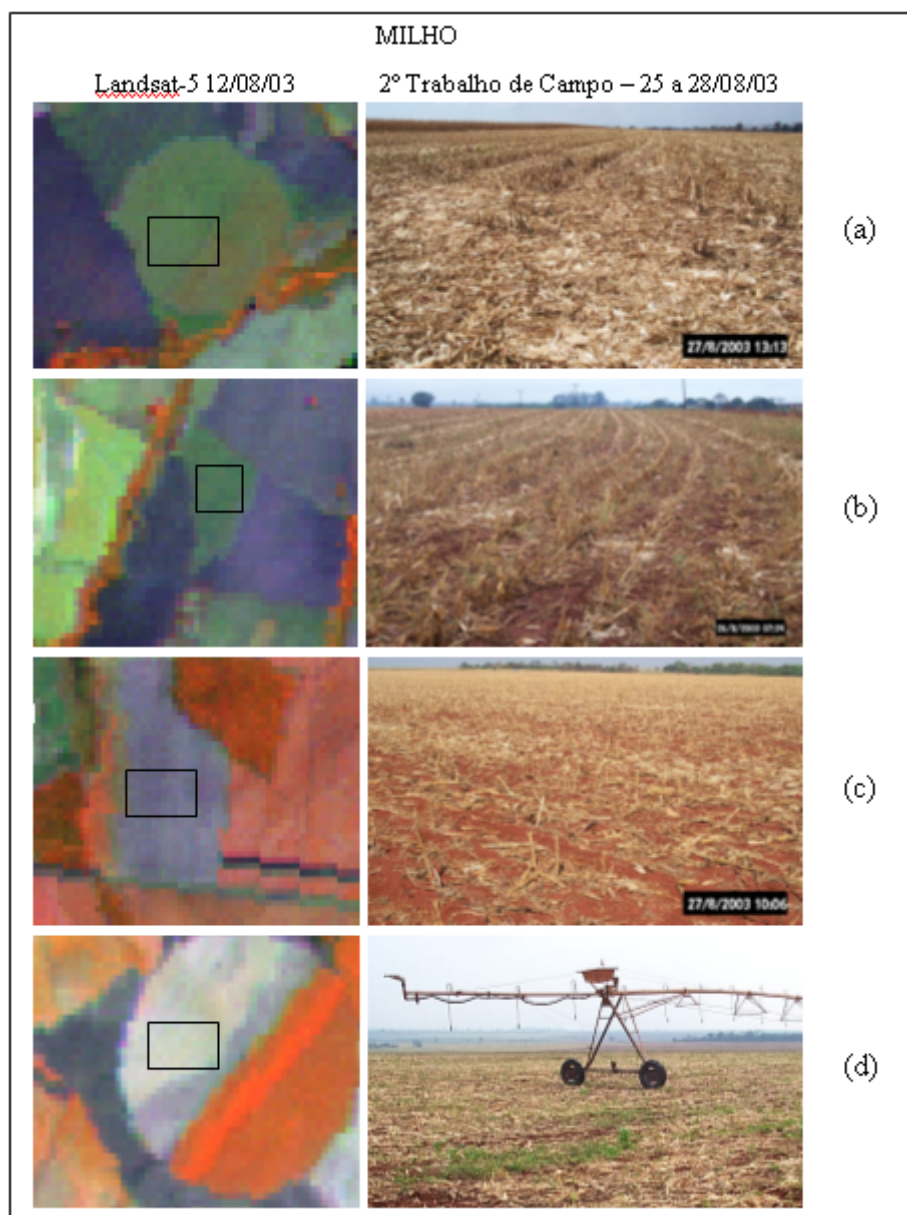


FIGURA 5.18 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de milho após a colheita.

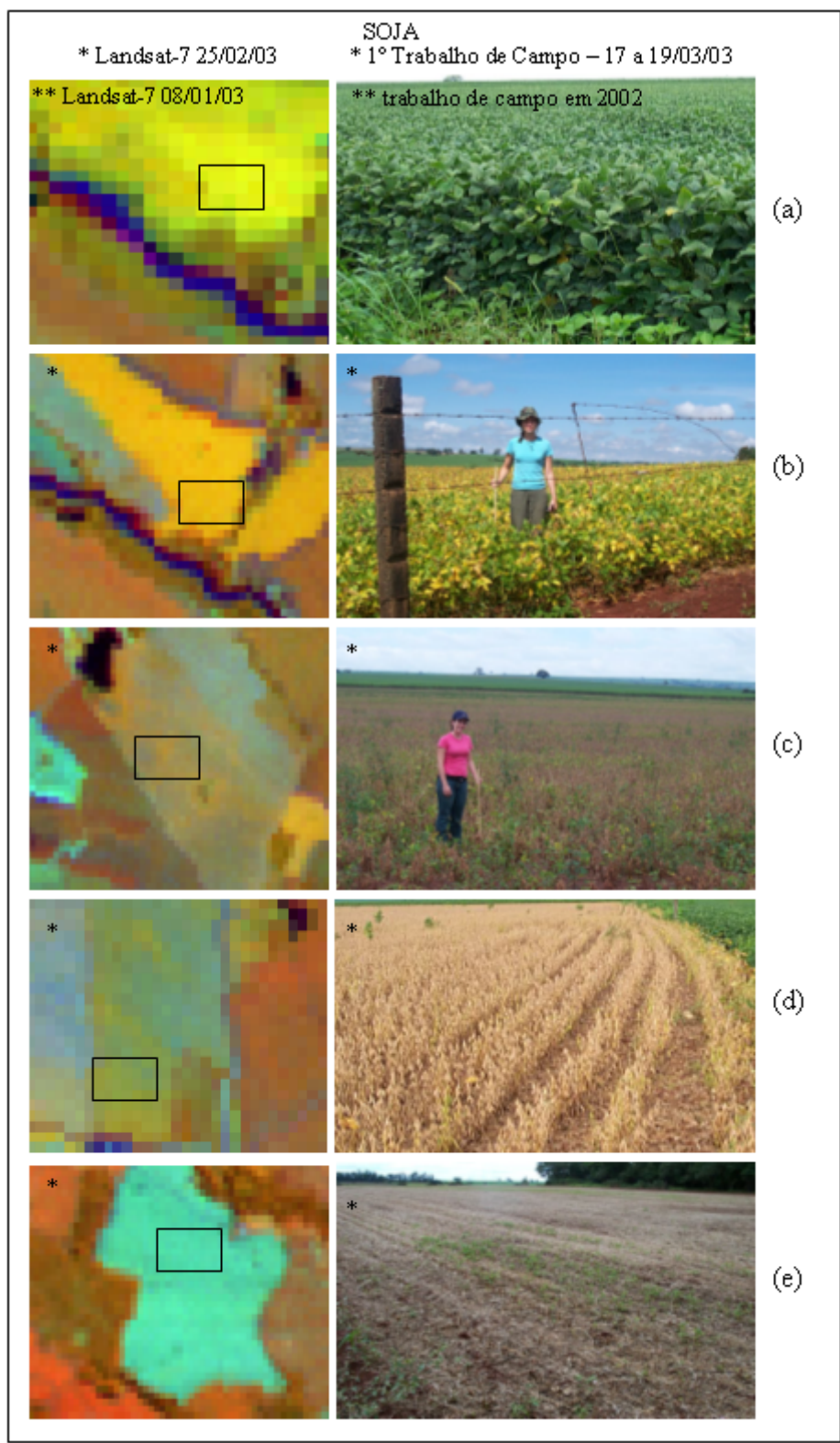


FIGURA 5.19 – Recorte de imagem Landsat na composição colorida RGB 453, e foto digital de campo de talhões de soja em diferentes estádios de crescimento.

O talhão de cana-de-açúcar, quando é colhido mecanicamente, fica esbranquiçado na composição colorida (Figura 5.20 (a)), e quando colhido manualmente fica azulado (Figura 5.20 (b)). Esta diferença acontece porque na colheita mecânica a palhada fica no campo, espessa e uniformemente espalhada por todo o solo. Na colheita manual a palhada que fica no campo não recobre todo o solo, e também pode haver a queimada antes da colheita, o que reduz a quantidade de palhada, e aumenta a proporção de solo exposto.

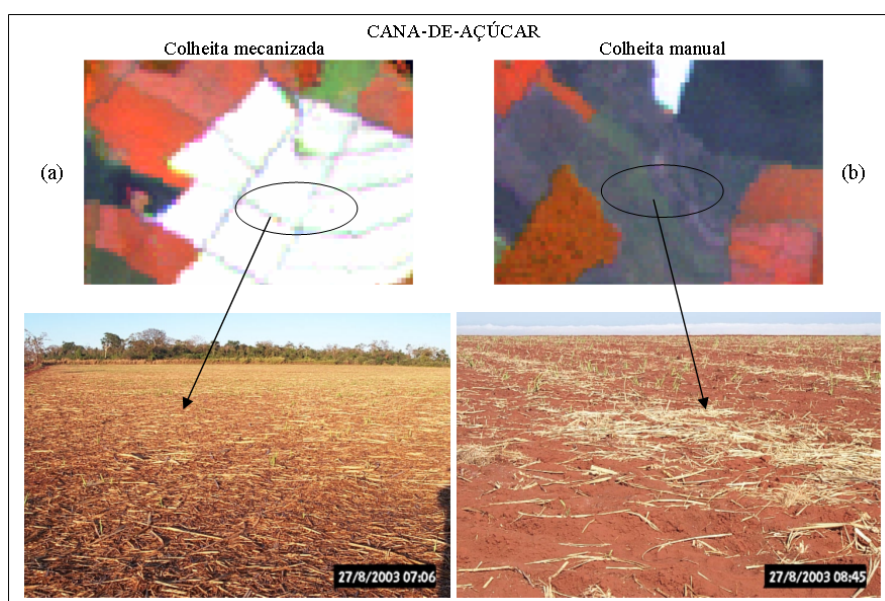


FIGURA 5.20 – Comportamento espectral da cana-de-açúcar colhida mecanicamente (a) e à mão (b) em composição colorida RGB 453 e fotos digitais correspondentes obtidas no campo.

No município de Ipuã há o predomínio dos solos Latossolos, os quais aparecem na cor azul escura na composição colorida RGB 453. No entanto, outros solos também são encontrados neste município, e, como possuem características diferentes, aparecem em cores diferentes na imagem de satélite. Um exemplo pode ser visualizado na Figura 5.21, onde se comparam dois diferentes tipos de solos encontrados na região de estudo.

Como dito anteriormente, o solo tem grande influência no comportamento espectral de culturas agrícolas, principalmente na fase de início de desenvolvimento das plantas. À medida que a cultura se desenvolve, a proporção de solo exposto diminui, e a influência do solo no comportamento espectral da cultura também é reduzida. Mas, como solos de

tipos distintos possuem comportamentos espectrais diferentes, é de se esperar que solos diferentes, como os da Figura 5.21, influenciem de forma diferenciada o comportamento espectral das culturas agrícolas. Ou seja, uma cultura, principalmente se for recém-plantada, aparece com gradação de cores diferentes numa composição colorida, dependendo do solo na qual ela foi plantada.

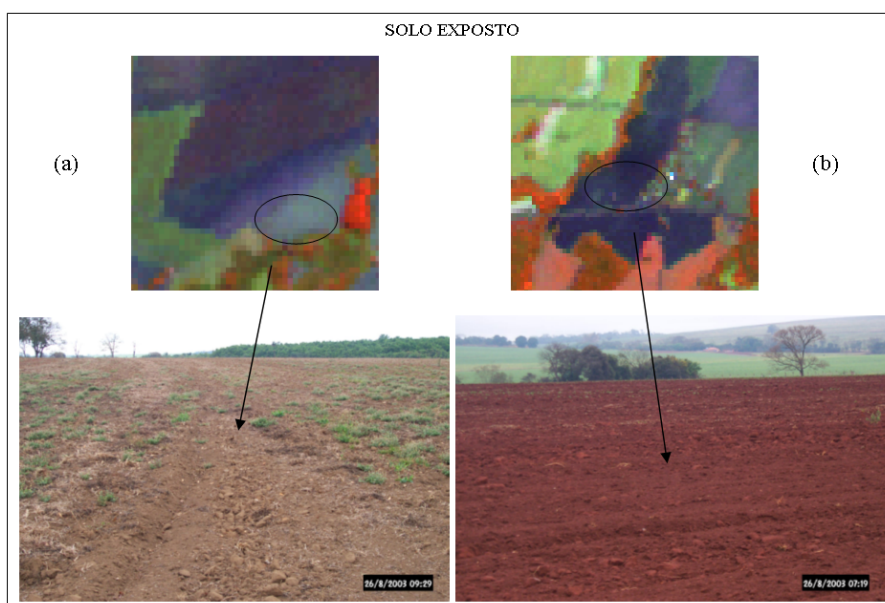


FIGURA 5.21 – Comportamento espectral de diferentes tipos de solo em composição colorida RGB 453 e foto digital correspondente obtida no campo.

5.3 - Comportamento Espectro-Temporal de Alvos Agrícolas

5.3.1 - Alvos Monitorados

A localização dos 50 polígonos (representados por pequenos quadrados) referentes aos 50 talhões monitorados no município de Ipuã pode ser vista na Figura 5.22.

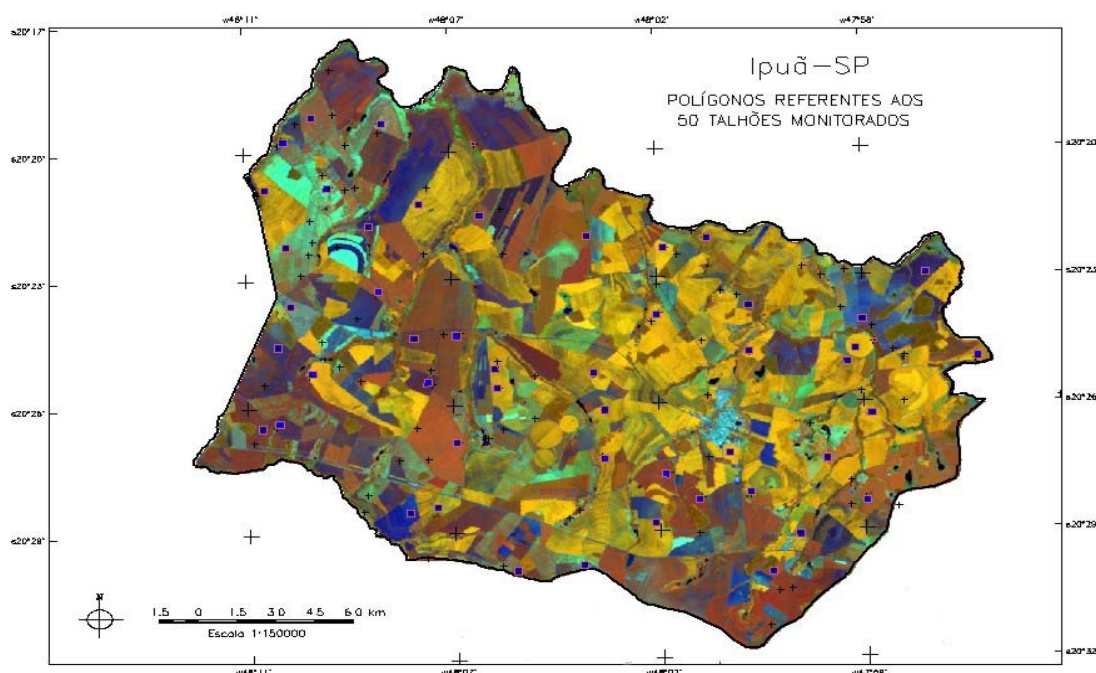


FIGURA 5.22 – Localização dos 50 polígonos (representados por pequenos quadrados) referentes aos 50 talhões monitorados para o levantamento do comportamento espectro-temporal de culturas agrícolas.

Os resultados do levantamento multitemporal feito nos 50 talhões monitorados, com o intuito de quantificar o número de talhões referentes a cada alvo analisado, são apresentados na Tabela 5.9. Chamou a atenção as culturas de sorgo e milho que passaram de 1 e 0 talhões respectivamente, em 2000, para 3 talhões cada, em 2003. O aumento das áreas plantadas com essas duas culturas nos últimos anos foi observado no trabalho de campo.

TABELA 5.9 – Quantidade de talhões de cada alvo nos 50 talhões monitorados, nos anos de 2000 a 2003.

Alvos / Ano	2000	2001	2002	2003
Cana-de-açúcar	17	26	25	29
Milho	9	14	4	6
Soja	21	17	22	23
Feijão	0	1	0	1
Sorgo	1	1	4	3
Milheto	0	1	2	3
Palhada	40	43	40	39
Solo exposto	32	28	32	19
Pastagem	2	2	2	2
Mata	2	2	2	2

A época de ocorrência dos alvos monitorados é apresentada na Tabela 5.10.

A cana-de-açúcar, a pastagem e a mata são alvos que foram encontrados em todos os meses que se obtiveram imagens de satélite, de 2000 a 2003. Isto era esperado, pois na região são plantadas canas-de-açúcar de ano e de ano e meio. No caso das matas e pastagens, ambas têm o caráter de perenidade. As áreas de pastagens poderiam ter sido usadas para o plantio de alguma cultura, e as áreas de matas poderiam ter sido desmatadas, mas como essas práticas não são muito realizadas na área de estudo, e visto que só foram monitorados dois talhões de cada um desses alvos, essas possibilidades eram pequenas.

A soja foi encontrada de dezembro a março, meses em que essa cultura está em pleno desenvolvimento e pode ser facilmente identificada nas imagens de satélite. Apesar de ser plantada a partir de setembro, nas primeiras fases de desenvolvimento a soja não é distinguida das demais culturas ao tomar como base o seu comportamento espectral.

O milho só não foi encontrado no mês de novembro, mas é importante ressaltar que apenas em 2001 foi possível adquirir imagem de satélite nesse mês. Como nos municípios estudados é cultivado o milho convencional, o safrinha e o irrigado, é previsto encontrar essa cultura durante todo o ano.

O milheto apareceu de abril a julho a partir de 2001. O sorgo foi cultivado de abril a setembro. Essas duas culturas são cultivadas após as culturas de verão. O feijão só foi observado em agosto e setembro de 2001 e outubro de 2003, e na região é plantado sob pivô central. O solo exposto só não apareceu em janeiro e fevereiro de 2003.

Conforme pôde ser visto, a atividade agrícola da região de estudo é bastante dinâmica, e são realizadas as práticas de rotação de culturas e cultivo irrigado. Para um monitoramento adequado de regiões como essas, é necessário um acompanhamento constante, para que o ciclo de todas as culturas agrícolas cultivadas possa ser observado. E as imagens de satélite são bastante úteis para fazer esse tipo de monitoramento, uma vez que permitem repetitivamente o recobrimento de grandes áreas. E, conseqüentemente possibilita a atualização do uso do solo.

TABELA 5.10 – Meses de ocorrência dos alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

	CA	MI	SJ	FE	SR	ML	PA	SE	PS	MA		CA	MI	SJ	FE	SR	ML	PA	SE	PS	MA
jan	x	0	x	0	0	0	x	x	x	x	2000	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x
fev	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		x	x	x	0	0	0	x	x	x	x
mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		x	0	x	0	0	0	x	x	x	x
abr	x	x	0	0	x	0	x	x	x	x		x	x	0	0	0	x	x	x	x	x
mai	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		x	x	0	0	x	x	x	x	x	x
jun	x	x	0	0	x	0	x	x	x	x		x	x	0	0	x	0	x	x	x	x
jul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		x	x	0	0	x	0	x	x	x	x
ago	x	0	0	0	0	0	x	x	x	x		x	x	0	0	x	0	x	x	x	x
set	x	x	0	0	0	0	x	x	x	x		x	x	0	0	x	0	x	x	x	x
out	x	x	0	0	0	0	x	x	x	x		x	x	0	0	0	0	x	x	x	x
nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
dez	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
jan	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x	2001	x	x	x	0	0	0	x	0	x	x
fev	x	x	x	0	0	0	x	x	x	x		x	x	x	0	0	0	x	0	x	x
mar	x	x	0	0	0	0	x	x	x	x		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
abr	x	x	0	0	0	0	x	x	x	x		x	x	0	0	x	x	x	x	x	x
mai	x	x	0	0	0	x	x	x	x	x		x	x	0	0	x	x	x	x	x	x
jun	x	x	0	0	x	x	x	x	x	x		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
jul	x	x	0	0	x	x	x	x	x	x		x	0	0	0	x	0	x	x	x	x
ago	x	0	0	x	0	0	x	x	x	x		x	0	0	0	x	0	x	x	x	x
set	x	0	0	x	0	0	x	x	x	x		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
out	x	0	0	0	0	0	x	x	x	x		x	0	0	x	0	0	x	x	x	x
nov	x	0	0	0	0	0	x	x	x	x		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
dez	x	0	x	0	0	0	x	x	x	x		-	-	-	-	-	-	-	-	-	

CA - cana-de-açúcar; MI – milho; SJ – soja; FE – feijão; SR – sorgo; ML – milheto; PA – palhada; SE – solo exposto; PS - pastagem; MA – mata.

Célula com X – cultura presente; Célula com 0 – cultura ausente; Célula com hífen (-) – sem imagem de satélite.

5.3.2 - Valores de Reflectância dos Alvos

Na Tabela 5.11 encontram-se os valores de reflectância mínimos e máximos dos alvos, por banda, para os anos de 2000 a 2003. Alguns alvos apresentaram valor de reflectância negativa nos anos de 2001 e 2002. Mas como não existe reflectância negativa, esses valores foram considerados como valores nulos.

Uma vez que para se obter valores de reflectância é preciso transformar o ND em radiância, e a radiância em reflectância, os valores de reflectância negativos (gerados a partir de radiâncias negativas) podem ser explicados por Luiz et al. (2003). Segundo esses autores, o sistema que converte a radiância em sinal elétrico e o sinal elétrico em ND, mesmo quando não há radiância chegando ao sensor, produz uma saída maior que zero (Figura 5.23). E que numa situação hipotética, se fosse possível ter um ND com

valor zero, a radiância correspondente seria negativa ($\text{Rad} = a + (b \times \text{ND})^1$), o que é fisicamente impossível. Na prática, tudo isso significa que para cada banda existe um valor mínimo de ND observável, independente de estar ou não chegando radiância ao sensor. E este valor mínimo é determinado pela engenharia do sensor.

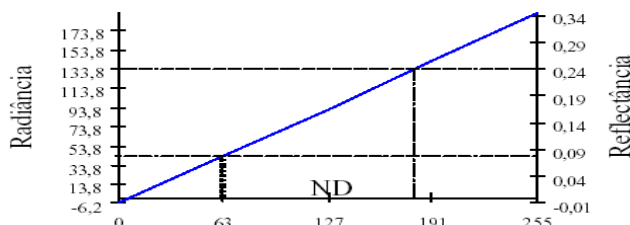


FIGURA 5.23 – Relação entre o número digital (ND), a radiância e a reflectância aparente, na banda 1 de uma imagem ETM+, 220/74, de 05/01/2002. FONTE: Extraído de Luiz et al. (2003).

Conforme pode ser observado na Tabela 5.11, o menor valor de reflectância registrado, exceto os valores nulos, foi igual a 0,001 para o milho (na banda 3, em 2001), e para a soja (na banda 2, em 2002). Os talhões de milho e soja que apresentaram esse valor de reflectância estavam em pleno desenvolvimento, e correspondem aos meses de janeiro e fevereiro, respectivamente. Devido ao alto vigor vegetativo houve uma grande absorção da radiação nos comprimentos de onda abrangidos pelas bandas 2 e 3.

Os maiores valores de reflectância foram encontrados para a soja na banda 4, em todos os anos. Quando a soja está em pleno vigor vegetativo recobre totalmente o solo com várias camadas de folhas intensamente verdes e planas, e absorve fortemente na banda 3 e fracamente nas bandas 4 (principalmente) e 5 (Luiz et al., 2002).

Quanto ao valor máximo de reflectância por cultura, para a cana-de-açúcar, milho, soja, feijão, milheto, pastagem e mata, ele ocorreu na banda 4 devido à alta reflectância dos tecidos vegetais vivos nessa faixa de comprimentos de onda. No caso do solo exposto e do sorgo, o valor máximo encontrado ocorreu nas bandas 4 e 5, dependendo do ano, e está relacionado com as características dos solos predominantes no município, que são os latossolos vermelhos, e pelo fato de a inflorescência do sorgo não ser tão vigorosa.

¹ Rad = radiância; a = intercepto, b = ganho. Os parâmetros a e b são fornecidos pelos responsáveis pelo satélite.

Para a palhada a resposta mais alta ocorreu na banda 5, associada à estrutura dos tecidos vegetais desidratados da palha.

TABELA 5.11 – Valores de reflectância mínimos e máximos dos alvos por banda para o anos de 2000 a 2003. O número de talhões analisados para cada tipo de cobertura do solo está entre parênteses.

	Cobertura do solo (n)	Mínimo						Máximo					
		Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Banda5	Banda7	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Banda5	Banda7
2000	Cana-de-açúcar (17)	0,044	0,036	<u>0,016</u>	0,139	0,072	0,017	<u>0,135</u>	<u>0,136</u>	<u>0,136</u>	<u>0,360</u>	0,284	0,197
	Milho (9)	0,040	0,028	<u>0,014</u>	0,129	0,085	0,036	0,086	0,078	0,078	<u>0,378</u>	0,172	0,097
	Soja (21)	0,039	0,030	0,004	0,256	0,161	0,075	0,071	0,065	0,060	<u>0,535</u>	0,264	0,103
	Sorgo (1)	0,049	<u>0,046</u>	0,055	0,120	0,123	0,065	0,050	0,053	0,069	<u>0,173</u>	0,141	0,108
	Palhada (40)	0,042	0,036	<u>0,027</u>	0,110	0,084	0,050	0,081	0,091	0,130	0,298	<u>0,361</u>	<u>0,226</u>
	Solo exposto (32)	0,036	0,024	0,019	0,042	0,022	0,014	0,060	0,062	0,092	<u>0,181</u>	<u>0,181</u>	0,142
	Pastagem (2)	0,053	0,058	<u>0,052</u>	0,166	0,156	0,071	0,103	0,107	0,103	<u>0,334</u>	0,269	0,153
	Mata (2)	0,036	0,027	<u>0,011</u>	0,145	0,093	0,034	0,053	0,051	0,056	<u>0,338</u>	0,165	0,074
2001	Cana-de-açúcar (26)	0,032	0,019	<u>0,000</u>	0,091	0,065	0,016	<u>0,093</u>	<u>0,119</u>	0,171	<u>0,367</u>	0,314	0,153
	Milho (14)	0,032	0,022	<u>0,001</u>	0,093	0,078	0,018	0,062	0,061	0,074	<u>0,357</u>	0,157	0,088
	Soja (17)	0,028	0,016	<u>0,000</u>	0,184	0,083	0,026	0,069	0,062	0,036	<u>0,440</u>	0,227	0,060
	Feijão (1)	0,045	0,042	0,028	0,311	0,128	<u>0,018</u>	0,047	0,045	0,034	<u>0,344</u>	0,147	0,063
	Milheto (1)	0,055	0,053	<u>0,046</u>	0,099	0,112	0,060	0,056	0,058	0,068	<u>0,209</u>	0,133	0,077
	Sorgo (1)	<u>0,056</u>	<u>0,056</u>	0,058	0,057	0,138	0,136	0,057	0,057	0,060	0,066	<u>0,151</u>	0,139
	Palhada (41)	0,037	0,014	0,022	0,079	0,078	0,000	0,092	<u>0,119</u>	<u>0,199</u>	0,300	<u>0,365</u>	<u>0,263</u>
	Solo exposto (28)	0,034	0,013	0,018	0,053	0,061	0,026	0,064	0,077	0,130	0,164	<u>0,166</u>	0,144
	Pastagem (2)	0,046	<u>0,033</u>	0,039	0,123	0,130	0,049	0,079	0,096	0,133	<u>0,343</u>	0,269	0,188
Mata (2)	0,027	0,014	<u>0,000</u>	0,124	0,087	0,021	0,072	0,065	0,067	<u>0,384</u>	0,163	0,099	
2002	Cana-de-açúcar (25)	0,009	0,008	<u>0,000</u>	0,111	<u>0,000</u>	<u>0,000</u>	0,093	0,108	<u>0,378</u>	<u>0,420</u>	0,345	0,172
	Milho (4)	0,041	0,036	0,015	0,165	0,099	<u>0,000</u>	0,055	0,070	0,069	<u>0,355</u>	0,138	0,164
	Soja (22)	0,008	0,001	<u>0,000</u>	0,256	0,090	0,006	0,046	0,052	0,039	<u>0,542</u>	0,202	0,069
	Sorgo (4)	0,045	<u>0,044</u>	0,049	0,109	0,102	0,062	0,064	0,071	0,116	0,219	<u>0,231</u>	0,155
	Milheto (1)	<u>0,047</u>	0,050	0,054	0,147	0,112	0,064	0,050	0,053	0,067	<u>0,157</u>	0,144	0,096
	Palhada (40)	0,021	0,022	0,029	0,080	0,069	0,000	<u>0,097</u>	<u>0,138</u>	0,227	0,360	<u>0,391</u>	<u>0,249</u>
	Solo exposto (32)	0,013	0,008	0,037	<u>0,002</u>	0,062	0,027	0,067	0,099	0,123	<u>0,201</u>	0,186	0,155
	Pastagem (2)	0,042	0,051	0,035	0,176	0,142	<u>0,020</u>	0,079	0,107	0,116	<u>0,391</u>	0,283	0,189
	Mata (2)	0,019	0,016	0,001	0,163	0,093	0,000	0,068	0,089	0,068	<u>0,333</u>	0,167	0,105
2003	Cana-de-açúcar (29)	0,043	0,040	<u>0,020</u>	0,096	0,075	0,026	0,064	0,078	0,099	<u>0,374</u>	0,240	0,173
	Milho (6)	0,046	0,042	<u>0,029</u>	0,100	0,103	0,042	0,065	0,070	0,104	<u>0,314</u>	0,228	0,150
	Soja (23)	0,042	0,032	<u>0,014</u>	0,112	0,106	0,045	0,056	0,067	0,107	<u>0,513</u>	0,197	0,140
	Feijão (1)	0,044	0,041	<u>0,010</u>	0,498	0,136	0,039	0,044	0,041	0,010	<u>0,498</u>	0,136	0,039
	Sorgo (3)	0,049	<u>0,047</u>	0,050	0,118	0,104	0,062	0,062	0,070	0,092	0,200	<u>0,206</u>	0,119
	Milheto (3)	0,050	0,056	<u>0,041</u>	0,155	0,129	0,056	0,056	0,066	0,074	<u>0,255</u>	0,158	0,093
	Palha (39)	0,045	<u>0,043</u>	<u>0,043</u>	0,093	0,075	0,049	<u>0,100</u>	<u>0,137</u>	<u>0,221</u>	0,330	<u>0,381</u>	<u>0,236</u>
	Solo exposto (19)	0,044	<u>0,041</u>	0,046	0,062	0,052	0,046	0,056	0,060	0,093	<u>0,192</u>	0,126	0,102
	Pastagem (2)	0,053	0,065	<u>0,049</u>	0,184	0,147	0,055	0,075	0,089	0,116	<u>0,337</u>	0,272	0,164
Mata (2)	0,042	0,031	<u>0,011</u>	0,175	0,099	0,034	0,053	0,052	0,065	<u>0,339</u>	0,133	0,059	

Valor sublinhado: menor valor de reflectância na linha (Mínimo) e maior valor de reflectância na linha (Máximo) do respectivo ano. Em vermelho: menor valor de reflectância na coluna (Mínimo) do respectivo ano. Em azul: maior valor de reflectância na coluna (Máximo) do respectivo ano.

A comparação entre a reflectância média dos alvos estudados, de 2000 a 2003, pode ser visualizada na Figura 5.24. Ressalva-se que os valores de reflectância utilizados correspondem às médias anuais dos alvos, ou seja, referem-se à média dos alvos em diferentes estádios fenológicos.

A soja e o feijão apresentam um comportamento bastante distinto das demais culturas, possuem reflectância bastante elevada na banda 4, e por isso são facilmente identificáveis. São diferenciadas uma da outra, na área de estudo, pelo fato de o feijão ser cultivado em menor escala e sob pivô central, de agosto a outubro, enquanto a soja é cultivada a partir de outubro.

No ano de 2003, o feijão está com reflectância bem mais elevada na banda 4, e reduzida na banda 3, que a soja e o feijão de 2001. No ano de 2003 o feijão foi encontrado apenas em um talhão, no mês de outubro, ou seja, o valor de reflectância média desta cultura é representado apenas por um ponto em uma data, na qual a cultura estava em pleno vigor vegetativo.

A cana-de-açúcar, o milho e a mata apresentam comportamento espectral bastante semelhante, o que dificulta a sua discriminação baseada exclusivamente na resposta espectral média. Nesses alvos a reflectância é maior na banda 4, seguida da banda 5, enquanto as demais bandas possuem valores de reflectância parecidos. Quando comparados à soja e ao feijão, a cana-de-açúcar, o milho e a mata também apresentam muitas folhas verdes fotossintetizantes, que absorvem muito na banda 3 e refletem na banda 4, mas não refletem tanto na banda 4 como a soja e o feijão.

A soja e o feijão têm em comum o comportamento espectral semelhante. A cana-de-açúcar e o milho também têm comportamento espectral parecido entre si. A diferença do comportamento espectral de culturas agrícolas pode estar associada às características como: o espaçamento de plantio, a densidade de sementes plantadas, o teor de clorofila das plantas, o desenvolvimento da planta, o tempo de cobertura do solo e o tempo para expressão do comportamento típico de vegetação (Epiphanyo, 1988). Todas essas variáveis influenciam no comportamento espectral, pois, quanto mais adensado for um plantio, menor será a proporção do solo exposto a influenciar na resposta espectral do

alvo; plantas com maior teor de clorofila absorvem mais na banda 3; dependendo do desenvolvimento da planta, ela apresentará maior ou menor vigor vegetativo. Uma cultura que leve mais tempo para cobrir o solo, sofrerá a influência deste por mais tempo; quanto menos tempo uma cultura demorar para expressar o comportamento típico de vegetação, mais rápido ela poderá ser identificada em imagens de satélite. Com base nisso, há a necessidade de trabalhos que se aprofundem no estudo dessas características e nas relações destas com o comportamento espectral dos alvos.

O sorgo e o milho assemelham-se à palhada, provavelmente por serem cultivados sobre a palhada da cultura anterior e por não apresentarem um desenvolvimento vegetativo vigoroso, pois são cultivados na época da seca em regime de sequeiro. O milho de 2003 apresentou valores de reflectância mais elevados nas bandas 4 e 5 que os milhos dos outros anos. Isto talvez possa ser explicado pelo fato de que o milho de 2003 foi encontrado nos meses de abril e maio, e como a precipitação em abril deste ano foi muito elevada, isto pode ter ocasionado um maior desenvolvimento das plantas.

O solo exposto se destaca pelos valores próximos nas seis bandas. A pastagem tem um comportamento semelhante ao da palhada, pois quase sempre existe tecido vegetal desidratado na parte baixa das gramíneas utilizadas na região, mas com a diferença de a pastagem apresentar uma resposta mais alta na banda 4, em função das partes vivas das plantas.

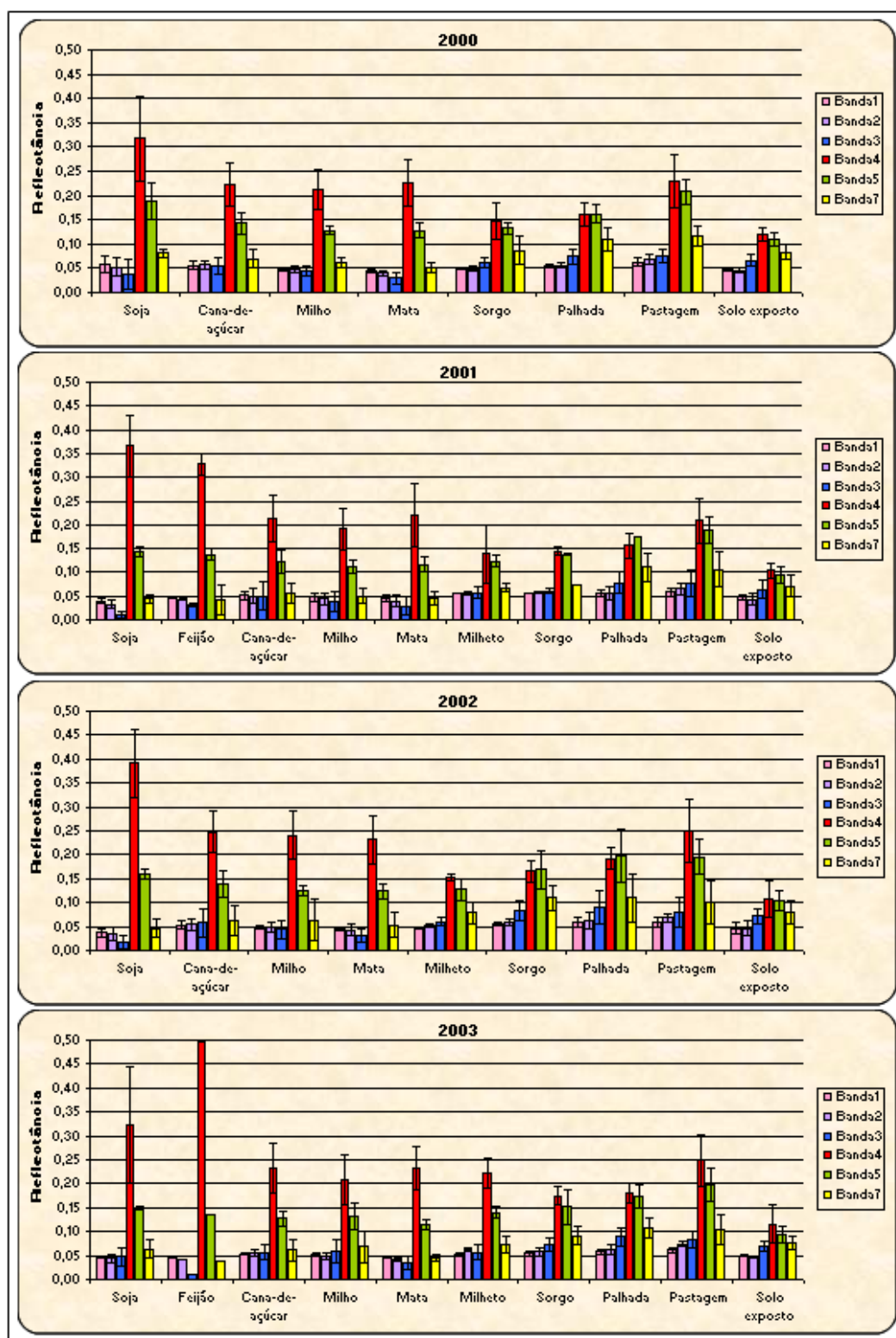


FIGURA 5.24 – Reflectância média (colunas) e desvio padrão (barras) dos alvos em diferentes estádios fenológicos (de imagens uniformizadas) para os anos de 2000 a 2003.

Nas Figuras 5.25 e 5.26 são apresentados os valores do Índice Razão Simples (RS) para os alvos analisados. Para cada ano foram feitos dois gráficos utilizando os mesmos dados, mas alterando a escala das linhas de grade. Esse procedimento foi adotado para facilitar a visualização dos dados, visto que existe uma grande variação no valor de RS entre os alvos. Nos gráficos deve ser observado a distância dos pontos em relação ao centro do gráfico, quanto mais distante do centro, maior o valor de RS. Alguns pontos correspondentes à cultura de soja não foram plotados nos gráficos, pois os valores de RS foram extremamente elevados.

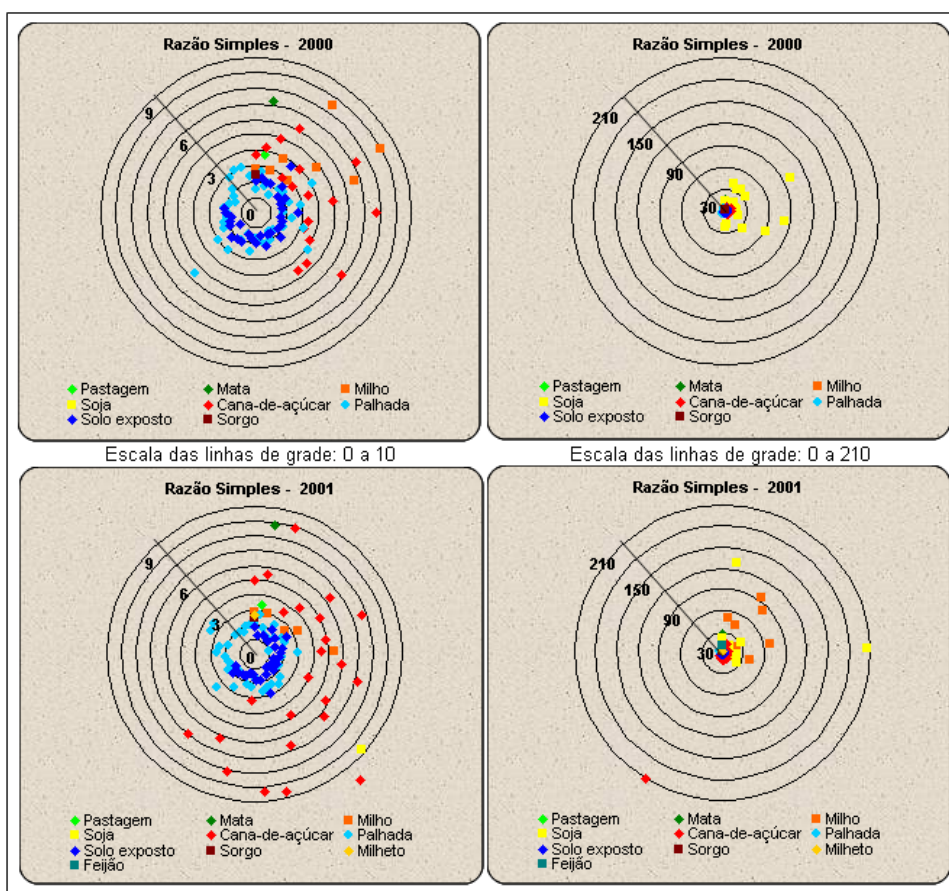


FIGURA 5.25 – Dados do índice razão simples (IVP/V) dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 e 2001, em duas escalas de linhas de grade.

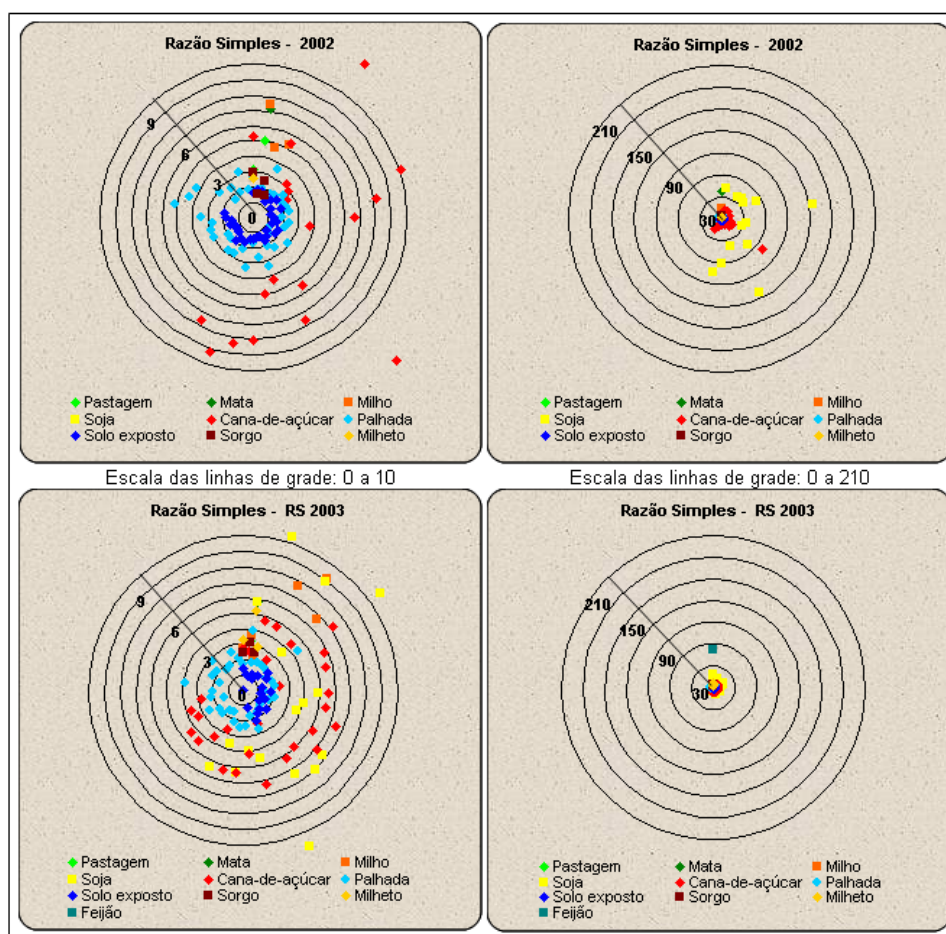


FIGURA 5.26 – Dados do índice razão simples (IVP/V) dos 50 alvos monitorados nos anos de 2002 e 2003, em duas escalas de linhas de grade.

Os menores valores de RS foram observados para o solo exposto seguido da palhada, o que era esperado pelo fato de este índice ser indicativo da presença de vegetação verde e sadia. A soja foi o alvo que apresentou os maiores valores de RS em todos os anos analisados. Foi observado que à medida que a planta de soja vai secando a RS vai diminuindo.

A cana-de-açúcar, o milho, o milheto, a mata e a pastagem apresentaram valores similares de RS. O sorgo assemelhou-se à palhada.

O milho apresentou valores de RS bastante variados. No ano de 2001 verificam-se valores de RS altos, os quais correspondem ao milho safrinha, e valores de RS mais baixos, referentes ao milho convencional. Nos demais anos também foi plantado tanto o

milho safrinha (embora em menor quantidade a partir de 2002) como o convencional, mas como os gráficos de RS foram obtidos a partir de médias anuais por ponto (referentes aos 50 talhões monitorados), e como nestes anos foram plantados tanto o milho safrinha como o convencional em um mesmo ponto (talhão), na média os valores de RS ficaram mais baixos.

Dois pontos de cana-de-açúcar tiveram valores muito altos de RS, um no ano de 2001 e outro no ano de 2002. Isto ocorreu porque nestes pontos a reflectância na banda 3 foi quase zero (talvez possa ter ocorrido uma sobrecorreção da atmosfera), o que faz com que a razão entre as bandas do infravermelho próximo e do vermelho seja elevadíssima (Epiphanyo e Huete, 1995). No entanto, isso não quer dizer que nesses pontos a cana-de-açúcar estivesse mais desenvolvida que nos demais pontos. Portanto, é preciso muita cautela para analisar a RS, assim como outros índices de vegetação.

Na Figura 5.27 podem ser observados os gráficos de NDVI dos alvos estudados. Os resultados obtidos com a análise dos RS e do NDVI são similares. No entanto, é mais fácil a visualização dos dados de NDVI, pelo fato de os valores variarem de -1 a 1.

A soja diferencia-se dos demais alvos por apresentar os maiores valores de NDVI. As culturas de cana-de-açúcar, milho, milheto, a mata e a pastagem possuem valores intermediários de NDVI. Os menores valores correspondem ao sorgo, à palhada e ao solo exposto.

Moreira e Nietzsche (1991) obtiveram valores de NDVI para a soja numericamente maiores do que para o milho, no Distrito Federal. Thenkabail et al. (2000) estudaram o milho, o algodão, a batata e a soja, em uma região da Síria, e a soja foi a cultura que teve maior valor de NDVI na fase de pleno desenvolvimento. Gilabert et al. (1996), na Espanha, observou valores de NDVI igual a 0,14 para o solo exposto (solo rico em cálcio) e NDVI variando de 0,30 a 0,93 para o milho em diferentes fases; no entanto, a contribuição do solo na cultura do milho foi em parte excluída, pois as medidas radiométricas foram tomadas com espectrorradiômetro centrado na fileira do milho, e não abrangeu todo o dossel da cultura.

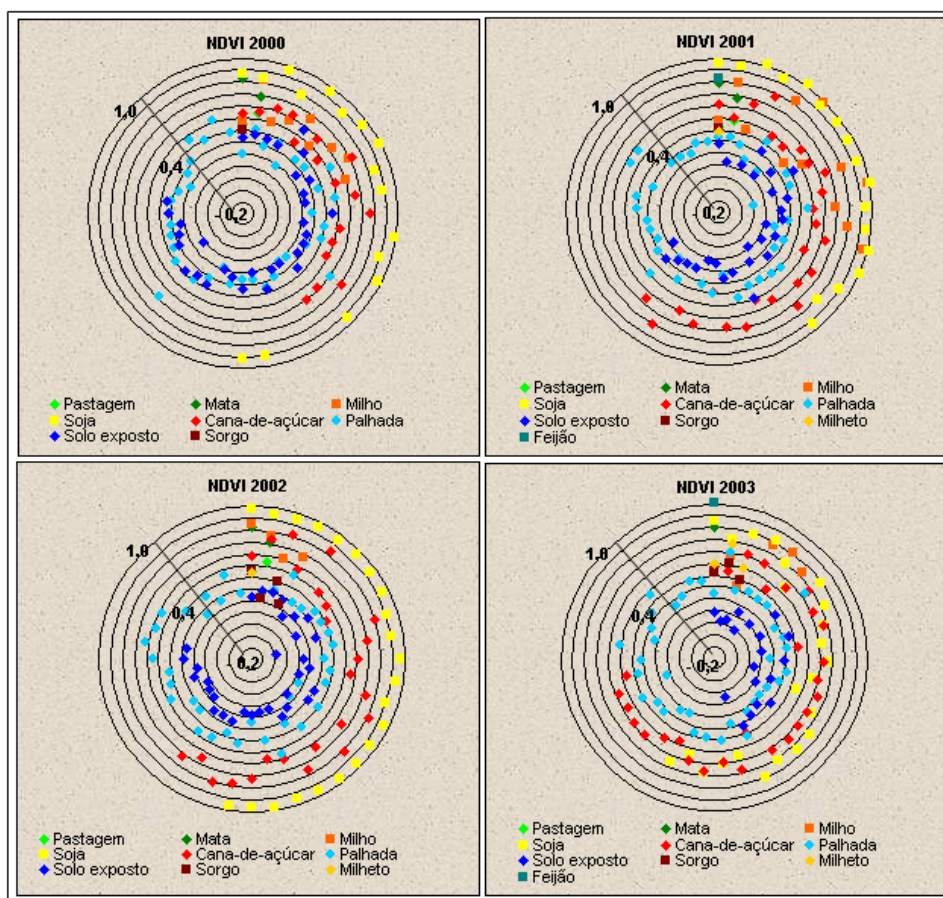


FIGURA 5.27 – Dados do índice NDVI dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

Na Figura 5.28 são apresentados os valores de NDVI versus a banda 5. A escolha por plotar graficamente o NDVI com a banda 5 surgiu da idéia de relacionar um índice de vegetação com uma banda espectral que não fosse correlacionada com as bandas espectrais usadas no cálculo do índice de vegetação. A intenção foi a de separar ao máximo os diversos alvos agrícolas analisados.

De forma geral, foi possível agrupar os dados em 4 grupos: soja e feijão (maiores valores de NDVI e valores intermediários na banda 5); cana-de-açúcar, mata e milho (valores intermediários na banda 5 e de NDVI); palhada, pastagem, sorgo e milheto (maiores valores na banda 5 e valores baixos de NDVI); solo exposto (menores valores na banda 5 e de NDVI).

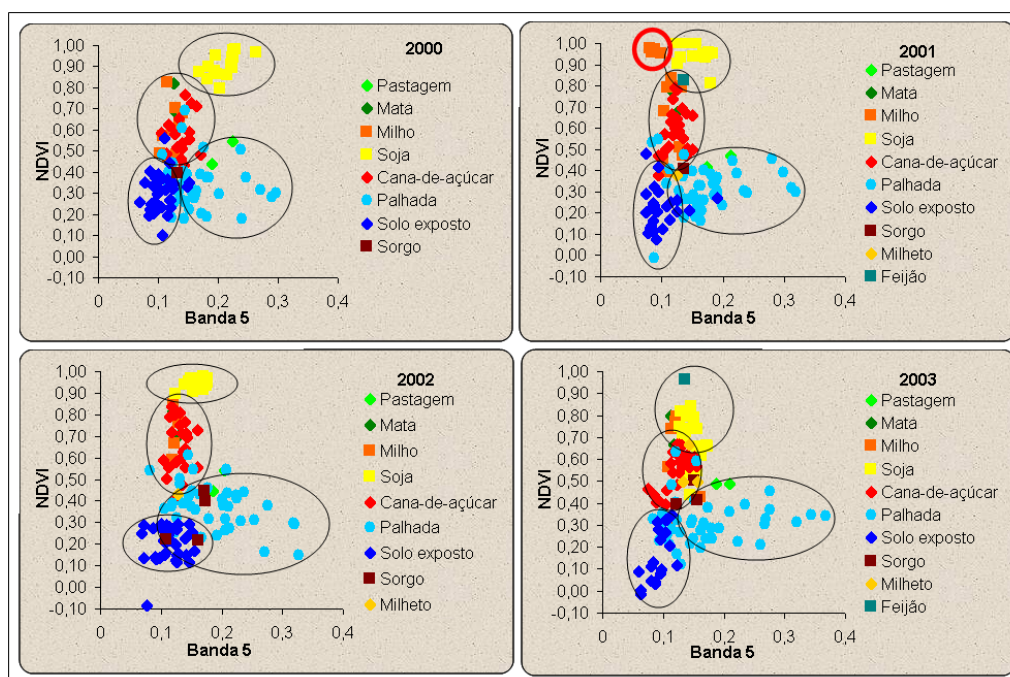


FIGURA 5.28 – Banda 5 versus NDVI dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

No ano de 2001 os pontos de milho destacados (com um círculo vermelho) correspondem ao milho safrinha. Estes são os mesmos pontos observados na análise dos RS de 2001 (Figura 5.25). Verifica-se que: a) se for feita a divisão entre o milho convencional e o safrinha antes de se obter as médias para gerar os índices de vegetação, ou seja, obter uma média para o convencional e outra para o safrinha; ou, b) se os talhões analisados forem cultivados apenas com o milho convencional ou apenas com o safrinha (como ocorreu para o ano de 2001); é possível separar o milho safrinha do milho convencional e também das demais culturas. Mediante o exposto, o ideal seria considerar na análise proposta a cultura do milho safrinha como uma cultura diferente do milho convencional.

A explicação plausível para o milho safrinha ter apresentado valores de RS e NDVI mais elevados que o milho convencional é pelo fato de os cultivares de safrinha serem precoces. Normalmente, havendo disponibilidade hídrica, cultivares mais precoces, de menor porte e mais eretas permitem o uso de densidades mais elevadas e espaçamento mais estreito (Embrapa, 2004a). Quanto mais precoce e mais adensado, mais rápido é o desenvolvimento do milho e maior é a cobertura do solo pelas plantas.

Conseqüentemente, a influência do solo na resposta espectral do milho safrinha é menor. Contudo, mais estudos são necessários para poder fazer qualquer afirmação sobre o comportamento espectral do milho safrinha.

Um pouco adiante serão mostrados gráficos com as reflectâncias obtidas para as bandas espectrais analisadas. Para melhor conhecer a relação entre as bandas e, conseqüentemente, melhor compreender os gráficos elaborados, foi obtida a matriz de correlação entre as bandas, por ano.

Ao analisar a matriz de correlação dos anos de 2000 a 2003 (Tabela 5.12), foi identificado que as bandas mais bem correlacionadas são as bandas (1 e 2), (1 e 3), (1 e 7), (2 e 3), (2 e 7), (3 e 7) e (5 e 7); e as bandas com baixa correlação são as bandas (1 e 4), (1 e 5), (2 e 4), (2 e 5), (3 e 4), (3 e 5), (4 e 5) e (4 e 7).

TABELA 5.12 – Matriz de correlação obtida a partir dos dados de reflectância dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

		banda 1	banda 2	banda 3	banda 4	banda 5	banda 7
2000	banda 1	1,00	0,96	0,62	-0,03	0,51	0,65
	banda 2	0,96	1,00	0,73	-0,17	0,37	0,60
	banda 3	0,62	0,73	1,00	-0,73	-0,10	0,57
	banda 4	-0,03	-0,17	-0,73	1,00	0,66	-0,06
	banda 5	0,51	0,37	-0,10	0,66	1,00	0,69
	banda 7	0,65	0,60	0,57	-0,06	0,69	1,00
2001	banda 1	1,00	0,97	0,89	-0,35	0,56	0,82
	banda 2	0,97	1,00	0,85	-0,33	0,54	0,74
	banda 3	0,89	0,85	1,00	-0,59	0,44	0,88
	banda 4	-0,35	-0,33	-0,59	1,00	0,30	-0,30
	banda 5	0,56	0,54	0,44	0,30	1,00	0,71
	banda 7	0,82	0,74	0,88	-0,30	0,71	1,00
2002	banda 1	1,00	0,89	0,91	-0,47	0,55	0,73
	banda 2	0,89	1,00	0,87	-0,46	0,52	0,80
	banda 3	0,91	0,87	1,00	-0,63	0,48	0,85
	banda 4	-0,47	-0,46	-0,63	1,00	0,29	-0,50
	banda 5	0,55	0,52	0,48	0,29	1,00	0,59
	banda 7	0,73	0,80	0,85	-0,50	0,59	1,00
2003	banda 1	1,00	0,97	0,88	0,04	0,84	0,89
	banda 2	0,97	1,00	0,87	0,03	0,83	0,88
	banda 3	0,88	0,87	1,00	-0,25	0,68	0,91
	banda 4	0,04	0,03	-0,25	1,00	0,44	-0,07
	banda 5	0,84	0,83	0,68	0,44	1,00	0,84
	banda 7	0,89	0,88	0,91	-0,07	0,84	1,00

Para a análise das correlações entre bandas foram criados quatro intervalos de correlação: alta e positiva – de 0,70 a 0,99; baixa e positiva – de 0,00 a 0,69; baixa e negativa – de -0,01 a -0,69; e alta e negativa – menor que -0,70.

Depois de agrupadas, as bandas ficaram da seguinte forma: correlação alta e positiva – bandas (1 e 2), (1 e 3), (1 e 5), (1 e 7), (2 e 3), (2 e 5), (2 e 7), (3 e 7) e (5 e 7); correlação baixa e positiva – (1 e 3), (1 e 4), (1 e 5), (1 e 7), (2 e 4), (2 e 5), (2 e 7), (3 e 5), (3 e 7), (4 e 5) e (5 e 7); correlação baixa e negativa - (1 e 4), (2 e 4), (3 e 4), (3 e 5), (4 e 7); e correlação alta e negativa – (3 e 4). Verificou-se que, dependendo do ano, a correlação entre duas bandas pode variar de tipo, e apenas as bandas (1 e 2), (2 e 3) – alta e positiva; (4 e 5) – baixa e positiva e (4 e 7) – baixa e negativa, não variaram de tipo de correlação.

Foram obtidos 15 gráficos com os valores de reflectância dos alvos analisados plotados banda (1 a 5 e 7) versus banda (1 a 5 e 7) (Figuras 5.29 a 5.32). O objetivo dessa análise foi explorar ao máximo, de forma visual, as possibilidades de separação dos alvos a partir de suas reflectâncias. A seguir são apresentados quatro destes gráficos, que representam todos os demais.

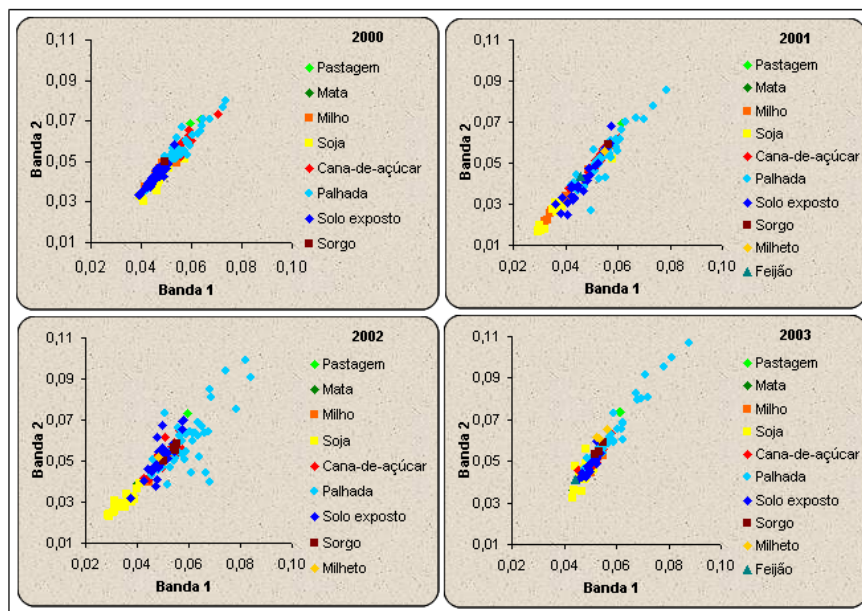


FIGURA 5.29 – Reflectância da banda 1 versus banda 2 dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

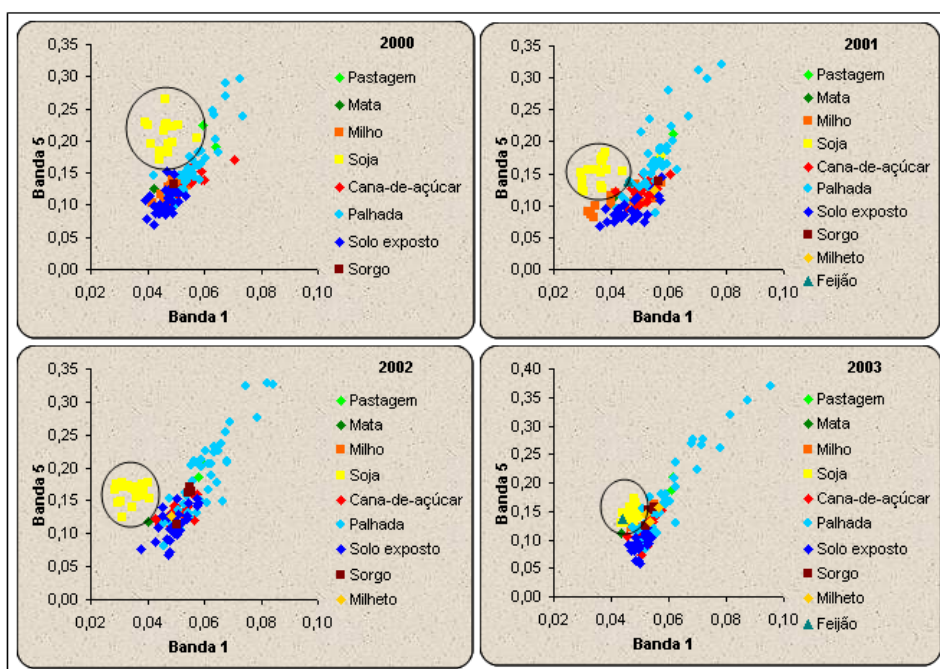


FIGURA 5.30 – Reflectância da banda 1 versus banda 5 dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

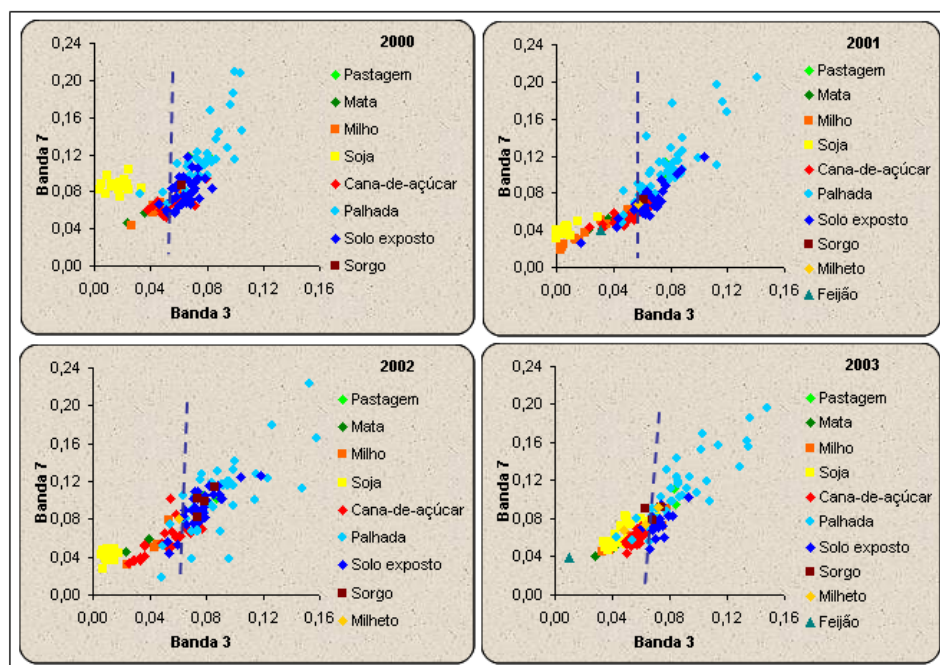


FIGURA 5.31 – Reflectância da banda 3 versus banda 7 dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

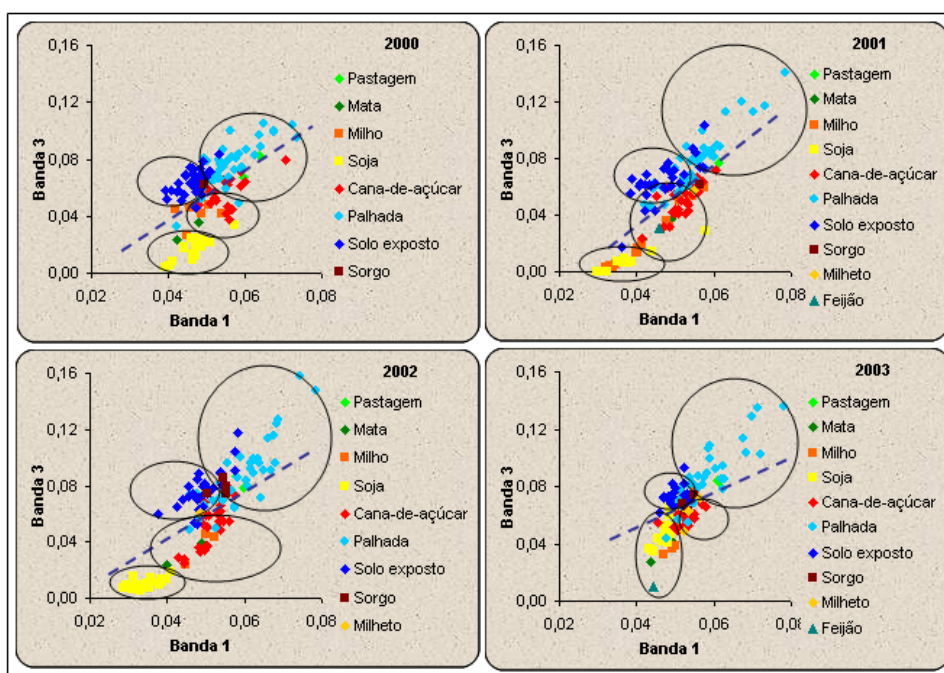


FIGURA 5.32 – Reflectância da banda 1 versus banda 3 dos 50 alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003.

Dos 15 gráficos, três deles – (1 e 2) (representado na Figura 5.29), (1 e 7) e (2 e 7) não possibilitaram a separação de nenhum alvo.

Em dois gráficos (1 e 5) (representado na Figura 5.30) e (2 e 5) a soja pôde ser muito bem distinguida dos demais alvos. A soja apresentou valores de reflectância de 0,10 a 0,25 na banda 5 e de 0,01 a 0,05 nas bandas 1 e 2. Nas bandas 1 e 2 verificou-se que nos anos 2000 e 2003 os valores de reflectância foram maiores do que nos anos de 2001 e 2002, o que pode estar correlacionado com um maior desenvolvimento da soja.

Dez dos 15 gráficos, bandas (1 e 3), (1 e 4), (2 e 3), (2 e 4), (3 e 4), (3 e 5), (3 e 7), (4 e 5), (4 e 7) e (5 e 7) permitiram a separação entre alvos de vegetação (culturas agrícolas, pastagem e mata) e de não-vegetação (solo exposto e palhada). Alguns alvos de milho e sorgo ficaram no grupo de não-vegetação; como comentado anteriormente, essas culturas são plantadas na época da seca sobre a palhada da cultura anterior e não apresentam um desenvolvimento vegetativo muito vigoroso. Foi observado também que no ano de 2002 uma maior quantidade de talhões de sorgo e de milho ficaram no

grupo dos alvos de não-vegetação, provavelmente pelo fato de o ano de 2002 ter tido mais meses com baixa precipitação durante a época da seca.

Entre os 10 gráficos que separaram alvos de vegetação e não-vegetação, apenas 1 (3 e 7) (Figura 5.31) não possibilitou a separação dos alvos em quatro grupos (**A**, **B**, **C** e **D**). O grupo **A**: soja e feijão; **B**: cana-de-açúcar, milho e mata; **C**: palhada e pastagem, e **D**: solo exposto (Figura 5.32). O sorgo e o milheto ora se encaixam no grupo **B**, ora no grupo **C**, e algumas vezes até no grupo **D**.

Além do sorgo e do milheto, dependendo das bandas e do ano, alguns talhões de determinados alvos variaram de grupo (considerando os quatro grupos definidos acima). A mata (do grupo **B**) apareceu no grupo **A** nos anos de 2000 e 2003. Nestes anos houve maior quantidade de chuvas, o que pode ter proporcionado um maior vigor deste alvo. O milho e a cana-de-açúcar (do grupo **B**) também apareceram no grupo **A**. O feijão e a soja (grupo **A**) e a pastagem (grupo **C**) apareceram no grupo **B**. A cana-de-açúcar (grupo **B**) apareceu nos grupos **C** e **D**. Verificou-se, portanto, que há uma separação qualitativa em grupos, a qual é relativamente variável ao longo dos anos.

Ao plotar bandas versus bandas é possível, como demonstrado, separar qualitativamente os alvos em grupos. No entanto, essa separação é relativamente variável ao longo dos anos, e os limites dos grupos são arbitrários.

A seguir são apresentados os resultados da análise de gráficos que confrontam o comportamento da reflectância dos alvos monitorados nos anos de 2000 a 2003 com a temperatura média e a precipitação. O gráfico para a cultura de cana-de-açúcar, escolhido como exemplo, pode ser visualizado na Figura 5.33. Para as culturas de soja, milho, para a mata, a pastagem, a palhada e o solo exposto, os gráficos estão disponíveis no APÊNDICE B. Esta análise gráfico-qualitativa visa explorar o aspecto temporal das imagens de satélite, acompanhar todo o ciclo das culturas estudadas e fazer a associação com outros parâmetros, como a temperatura média e a precipitação. Esta análise foi possibilitada pela existência do banco de dados multitemporal, que contém 39 imagens de satélite (Landsat) adquiridas ao longo de quatro anos.

Segundo Formaggio (1990), ao fazer uma análise multitemporal deve-se atentar para o fato de que, numa mesma data de passagem de um satélite, as culturas plantadas numa determinada área estão em estádios diferentes de seus ciclos biológicos, em função das diferentes datas de plantio. Isto pode ser observado na Figura 5.33. Como exemplo, destacado por um retângulo vermelho, em janeiro de 2003 foram encontrados 20 talhões (entre os 50 talhões monitorados) de cana-de-açúcar, que tiveram reflectância na banda 4 variando de 0,096 a 0,268.

Variáveis biofísicas como a altura média, o peso de matéria seca, o número de folhas verdes por planta, a cobertura verde, a fitomassa, o teor de umidade e o IAF variam de acordo com o estágio de desenvolvimento e o vigor da planta, e influenciam de forma significativa na interação entre a radiação eletromagnética e os dosséis de vegetação das culturas agrícolas (Formaggio, 1990). Assim sendo, a variação encontrada na reflectância dos 20 talhões de cana-de-açúcar em janeiro de 2003, como também para as demais culturas em outras datas, é consequência das características das variáveis biofísicas apresentadas por plantas em diferentes estádios de desenvolvimento e de vigor vegetativo.

Mesmo com a variação da reflectância em uma mesma data de passagem do satélite, percebe-se que houve um padrão no comportamento temporal das culturas agrícolas. De maneira geral, para a cana-de-açúcar, nas bandas 1, 2, 3, 5 e 7 as quedas na reflectância ocorreram concomitantemente com o aumento da temperatura média e da precipitação, e vice-versa. Na banda 4 ocorreu o oposto.

O mesmo padrão de comportamento da cana-de-açúcar foi observado para o milho, a mata, a pastagem a palhada e o solo exposto. Não foi possível fazer a mesma análise para a soja, pois essa cultura é cultivada nos meses de chuva e de alta precipitação. Vale ressaltar que o termo palhada engloba as culturas em fase de início de crescimento que ainda não permitem a sua identificação em imagens de satélite. Da mesma forma, um talhão que é classificado como solo exposto, tendo como base imagens de satélite, pode não estar completamente exposto no campo, e pode apresentar rebrota ou estar recém plantado.

O aumento da temperatura dentro do ótimo para o crescimento e desenvolvimento, e da disponibilidade de água faz com que as plantas possam aumentar sua atividade fotossintética. O aumento dos pigmentos fotossintéticos promove uma maior absorção da radiação nos comprimentos de onda do visível. Há o incremento na quantidade das folhas verdes das plantas, que espectralmente significa um aumento da reflectância na faixa do infravermelho próximo. No infravermelho médio – bandas 5 e 7 – o maior conteúdo de água nos mesófilos, associado a um maior sombreamento no interior do dossel causado pelo alto desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, tende a causar ligeira diminuição da reflectância nestas bandas.

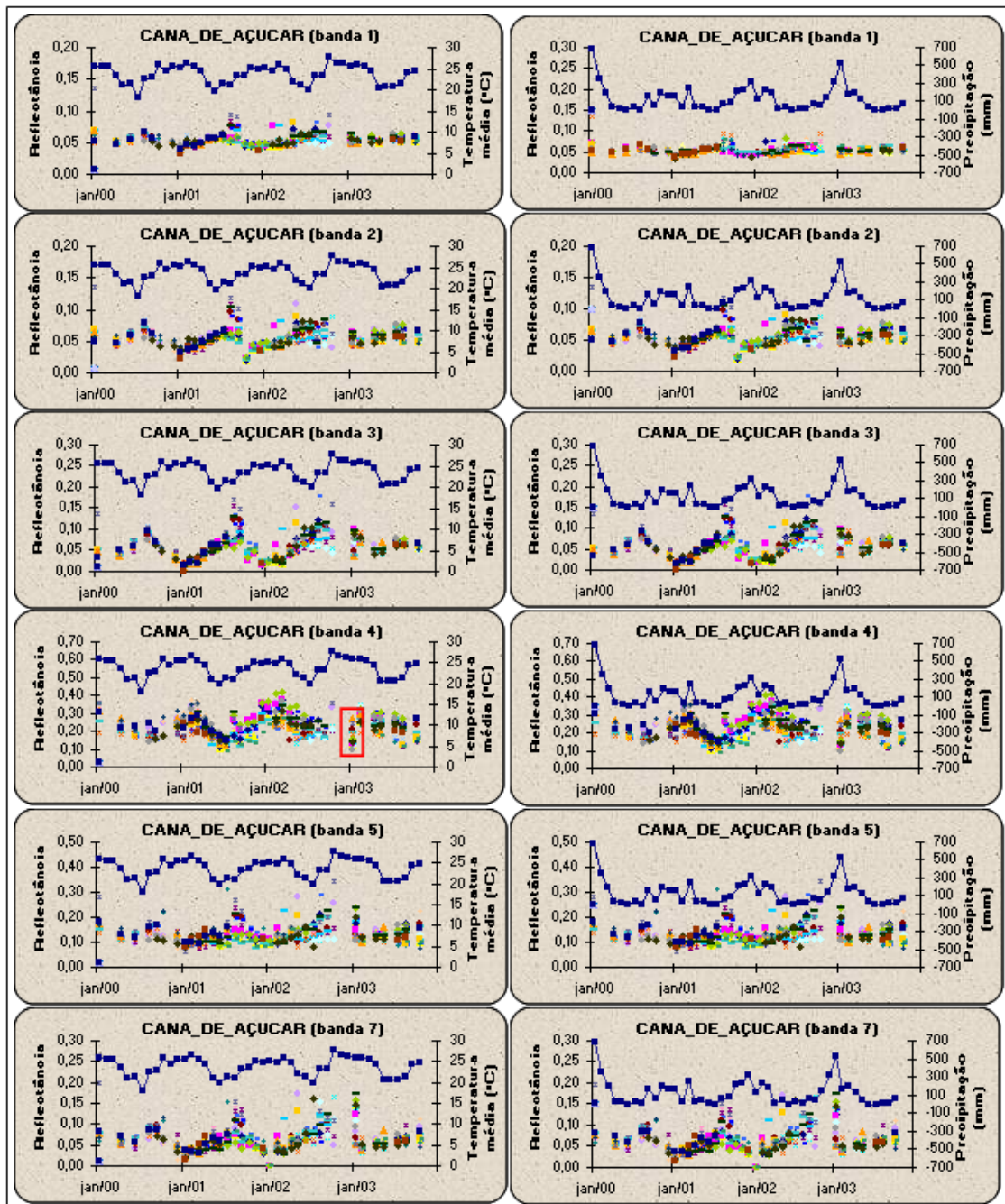


FIGURA 5.33 – Comportamento espectral da cana-de-açúcar em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.

5.4 - Estimativa de Área Agrícola de Ipuã para o Mês de Agosto de 2003

As estimativas de área agrícola para o município de Ipuã, para agosto de 2003, foram obtidas com base nos oito painéis amostrais, sendo que quatro painéis foram formados exclusivamente com pontos agrícolas (culturas agrícolas, pastagem, palhada e solo exposto) e os outros quatro com pontos agrícolas e não-agrícolas (corpos d'água, mata, área urbana, etc.). Os painéis foram compostos por 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com 10 repetições cada.

É importante enfatizar que a metodologia utilizada para a estimativa de área pode ser aplicada a qualquer época do ano. Neste trabalho foi escolhido o mês de agosto porque a referência de campo foi obtida neste mês.

Para a formação dos painéis com pontos exclusivamente agrícolas foi de suma importância o uso de imagens de satélite e do aplicativo de geoprocessamento (no caso desse trabalho, imagens Landsat e aplicativo SPRING), os quais permitiram uma pré-interpretação dos pontos amostrais, e a posterior remoção dos pontos não-agrícolas, de forma rápida e eficiente.

Os resultados das estimativas obtidas com base no sistema amostral por pontos sobre o mapa de referência de campo e o mapa gerado com base no classificador MAXVER, para a cana-de-açúcar e a pastagem, foram plotados em gráficos que podem ser visualizados nas Figuras 5.34 a 5.37.

Em Ipuã, no mês de agosto de 2003, foram encontradas, além da cana-de-açúcar e pastagem, as culturas de milho, sorgo, milheto, aveia, feijão e trigo. A estimativa de área para essas culturas também foi obtida, mas, como essas culturas são cultivadas em pequenas áreas e a metodologia adotada neste trabalho serve para as culturas plantadas em extensas áreas, os resultados obtidos não foram satisfatórios, como o esperado. As estimativas para as culturas cultivadas em pequenas áreas não serão apresentadas neste trabalho.

Nas quatro figuras mostradas a seguir (Figuras 5.34 a 5.37), os resultados apresentados no lado esquerdo das figuras correspondem aos painéis amostrais compostos por pontos agrícolas e não-agrícolas, e os do lado direito correspondem aos painéis amostrais de pontos agrícolas. Os gráficos nessas figuras mostram a área agrícola estimada (em hectares), o coeficiente de variação (em porcentagem) e o desvio padrão (em hectares) correspondentes.

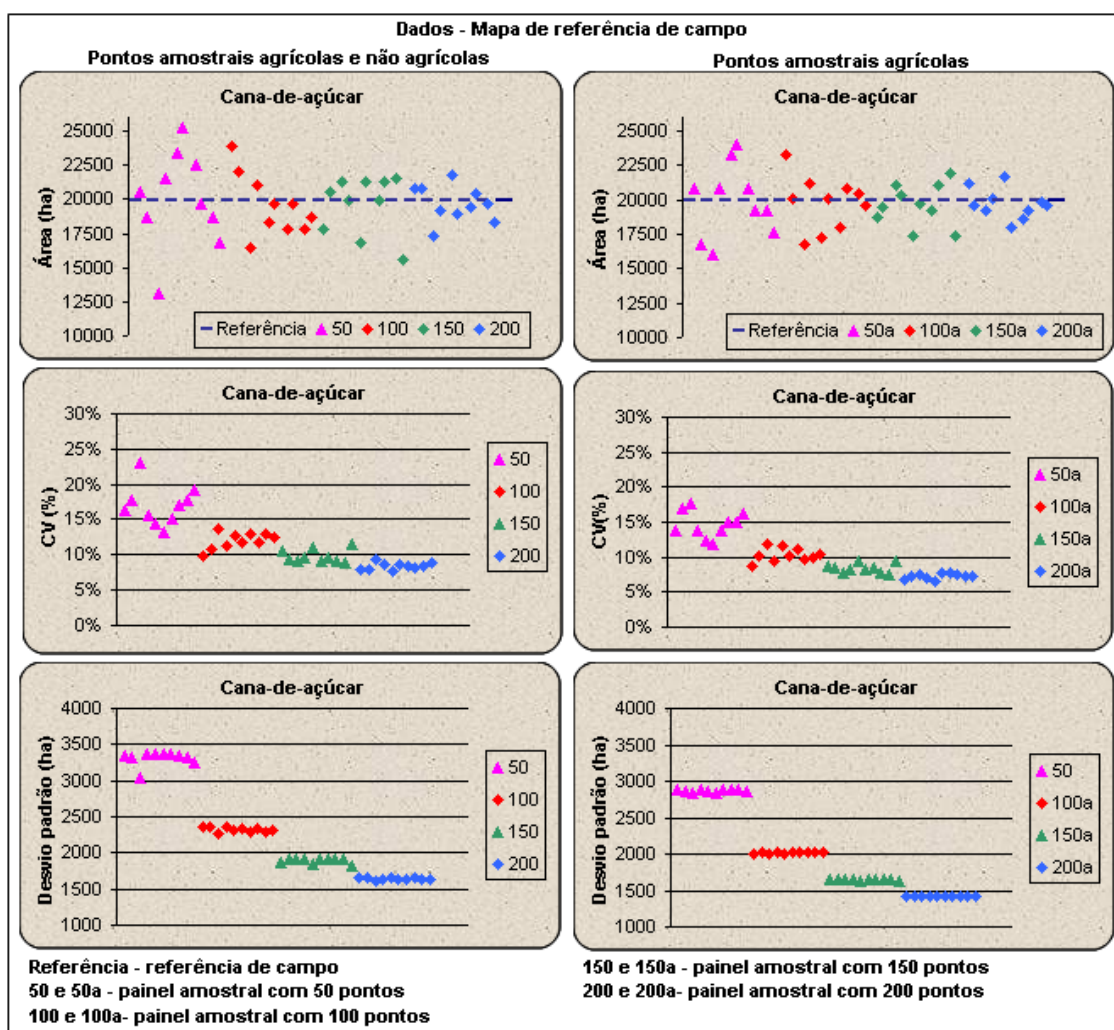


FIGURA 5.34 – Área de cana-de-açúcar do município de Ipuã estimada com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa de referência de campo, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.

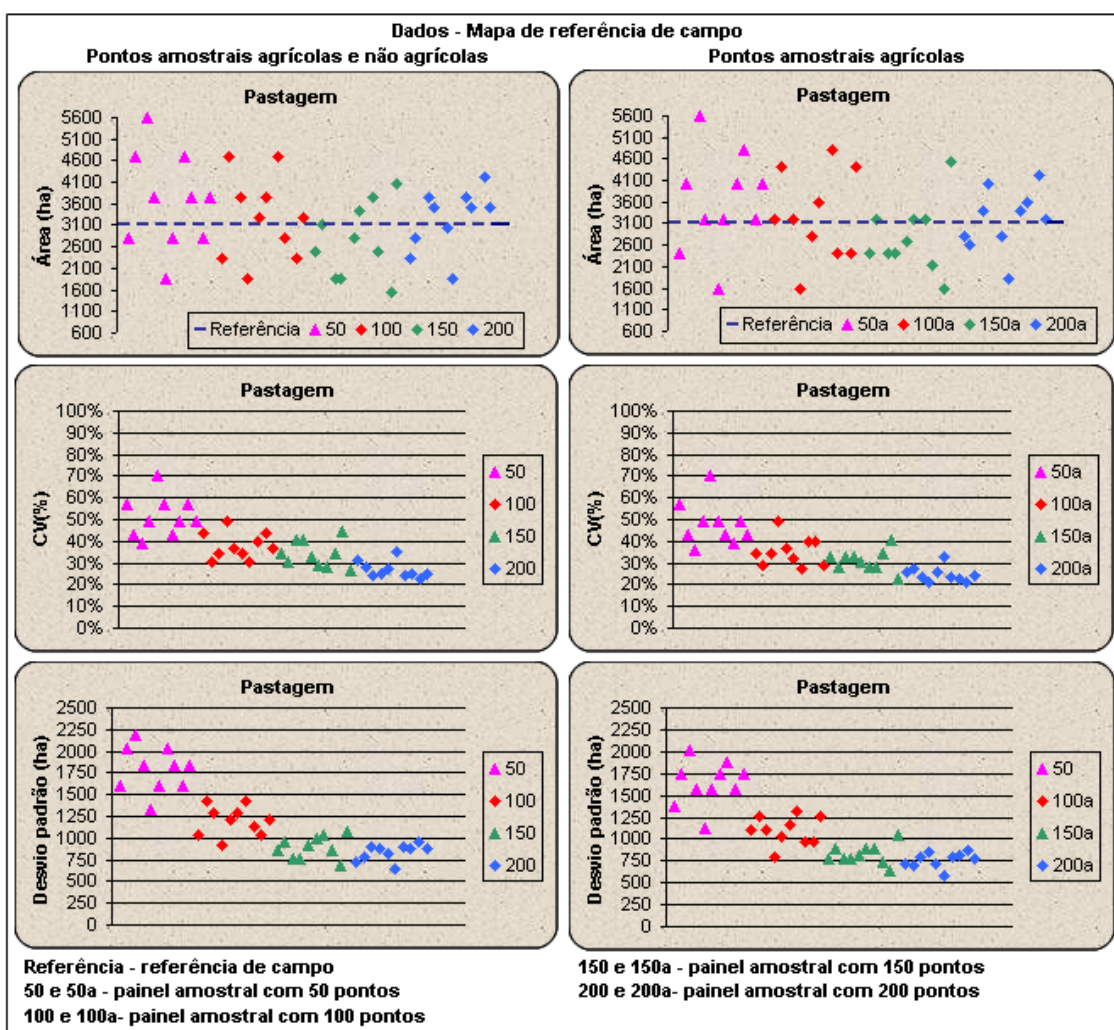


FIGURA 5.35 – Área de pastagem do município de Ipuã obtida com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa de referência de campo, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.

Para a cana-de-açúcar, com base nos dados do mapa de referência de campo (Figura 5.34), as estimativas de área se aproximaram mais do valor de área da referência de campo nos painéis amostrais com maior quantidade de pontos. O desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) foram menores para os painéis amostrais compostos por 200 pontos, seguidos dos de 150, 100 e 50 pontos. Além disso, as estimativas obtidas com o painel amostral composto por apenas pontos agrícolas apresentou resultado melhor do que o painel com pontos agrícolas e não-agrícolas. O desvio padrão e o CV foram menores no painel com pontos agrícolas. Essas considerações feitas para a cana-de-açúcar também servem para a pastagem (Figura 5.35).

A dispersão dos dados correspondentes à pastagem foi bem maior do que a da cana-de-açúcar. Isso decorre, principalmente, do fato de a área de pastagem ser bem menor que a de cana-de-açúcar no município.

Ao considerar o CV como sendo baixo (se menor que 10%), como médio (de 10 a 20%), alto (de 20 a 30%), e muito alto (maior que 30%) (Pimentel-Gomes, 1985), a cana-de-açúcar apresentou CV baixo e médio, e a pastagem CV alto e muito alto, dependendo do número de pontos no painel amostral. As áreas de cana-de-açúcar e de pastagem encontradas em Ipuã, no mês de agosto de 2003, correspondiam a 43% e 7%, respectivamente, da área deste município. Visto que a metodologia com base no sistema amostral por pontos empregada é adequada às culturas cultivadas em áreas mais extensas, os resultados obtidos foram piores para a pastagem por esta classe corresponder a uma pequena área do município analisado.

Na estimativa de área obtida a partir dos dados do mapa gerado com a classificação MAXVER, houve uma subestimação da área de cana-de-açúcar e pastagem (Figuras 5.36 e 5.37). Este resultado era esperado pelo fato de o classificador em questão não ter identificado as áreas de cana-de-açúcar nova, e por ter classificado algumas áreas de pastagem como pertencentes a outras classes.

Ao comparar os painéis amostrais compostos por pontos agrícolas, com os de pontos agrícolas e não-agrícolas, verificou-se que nos primeiros (só com pontos agrícolas) a variação dentro das 10 repetições de cada grupo com diferentes quantidades de pontos (50, 100, 150 e 200) foi menor que nos painéis com pontos agrícolas e não-agrícolas. No entanto, não houve uma melhora da estimativa de área nos painéis amostrais com apenas pontos agrícolas. A cana-de-açúcar teve valores de CV que variaram de baixo a alto, e a pastagem apresentou valores de CV alto e muito alto.

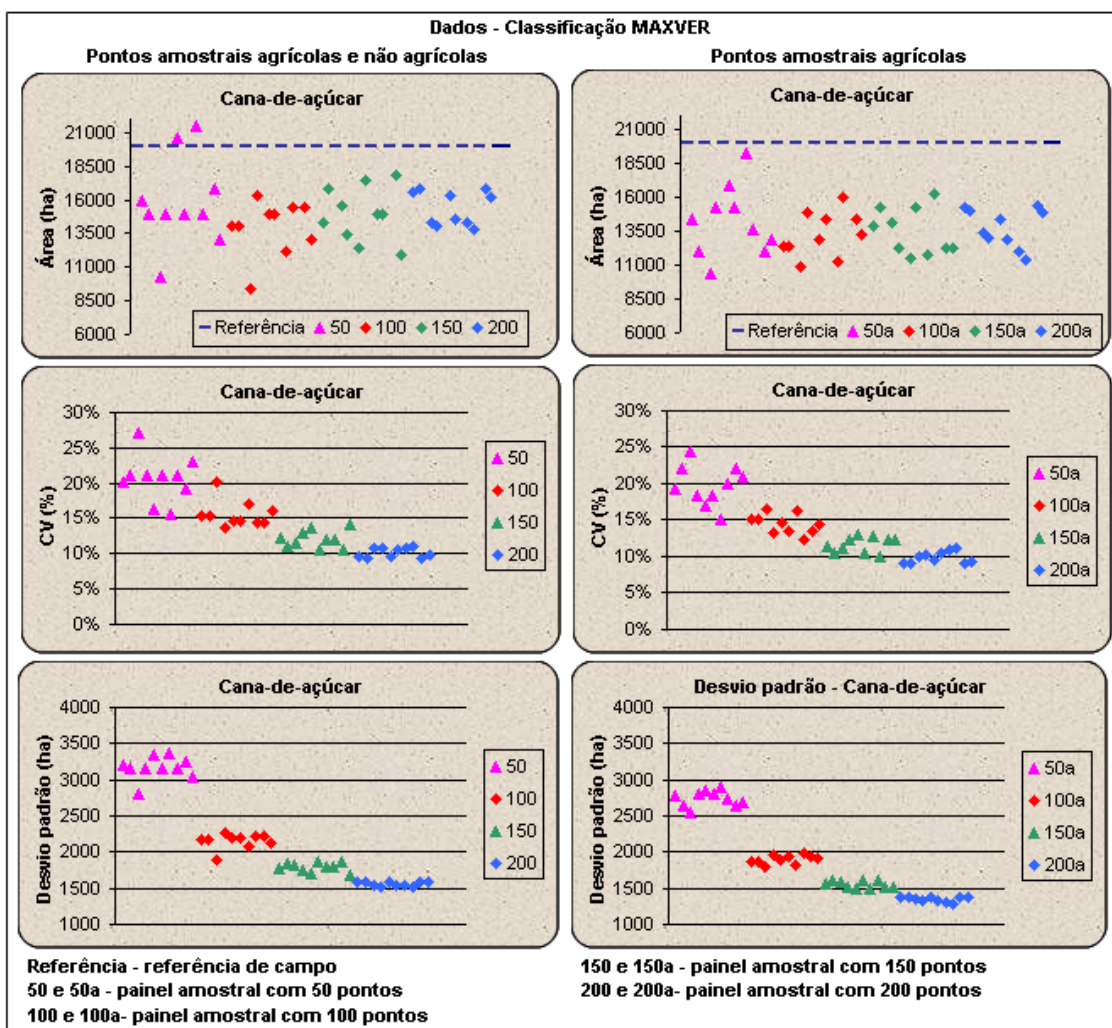


FIGURA 5.36 – Área de cana-de-açúcar do município de Ipuã obtida com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa da classificação MAXVER, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.

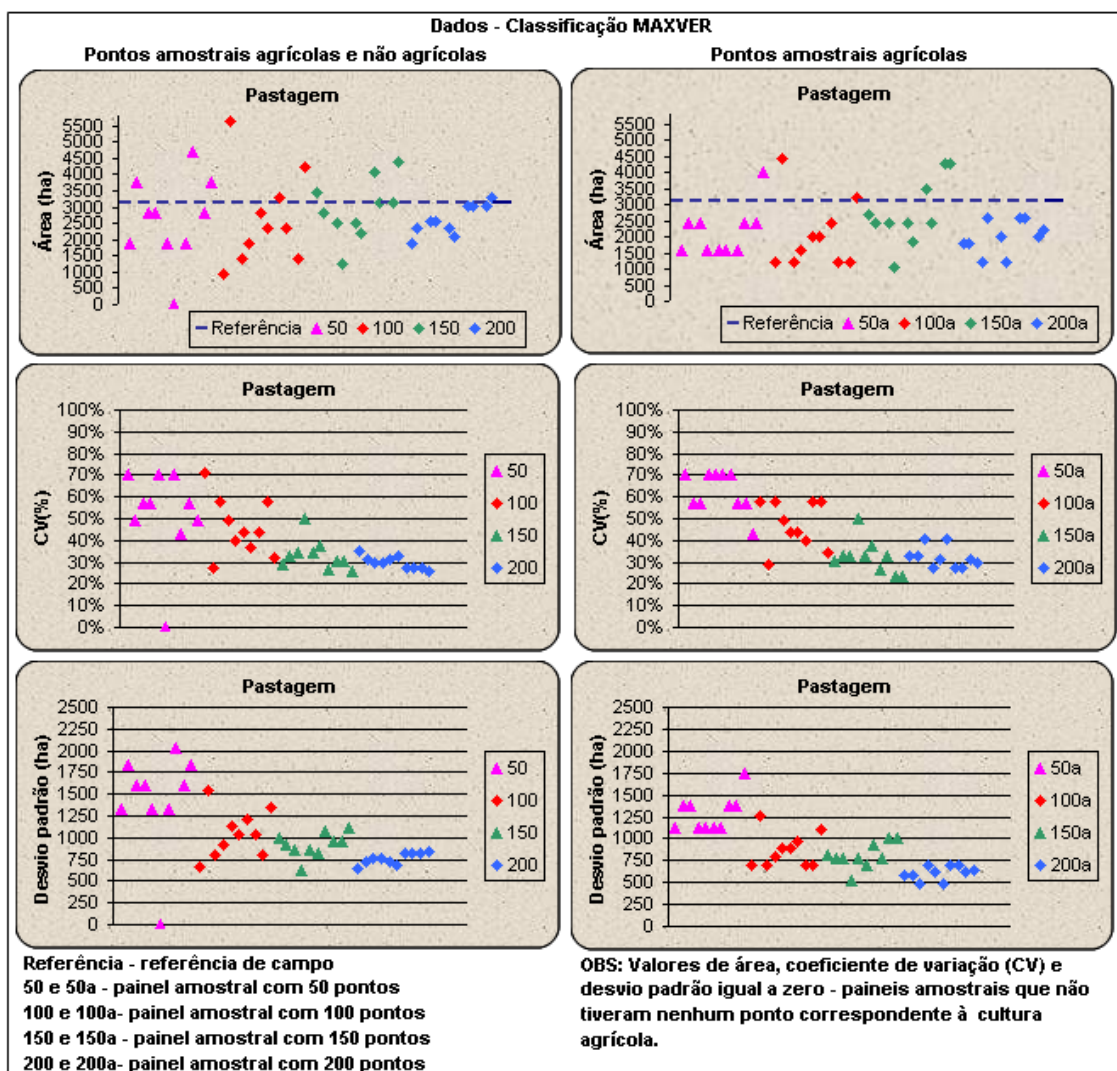


FIGURA 5.37 – Área de pastagem do município de Ipuã obtida com 50, 100, 150 e 200 pontos amostrais, com base no mapa da classificação MAXVER, e respectivos coeficientes de variação e desvios padrões.

5.5 - Estimativa de Área Agrícola da Região de Estudo para o Ano de 2003

O painel amostral composto por 262 pontos utilizado na estimativa de área agrícola dos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, para o ano de 2003, está representado na Figura 5.38.

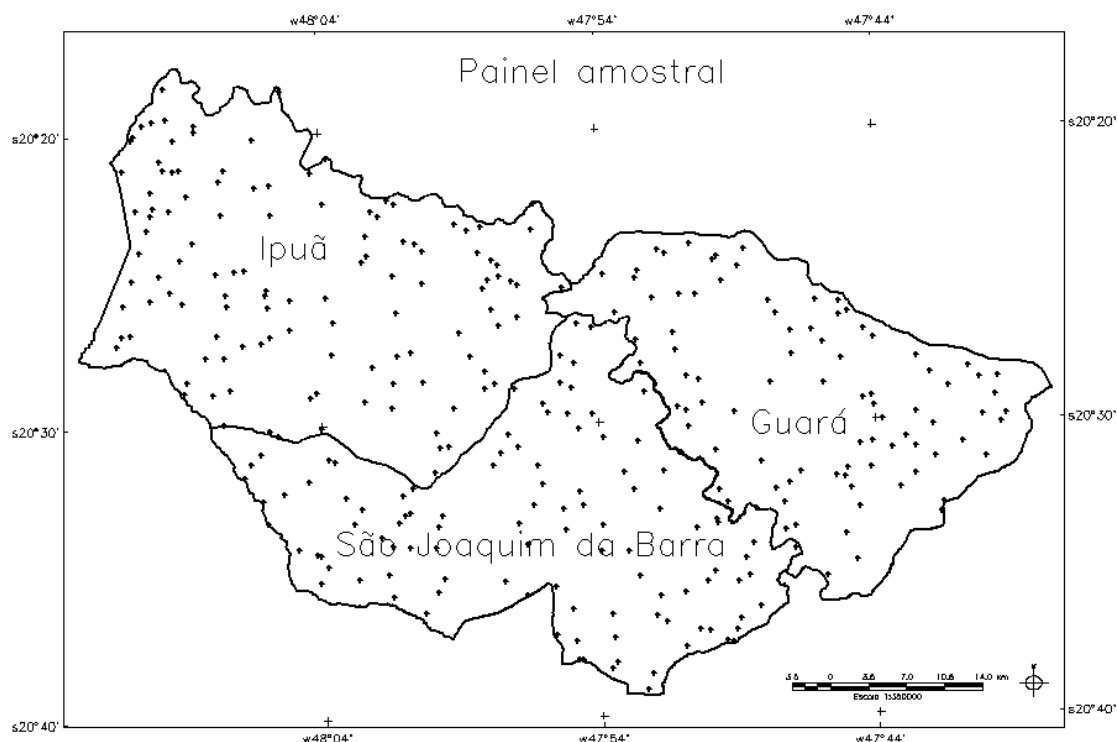


FIGURA 5.38 – Localização dos 262 pontos amostrais do painel amostral nos três municípios da região de estudo.

O painel amostral criado no aplicativo de geoprocessamento permitiu classificar de forma rápida e prática todos os pontos amostrais.

Para o cálculo das estimativas de área agrícola foram usadas sete imagens Landsat dos dias 08/01/03, 09/02/03, 14/04/03, 16/05/03, 27/07/03, 12/08/03, 15/10/03, e uma imagem CBERS-2 do dia 24/12/03. As imagens Landsat foram utilizadas para a classificação dos pontos amostrais. A imagem CBERS serviu para saber se os pontos que apresentavam alguma cultura, de setembro a dezembro, tinham sido ou não colhidos, e permitir, assim, fechar a 3ª safra do ano de 2003.

Além das sete imagens Landsat utilizadas no cálculo das estimativas, havia mais duas, dos dias 25/02/03 e 30/04/03, mas que não foram necessárias, pois já havia outras imagens dos mesmos meses.

Com base no número de pontos amostrais referentes a cada cultura (Tabela 5.13), foram obtidas as estimativas de área agrícola para cada um dos três municípios que compõem a região de estudo, e a estimativa total.

TABELA 5.13 – Número de pontos amostrais e percentual, entre parênteses, por cultura, em 2003.

Área (ha)	TOTAL	GUARÁ	IPUÃ	SJB
Cana-de-açúcar	146 (50,5%)	39 (50,0%)	51 (42,9%)	56 (60,9%)
Soja	65 (22,5%)	21 (26,9%)	34 (28,6%)	10 (10,9%)
Milho	18 (6,2%)	7 (9,0%)	8 (6,7%)	3 (3,3%)
Sorgo	5 (1,7%)	0 (0,0%)	5 (4,2%)	0 (0,0%)
Milheto	5 (1,7%)	0 (0,0%)	5 (4,2%)	0 (0,0%)
Feijão	1 (0,3%)	0 (0,0%)	1 (0,8%)	0 (0,0%)
Pastagem	32 (11,1%)	5 (6,4%)	12 (10,1%)	15 (16,3%)
Sem uso	1 (0,3%)	1 (1,3%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Cana não colhida	16 (5,5%)	5 (6,4%)	3 (2,5%)	8 (8,7%)
SOMA	289 (99,8%)	78 (100,0%)	119 (100,0%)	92 (100,1%)

Repara-se na Tabela 5.13 que a soma total de todos os pontos é igual a 289, que é superior aos 262 pontos do painel amostral, assim como a somatória dos pontos totais por município também é maior. Isto é consequência das áreas de cultivo associado, nas quais mais de uma cultura é plantada na mesma área, em épocas diferentes, em um mesmo ano. O município que possui mais áreas de cultivo associado é Ipuã, sendo São Joaquim da Barra o município com menos áreas de cultivo associado.

A seguir, nas Tabelas 5.14 a 5.17, são apresentadas as estimativas de área (em hectares), o desvio padrão (em hectares), o limite inferior e superior e o CV (em porcentagem). Para a avaliação do CV foi adotada a classificação de Pimentel-Gomes (1985), (CV baixo quando menor que 10%; médio, de 10 a 20%; alto, de 20 a 30% e muito alto, maior que 30%).

Foi constatado que quanto maior a área ocupada por uma cultura, menor é o CV correspondente. De forma geral, os CV foram menores para as estimativas totais do que para as estimativas por município.

TABELA 5.14 – Estimativa de área agrícola, por cultura, do município de Guará.

Cultura	Área (ha)	Desvio padrão (ha)	LI ²	LS ³	CV ⁴ (%)
Cana-de-açúcar	15.560	1.658	12.833	18.288	10,7%
Soja	8.379	1.530	5.862	10.895	18,3%
Milho	2.793	1.001	1.146	4.440	35,9%
Sorgo	0	-	-	-	-
Milheto	0	-	-	-	-
Feijão	0	-	-	-	-
Pastagem	1.995	860	581	3.409	43,1%
Sem uso	399	396	< 0	1.051	99,3%
Cana não colhida	1.995	860	581	3.409	43,1%

CV em azul: baixo; CV em verde: médio; CV em rosa: alto; CV em vermelho: muito alto.

TABELA 5.15 – Estimativa de área agrícola, por cultura, do município de Ipuã.

Cultura	Área (ha)	Desvio padrão (ha)	LI	LS	CV (%)
Cana-de-açúcar	20.211	2.001	16.919	23.502	9,9%
Soja	13.474	1.887	10.370	16.577	14,0%
Milho	3.170	1.076	1.400	4.940	33,9%
Sorgo	1.981	864	560	3.403	43,6%
Milheto	1.981	864	560	3.403	43,6%
Feijão	396	394	< 0	1.045	99,5%
Pastagem	4.755	1.289	2.634	6.877	27,1%
Sem uso	0	-	-	-	-
Cana não colhida	1.189	676	76	2301	56,9%

CV em azul: baixo; CV em verde: médio; CV em rosa: alto; CV em vermelho: muito alto.

TABELA 5.16 – Estimativa de área agrícola, por cultura, do município de São Joaquim da Barra.

Cultura	Área (ha)	Desvio padrão (ha)	LI	LS	CV (%)
Cana-de-açúcar	22.211	1.824	19.210	25.212	8,2%
Soja	3.966	1.182	2.021	5.911	29,8%
Milho	1.190	675	79	2.301	56,8%
Sorgo	0	-	-	-	-
Milheto	0	-	-	-	-
Feijão	0	-	-	-	-
Pastagem	5.949	1.402	3.643	8.256	23,6%
Sem uso	0	-	-	-	-
Cana não colhida	3.173	1.071	1.412	4.934	33,7%

CV em azul: baixo; CV em verde: médio; CV em rosa: alto; CV em vermelho: muito alto.

² LI: é o limite inferior para o intervalo de confiança da Distribuição Binomial, considerando $\alpha=0,05$; quando esse limite calculado teve valor negativo, adotou-se a notação menor que zero (< 0).

³ LS: é o limite superior para o intervalo de confiança da Distribuição Binomial, considerando $\alpha=0,05$.

⁴ CV (%): é o coeficiente de variação em valores percentuais.

TABELA 5.17 – Estimativa de área agrícola total (três municípios) por cultura.

Cultura	Área (ha)	Desvio padrão (ha)	LI	LS	CV (%)
Cana-de-açúcar	57.980	3.193	52.728	63.232	5,5%
Soja	25.813	2.776	21.246	30.380	10,8%
Milho	7.148	1.626	4.474	9.823	22,7%
Sorgo	1.986	879	539	3.432	44,3%
Milheto	1.986	879	539	3.432	44,3%
Feijão	397	396	< 0	1.049	99,8%
Pastagem	12.708	2.105	9.246	16.170	16,6%
Sem uso	397	396	< 0	1.049	99,8%
Cana não colhida	6.354	1.539	3.822	8.886	24,2%

CV em azul: baixo; CV em verde: médio; CV em rosa: alto; CV em vermelho: muito alto.

A cana-de-açúcar foi a cultura que apresentou o menor CV em todos os municípios estudados, e é também a cultura que ocupa a maior área desses municípios. O maior CV da cana-de-açúcar foi obtido para Guará (10,7%), seguido de Ipuã (9,9%) e São Joaquim da Barra (8,2%). Em Guará o CV foi médio, e nos dois outros municípios, foi baixo. Na estimativa total, o CV da cana-de-açúcar caiu para 5,5%.

O segundo menor CV foi obtido para a soja, que foi classificado como médio em Guará (18,3%) e Ipuã (14,0%), e como alto em São Joaquim da Barra (29,8%). Para a pastagem, o CV foi muito alto em Guará (43,1%), e foi médio em Ipuã (27,1%) e São Joaquim da Barra (23,6%). Na estimativa total a soja apresentou CV igual a 10,8%, e a pastagem, CV de 16,6%.

Os CV obtidos para as culturas de milho, milheto, sorgo e feijão e para a cana-de-açúcar não colhida foram muito altos em todos os municípios. Na estimativa total para os três municípios, o milho e a cana-de-açúcar não colhida tiveram CV classificados como altos, 22,7% e 24,2%, respectivamente.

Ao comparar os resultados obtidos neste trabalho com os resultados encontrados por Gürtler (2003), que obteve estimativas de área agrícola para os municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, utilizando um painel amostral com pontos agrícolas e não-agrícolas, verifica-se que os CV obtidos neste trabalho foram menores. Ou seja, o uso de painel amostral composto exclusivamente por pontos agrícolas aumenta a precisão das estimativas de área agrícola. Esse é um aspecto importante, pois o uso do

sensoriamento remoto orbital permite que se aprimore o painel amostral ao retirar as áreas não-agrícolas das regiões de interesse.

Na Figura 5.39 pode ser visualizada a participação estimada de cada cultura, por município e total (os três municípios juntos), no ano de 2003. Repara-se que realmente a cana-de-açúcar é a principal cultura em todos os municípios, seguida da soja, pastagem e milho. O sorgo, o milheto e o feijão só foram encontrados em Ipuã e correspondem juntos a pouco mais de 9% do município.

Relacionando a participação estimada de cada cultura na área total com os CV das estimativas de área total conclui-se que CV baixo (5,5%) foi observado para a cultura que possui 50,5% da área total (cana-de-açúcar); CV médio (soja - 10,8% e pastagem - 16,6%) foi obtido para as culturas que representam no mínimo 11,1% da área total; CV alto (milho - 22,7% e cana-de-açúcar não colhida - 24,2%) correspondem às culturas com participação mínima de 5,5% na área total; e CV muito alto (sorgo - 44,3%, milheto - 44,3% e feijão - 99,8%) correspondeu às culturas com no máximo 1,7% da área total.

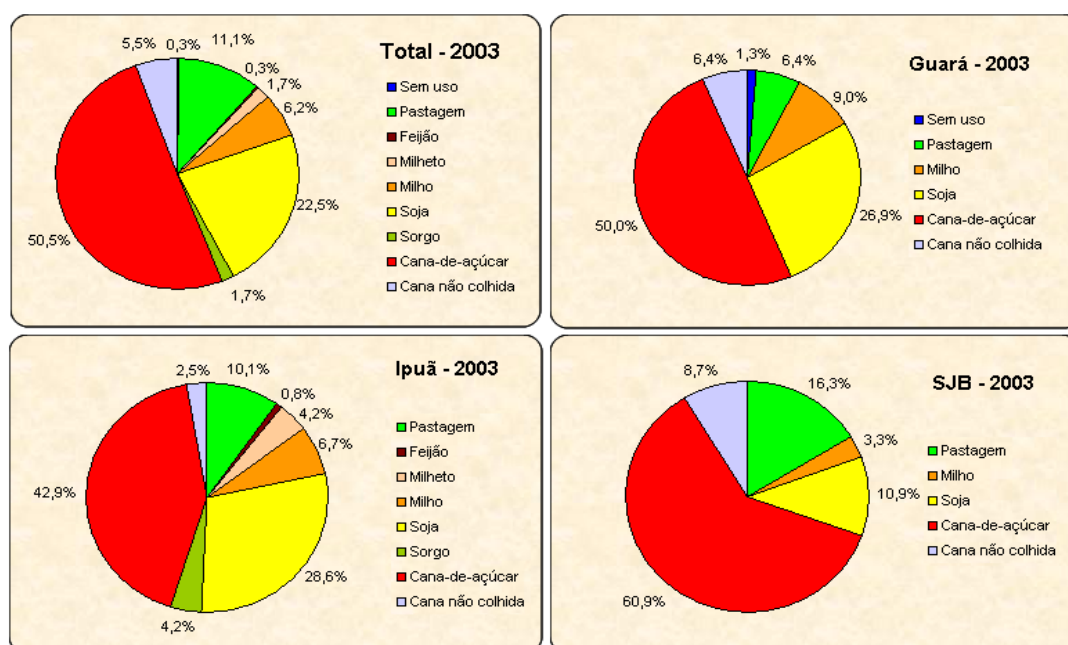


FIGURA 5.39 – Participação estimada de cada cultura e da cana-de-açúcar não colhida, em 2003, total e por município.

As estimativas do IEA/CATI não fornecem nenhuma indicação sobre o erro de seus dados, pois são obtidas de forma não probabilística. Mas, como esses são os dados de área agrícola atualmente disponíveis, é interessante saber o quanto eles divergem dos dados deste trabalho.

Na Tabela 5.18 são apresentadas as estimativas de área agrícola obtidas pelo IEA/CATI, em hectares (IEA, 2004), e a diferença em relação a estimativa obtida neste trabalho, em hectares e em porcentagem. O IEA/CATI não forneceu dados sobre pastagem.

TABELA 5.18 – Diferença entre as estimativas calculadas pelo método proposto e as estimativas do IEA/CATI.

	Total		Guará		Ipuã		São Joaquim da Barra	
	IEA/CATI (ha)	Diferença (%)	IEA/CATI (ha)	Diferença (%)	IEA/CATI (ha)	Diferença (%)	IEA/CATI (ha)	Diferença (%)
Cana-de-açúcar	68.960	-10.980 (-16%)	18.220	-2.660 (-15%)	25.740	-5.530 (-21%)	25.000	-2.789 (-11%)
Soja	24.620	+1.193 (5%)	5.420	+2.959 (55%)	15.200	-1.726 (-11%)	4.000	-34 (-1%)
Milho	7.976	-828 (-10%)	2.626	+167 (6%)	4.500	-1.330 (-30%)	850	+340 (40%)
Sorgo	4.827	-2.841 (-59%)	1.518	-1.518 (-100%)	2.500	-519 (-21%)	809	-809 (-100%)
Milheto	-	-	-	-	-	-	-	-
Feijão	926	-529 (-57%)	-	-	526	-130 (-25%)	400	-400 (-100%)
Sem uso	-	-	-	-	-	-	-	-
Cana-de-açúcar não colhida	8.170	-1.816 (-22%)	3.170	-1.175 (-37%)	1.200	-11 (-1%)	3.800	-627 (-17%)

Considerando a estimativa total, os valores de área que mais se aproximaram nas duas estimativas foram os obtidos para soja, seguida do milho e da cana-de-açúcar. Excluindo a pastagem, na estimativa total obtida com a metodologia proposta, os menores CV foram obtidos para as mesmas culturas, porém em outra ordem, cana-de-açúcar, soja e milho.

Não há como afirmar que as estimativas apresentadas neste trabalho são melhores ou piores do que as estimativas atualmente fornecidas pelos órgãos competentes. No entanto, pode-se afirmar que a metodologia proposta possui uma grande vantagem, que é o conhecimento sobre o erro da estimativa e o fato de poder ser objetivamente auditada.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas algumas conclusões que foram obtidas com o estudo realizado e algumas recomendações para trabalhos futuros.

A análise do comportamento espectro-temporal de alvos agrícolas, embora não tenha possibilitado a separação de todas as culturas, permitiu a divisão dos alvos estudados em grupos. E a estimativa de área agrícola das principais culturas dos municípios de Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra, para o ano civil de 2003, foi obtida de forma objetiva e prática, com o uso de um sistema amostral por pontos, imagens de satélite e aplicativo de geoprocessamento.

A análise multitemporal das imagens de satélite (Landsat) possibilitou o estabelecimento de um padrão de cultivo para os municípios da área de estudo. E com a análise espectro-temporal dos 50 alvos monitorados foi possível separar os alvos em quatro grupos: soja e feijão; cana-de-açúcar, milho e mata; sorgo, milheto, pastagem e palhada; e solo exposto.

A soja e o feijão apresentaram um comportamento bastante distinto das demais culturas, com reflectância bastante elevada na banda 4, e foram diferenciadas, na área de estudo, pelo fato de o feijão ser cultivado em menor escala e sob pivô central, de agosto a outubro, enquanto a soja é cultivada a partir de outubro. A cana-de-açúcar, o milho e a mata apresentaram comportamento bastante semelhante, o que dificultou a sua discriminação baseada exclusivamente na resposta espectral média; no caso da mata ela foi diferenciada pela sua textura rugosa. O sorgo e o milheto, por apresentarem desenvolvimento vegetativo não muito vigoroso, e a pastagem (principalmente na época seca) assemelhou-se à palhada; no entanto, a reflectância da pastagem nas bandas 4 e 5 foi maior do que desses outros três alvos. O solo exposto destacou-se pelos valores próximos de reflectância nas seis bandas.

A extrapolação dos resultados apresentados neste trabalho sobre o comportamento espectro-temporal de culturas agrícolas para outras regiões deve ser feito com cautela. É importante ressaltar que diferentes tipos de solo, clima, regime de chuvas, manejo, entre vários outros fatores, influenciam o comportamento dos alvos. Ou seja, não existe um comportamento definido e estático para cada cultura; o que existe é um comportamento esperado, o qual pode variar com os fatores citados.

A estimativa de área agrícola da cana-de-açúcar e da pastagem, para o município de Ipuã, em agosto de 2003, permitiu a análise dos painéis amostrais. Foi verificado que a dispersão dos dados é menor nos painéis formados exclusivamente com pontos agrícolas. Portanto, o uso de painéis amostrais compostos exclusivamente por pontos agrícolas aumenta a precisão das estimativas.

Com a estimativa de área para a região de estudo (Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra), observou-se que o CV é menor quanto maior for a área ocupada por uma cultura; e que os CV diminuíram quando se consideraram os três municípios juntos (estimativa total), ao invés de cada município separadamente (estimativa por município).

Face aos resultados apresentados, conclui-se que a metodologia empregada para a estimativa de área agrícola foi bastante eficiente para as principais culturas da área de estudo (cana-de-açúcar e soja). E mesmo para as culturas menos expressivas, apesar de os CV encontrados terem sido altos, esta é uma informação relevante, pelo fato de permitir o conhecimento do erro da estimativa. Além disso, o método é plenamente auditável. A metodologia utilizada neste trabalho pode ser uma forma de melhorar a qualidade dos dados de área agrícola, e, assim, munir o país de informações mais precisas sobre esta importante atividade sócio-econômica que é a agricultura.

A seguir são apresentadas algumas recomendações:

Na formação de um painel amostral, após o sorteio dos pontos amostrais, é recomendável que se verifique a existência de pontos muito próximos às divisas de talhões agrícolas. Se essa situação for verificada, tais pontos deverão ser reposicionados, de acordo com um procedimento pré-estabelecido. Desta forma será possível evitar

dúvidas para saber a qual talhão um ponto pertence, o que facilitará a interpretação visual dos pontos amostrais.

Para ganhar tempo na estimativa de áreas agrícolas não é necessário realizar a uniformização de imagens. Esta etapa de pré-processamento não é absolutamente imprescindível visto que, para o processo de classificação por interpretação visual, uma imagem nível 1G com contraste pouco se diferencia da imagem correspondente uniformizada e com contraste.

Seria mais adequado obter uma referência de campo em um mês da época chuvosa, quando há menor quantidade de talhões com palhada e solo exposto, e maior quantidade de talhões com culturas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrobyte. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agrobyte.com.br/cana.htm>>. Acesso em: set. 2003a.

_____. **Sorgo**. Disponível em: <<http://www.agrobyte.com.br/sorgo.htm>>. Acesso em: set. 2003b.

Apan, A.; Potgieter, A. **Using satellite imagery in determining winter crop area planted in support of regional commodity forecasting: a case study of the Darling Downs, Queensland**. Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, and Queensland Centre for Climate Applications, Department for Primary Industries, Toowoomba, Australia, 2002.

Bauer, M.E.; Daughtry, C.S.T. ; Vanderbilt, V.C. **Spectral-agronomic relationships of corn, soybean and wheat canopies**. West Lafayette, Indiana: Purdue University. Laboratory for Applications of Remote Sensing. Technical Report. Sept. 1981a. (LARS TR – 091281 FOLH.).

Bauer, M.E.; Vanderbilt, V.C.; Robinson, B.F.; Daughtry, C.S.T. **Spectral properties of agricultural crops and soils measured from space, aerial, field and laboratory sensors**. West Lafayette, Indiana: Purdue University. Laboratory for Applications of Remote Sensing. Technical Report. Nov. 1981b. (NASA CR – 168617 FOLH.).

Carfagna, E. Remote sensing data in the production of land cover statistics. **Statistics Sweden (Statistiska centralbyran – SCB)**. Disponível em: <www.scb.se/omscb/off_stat/Carfagna.pdf>. Acesso em jan. 2003.

Casselles, V.; López-García, M.J. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 1127-1134, June 1989.

Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura - CEPAGRI. **Zoneamento São Paulo**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/zoneamento/index.html>>. Acesso em: jan. 2003.

Chavez, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 9, p. 459-479, Sept. 1988.

Chen, S.C. **Contribuição de dados de satélite no sistema de previsão de safras**. São José dos Campos: INPE, 1990. 7 p. (INPE-5087-PRE/1595).

Cochran, W.G. **Sampling techniques**. 3. ed. New York: Wiley, 1977. 428p.

Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI). **SERVIÇOS/LUPA**. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br>>. Acesso em: jan. 2003.

Cotter, J.J.; Tomczak, C.M. An image analysis system to develop area sampling frames for agricultural surveys. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 3, p. 299-306, Mar. 1994.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **Cultivo do milho**. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>>. Acesso em: set. 2003b.

_____. **O Brasil visto do espaço**. Disponível em:

<<http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br/sp/index.htm>>. Acesso em: jan. 2003a.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Milho e Sorgo (Embrapa Milho e Sorgo). **Cultivares de milho para 2003/2004**. Disponível em:

<<http://www.cnpms.embrapa.br/cultivares/index.html>>. Acesso em: jan. 2004a.

_____. **Cultivo do milho – manejo de solos**. Disponível em:

<<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/mandireto.htm>>. Acesso em: jan. 2004b.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Solos (Embrapa Solos). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Disponível em: 1999.

<<http://www.cnps.embrapa.br/search/novids/oqvai8/oqvai8.html>>. Acesso: dez. 2003.

Epiphanyo, J.C.N. **Dados TM/Landsat no estudo das culturas de trigo e feijão**. 1988. 180p. Tese (Doutorado em Agronomia). ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 1988.

Epiphanyo, J.C.N.; Formaggio, A.R. **Abordagens de uso de número digital e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélite**. São José dos Campos: INPE, 1989. 7p. (INPE-4837-PRE/1466).

Epiphanyo, J.C.N.; Huete, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun/sensor geometry and its effect on fapar relationships in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 3, p. 351-360, 1995.

Epiphanyo, J.C.N.; Luiz, A.J.B.; Formaggio, A.R. Estimativa de áreas agrícolas municipais, utilizando sistema de amostragem simples sobre imagens de satélite. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 187-197, 2002.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Multiple frame agricultural surveys: current surveys based on area and list sampling methods**. Rome: FAO, 1996. v. 1, 119 p. (FAO Statistical Development Series,7).

_____. **Multiple frame agricultural surveys: agricultural survey programmes based on area frame or dual frame (area and list) sample designs**. Rome: FAO, 1998. v.2, 242 p. (FAO Statistical Development Series, 10).

Formaggio, A.R. **Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão**. 1990. 181p. Tese (Doutorado em Agronomia). ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 1990. (INPE-5061_RPE/621).

Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. **Relações entre parâmetros espectrais e agronômicos das culturas de trigo e feijão**. São José dos Campos: INPE, 1989, 79p. (INPE-4791-RPE/584).

_____. **Características espectrais de culturas e rendimento agrícola**. São José dos Campos: INPE, 1990, 178p. (INPE-5125-RPE/630).

Francisco, V.L.F.S. Dificuldades para a obtenção de informações estatísticas. **Instituto de Economia Agrícola (IEA) – Artigos**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/est-artigo0501.htm>>. Acesso em: fev. 2003.

Furby, S.L.; Campbell, N.A. Calibrating images from different dates to ‘like-value’ digital counts. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, n. 2, p. 186-196, 2001.

Gallego, F.J. **Sampling frames of square segments**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1995. 72 p.

Gilbert, M.A.; Gandía, S.; Meliá, J. Analyses of spectral-biophysical relationships for a corn Canopo. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, n.1, p. 11-20, 1996.

González-Alonso, F.; Soria, S.L.; Gozalo, J.M.C. Comparing two methodologies for crop area estimation in Spain using Landsat TM images and ground-gathered data. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 1, p. 129-35, 1991.

Gürtler, S. **Estimativa de área agrícola a partir de sensoriamento remoto e banco de pixels amostrais**. 2003-03-28. 179p. (INPE-9774_TDI/858). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003 Disponível na biblioteca digital *URLib*: <sid.inpe.br/jeferson/2003/06.02.07.29>. Acesso em: jun. 2003.

Gürtler, S.; Luiz, A.J.B.; Epiphanyo, J.C.N. Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p.109-116. 1 CD-ROM.

Hill, J.; Sturm, B. Radiometric correction of multitemporal thematic mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 7, p. 1471-1491, 1991.

Instituto Agronômico de Campinas (IAC). **Boletim 200**. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. 6. ed., Boletim IAC, Campinas: IAC, 1998. 396p.

Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO). **CIIAGRO ONLINE**: resenha agrometeorológica. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/New/ciiagro/>>. Acesso em: jan. 2004.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **CIDADES**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jan. 2003a.

_____. Sistema IBGE de Recuperação Automática – **SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: fev. 2003b.

_____. Levantamento sistemático da produção agrícola – LSPA - **Manual de instruções**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 26 p.

Instituto de Economia Agrícola – IEA. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/fbcoiea.htm>>. Acesso em: fev. 2003.

_____. **Dados de área plantada**. Disponível em: <caser@iea.sp.gov.br>. Acesso em: 5 jan. 2004.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING 3.6.03** – Tutoriais. São José dos Campos, SP: INPE, 2002.

Ippoliti-Ramilo, G.A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão**. out. 1998. 183p. (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1999.

Ippoliti-Ramilo, G.A.; Epiphanyo, J.C.N.; Shimabukuro, Y.E. **Utilização de sensoriamento remoto na previsão de área a ser plantada com culturas de verão em três municípios do Estado de São Paulo**. 1999. Disponível em: <iris.sid.inpe.br:1908/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.05.10.00/doc/3_1080.pdf>. Acesso em: maio, 2002.

_____. Landsat-5 thematic mapper data for pre-planting crop area evaluation in tropical countries. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n.7, p. 1521-1534, 2003.

Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Pinter, P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmosphere. **Remote Sensing of Environment**, v. 13, n. 3, p. 187-208, 1983.

Joint Research Centre (JRC). **Monitoring agriculture with remote sensing (MARS)**. Disponível em: <<http://mars.jrc.it>> Acesso em: jan. 2003.

Jordan, C.F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**, v. 50, n. 4, 1969, p. 663-666.

Luiz, A.J.B. **Coleta de pontos GPS**. Relatório de trabalho de campo. São José dos Campos: INPE. 2001. 3 p.

_____. **Sensoriamento remoto agrícola**. São José dos Campos: INPE, 2002. 102 p. (INPE-88586-PUD/111).

_____. **Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto**. dez. 2003. (INPE-TDI/). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Luiz, A.J.B.; Epiphanyo, J.C.N. Amostragem por pontos em imagens de sensoriamento remoto para estimativa de área plantada por município. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 111-118. 1 CD-ROM.

Luiz, A.J.B.; Gürtler, S. Aleatorização de pontos no território de um município, usando o Spring, para a estimativa de área agrícola por amostragem. In: Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, 4. Porto Seguro, 2003. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 9-12. 1 CD-ROM.

Luiz, A.J.B.; Gürtler, S.; Gleriani, J.M; Epiphanyo, J.C.N.; Campos, R.C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2071-2078. 1 CD-ROM.

Luiz, A.J.B.; Oliveira, J.C.; Epiphanyo, J.C.N.; Formaggio, A.R. Auxílio das imagens de satélite aos levantamentos por amostragem em agricultura. **Agricultura em São Paulo**, v. 49, n. 1, p. 1-125, 2002.

Markham, B.L.; Barker, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. **EOSAT Technical Notes**, v. 1, p. 3-8, 1986.

Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. New York: John Wiley & Sons, 1999, 292p.

Mendonça F.J.; Lee, D.C.L.; Tardin, A.T.; Shimabukuro, Y.E.; Chen, S.C.; Lucht, L.A.M.; Moreira, M.A.; Lima, A.M.; Maia, F.C.S. **Levantamento da área canavieira do Estado de São Paulo, utilizando dados do Landsat ano safra 1979/80 volume I**. São José dos Campos: INPE, 1981, 23p. (INPE-2021-RPE/288).

Moreira, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

Moreira, M.A.; Nitzche, R.P. **Análise de índices de vegetação obtidos de dados do Landsat/TM e do Spot/XS**. São José dos Campos: INPE, 1991, 12p. (INPE-5327-PRE/1725).

Native. **Sistema de produção**. Disponível em:

<http://www.nativealimentos.com.br/portuguese/cana_verde/renovacao.html>. – Acesso em: set. 2003.

O Estado de São Paulo (OESP). **Região de Orlandia planta milho safrinha**. maio, 1999. Disponível em:

<<http://www.estado.estadao.com.br/jornal/suplem/agri/99/05/26/agri006.html>>. Acesso em: jul. 2003.

Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. Escala 1:500.000. A legenda expandida encontra-se em separado na publicação de mesmo nome (ISBN 85-85864-05-2).

Oliveira, J.C. **Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura**. 2002-29-04. 160p. (INPE-9554-TDI/830). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Deposited in the URLib collection., São José dos Campos. 2002.

Oliveira, J.C.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. Index for the evaluation of segmentation (iavas): an application to agriculture. **Mapping Science and Remote Sensing**, v. 40, n. 3, p. 155-169, 2003.

Ortiz, M.J.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS, and historical database. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 1, p. 95-105, 1997.

Pax-Lenney M.; Woodcock, C.E. Monitoring agricultural lands in Egypt with multitemporal Landsat TM imagery: how many images are needed? **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 552-529, 1997.

Pessôa, A. Ministério das Relações Exteriores (MRE). **O Brasil em foco - Agricultura**. Disponível em:

<<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/economia/agric/apresent/index.htm>>. Acesso em: jan. 2003a.

_____. **O Brasil em foco - Cana-de-açúcar**. Disponível em:

<<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/economia/agric/producao/cana/index.htm>>. Acesso em: jan. 2003b.

Pimentel-Gomes, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo, ESALQ. 1985. 467p.

Pino, F.A. Estatísticas agrícolas para o século XXI. **Agricultura em São Paulo**, v. 46, n. 2, p. 71-105, 1999.

Prado, H. **Os solos do Estado de São Paulo: mapas pedológicos**. Piracicaba: H do Prado. 1997. 205p.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Symposium of Significant Results Obtained with ERTS-1, 3., 1973. Greenbelt, Maryland. **Proceedings...** Washington: NASA SP-351, 1973. p. 309-317.

Rudorff, B.F.T.; Batista, G.T. **Resposta espectral do trigo e sua relação com parâmetros agronômicos**. São José dos Campos: INPE, 1989, 72p. (INPE-4950-RPE/599).

Rudorff, B.F.T.; Batista, G.T.; Assad, E.D.; Stoner, E.; Moreira, L.; Itamar, P.; Macedo, J. **Relatório da campanha de medidas radiométricas da soja no Distrito Federal – safra 88/89**. São José dos Campos: INPE, 1990, 94p. (INPE-5021-RPE/615).

Ruralnews. **Agricultura – Grãos e Cereais – Milho**. maio, 2000. Disponível em: <<http://www.ruralnews.com.br/agricultura/graos/milho.htm>> Acesso em: ago. 2003.

_____. **Agricultura – Grãos e Cereais – Soja**. abr. 2001. Disponível em: <<http://www.ruralnews.com.br/agricultura/graos/soja.htm>> Acesso em: ago. 2003.

_____. **Agricultura – Grãos e Cereais – Sorgo**. nov. 2002. Disponível em: <<http://www.ruralnews.com.br/agricultura/graos/sorgo.htm>> Acesso em: ago. 2003.

Schowengerdt, R.A. **Remote sensing models and methods for image processing**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 1997. 522p.

Secretaria de Recursos Hídricos Saneamento e Obras (SRHSO). Disponível em: <<http://www.recursohidricos.sp.gov.br/BReg8.htm>>. Acesso em: ago. 2003.

Silva, P.G.; Graça, P.M.A.; Santos, J.R.; Shimabukuro, Y.E. Avaliação da correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2135-2142. 1 CD ROM.

Song, C.; Woodcock, C.E.; Seto, K.C; Pax-Lenney, M.; Macomber, S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, p. 230-244, 2001.

Tardin, A.T.; Assunção, G.V.de; Soares, J.V. **Análise preliminar de imagens TM visando à discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas-MG.** São José dos Campos: INPE, 1990, 17p. (INPE-5066-RPE/622).

Thenkabail, P.S.; Smith, R.B.; Pauw, E. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, n. 2, p. 158-182, 2000.

Tsiligirides, T.A. Remote sensing as a tool for agricultural statistics: a case study of area frame sampling methodology in Hellas. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 45-77, Jan. 1998.

United States Department of Agriculture – National Agriculture Statistics Service - USDA-NASS. **History of remote sensing for crop acreage in USDA's National Agricultural Statistics Service.** Disponível em: <www.usda.gov/nass/nassinfo/remothistory.htm>. Acesso em: jan. 2003.

Valeriano, M.M.; Picini, A.G. Uso de sistema de informação geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 255-262, 2000.

Zoneamento. **Aptidão ecológica da cultura do sorgo granífero.** Disponível em: <<http://200.136.175.11/zoneamento/sorgo.htm>>. Acesso em: set. 2003.

APÊNDICE A

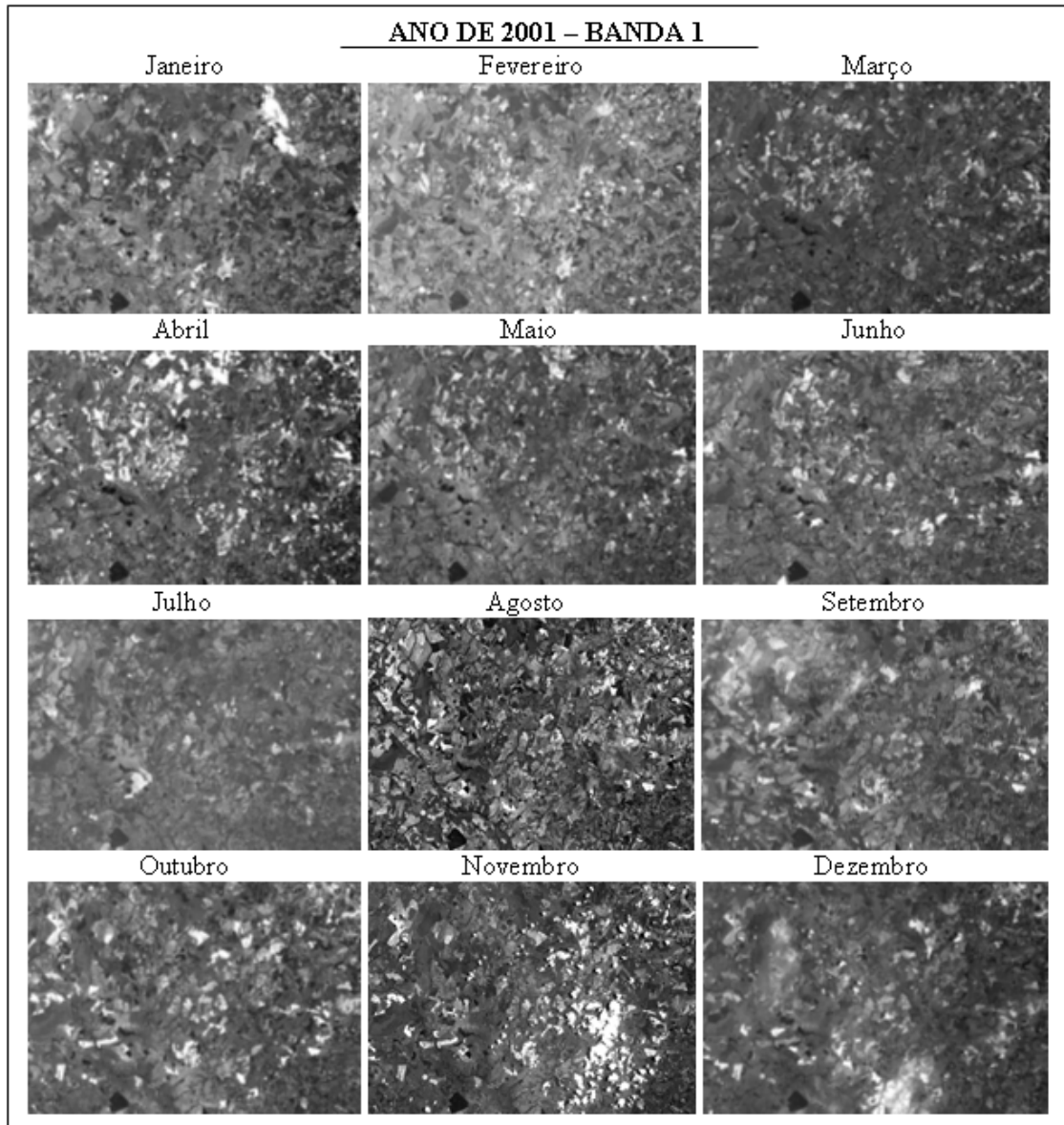


FIGURA A.1 – Calendário das bandas 1 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

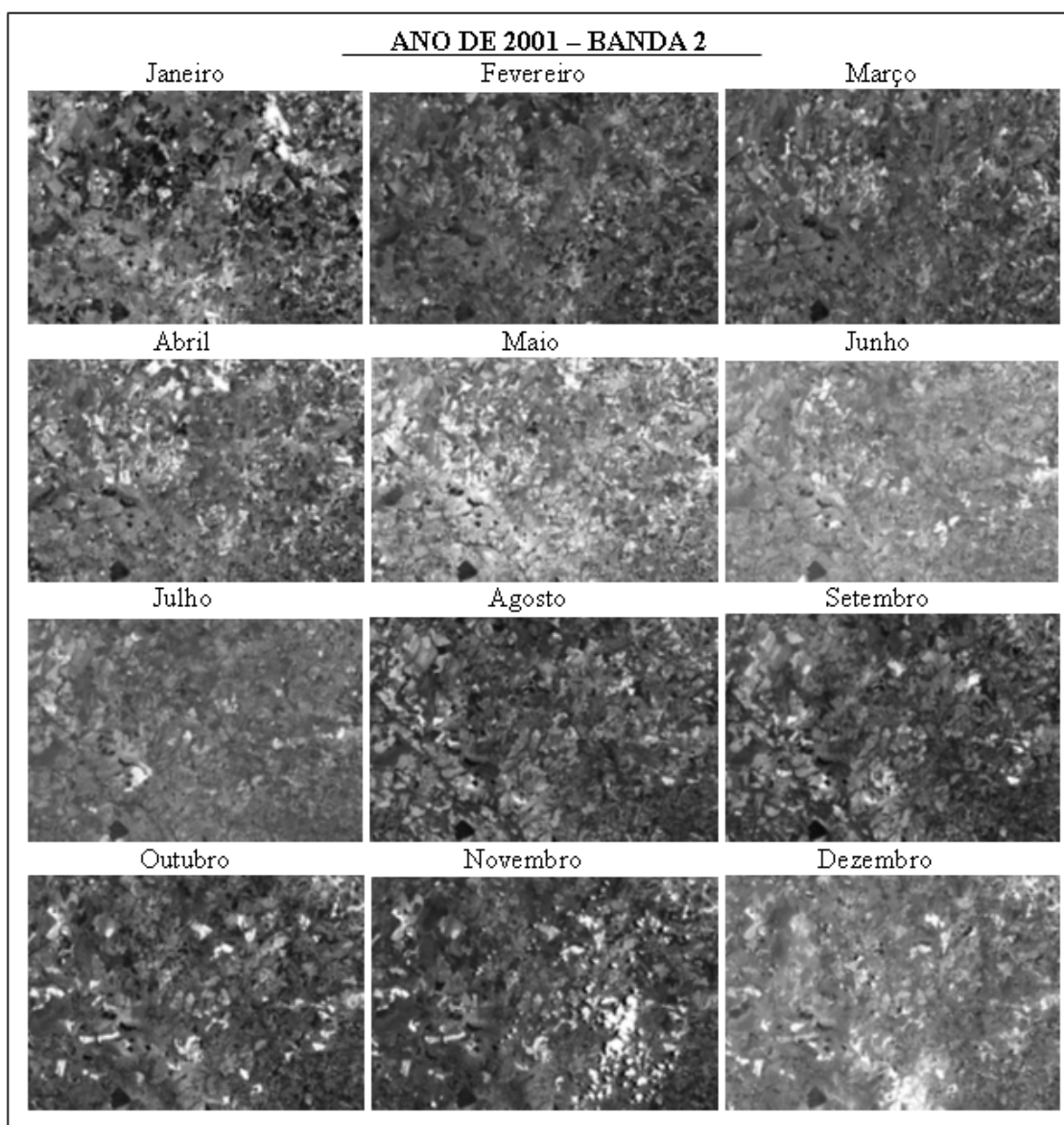


FIGURA A.2 – Calendário das bandas 2 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

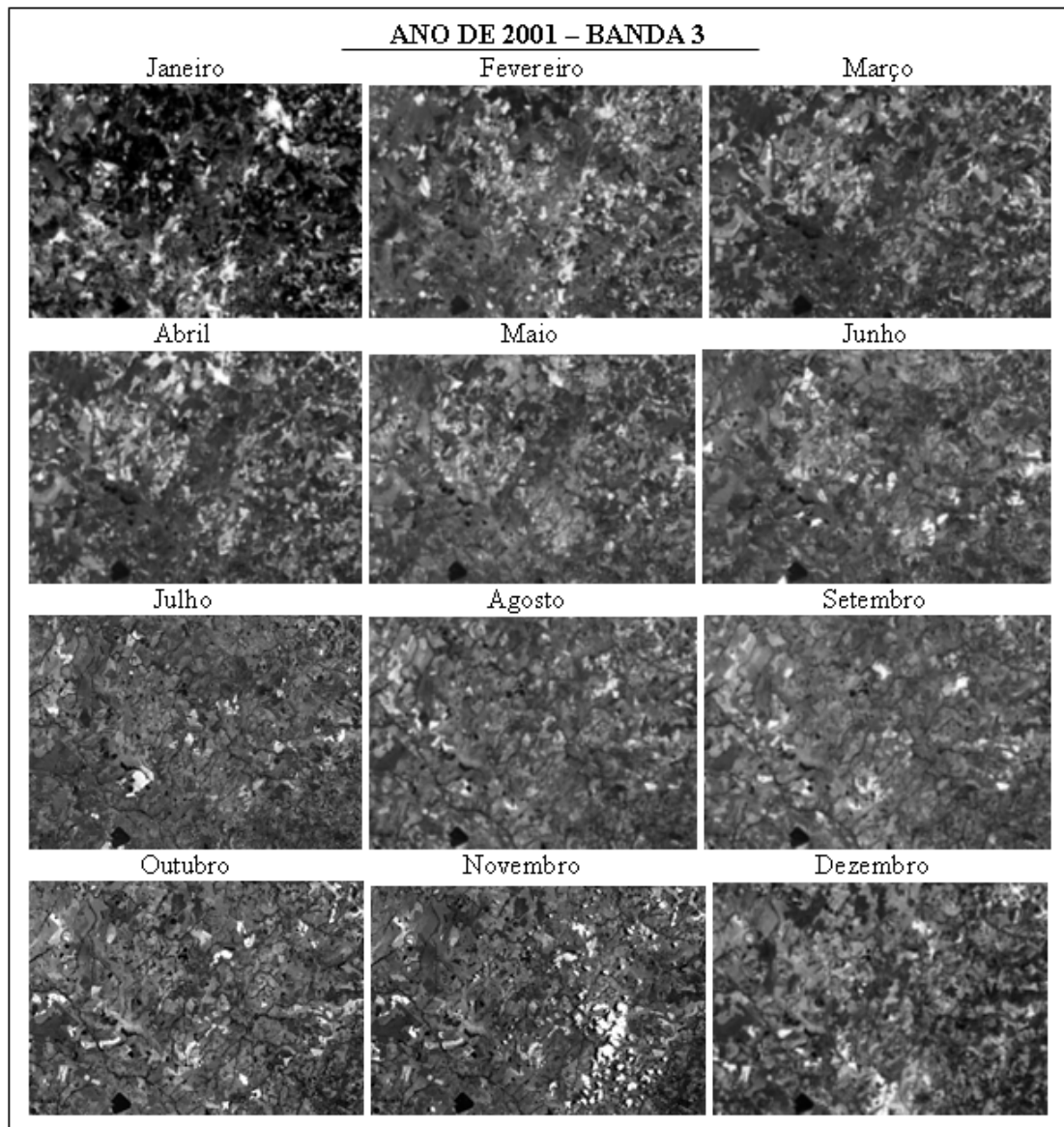


FIGURA A.3 – Calendário das bandas 3 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

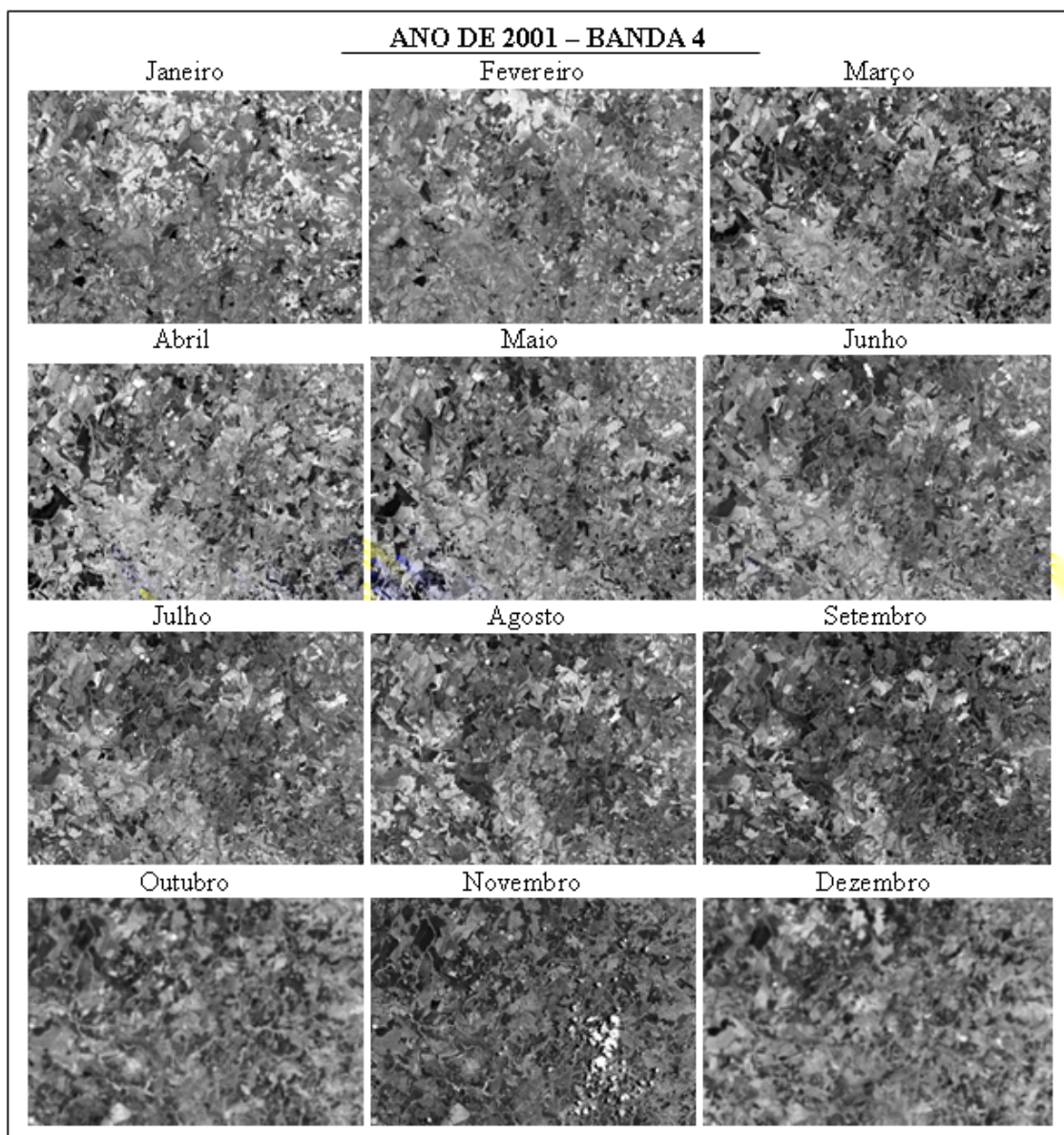


FIGURA A.4 – Calendário das bandas 4 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

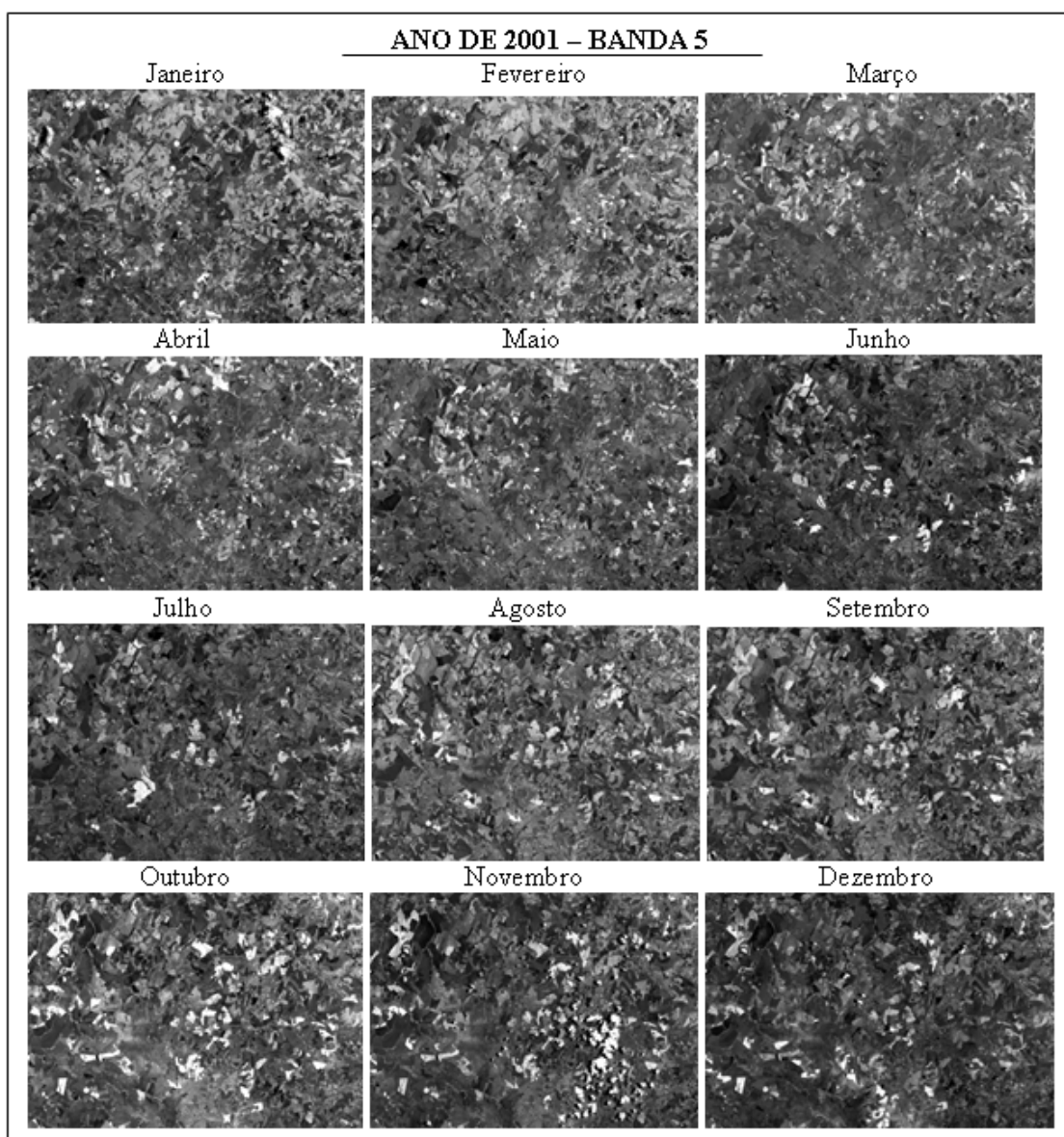


FIGURA A.5 – Calendário das bandas 5 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

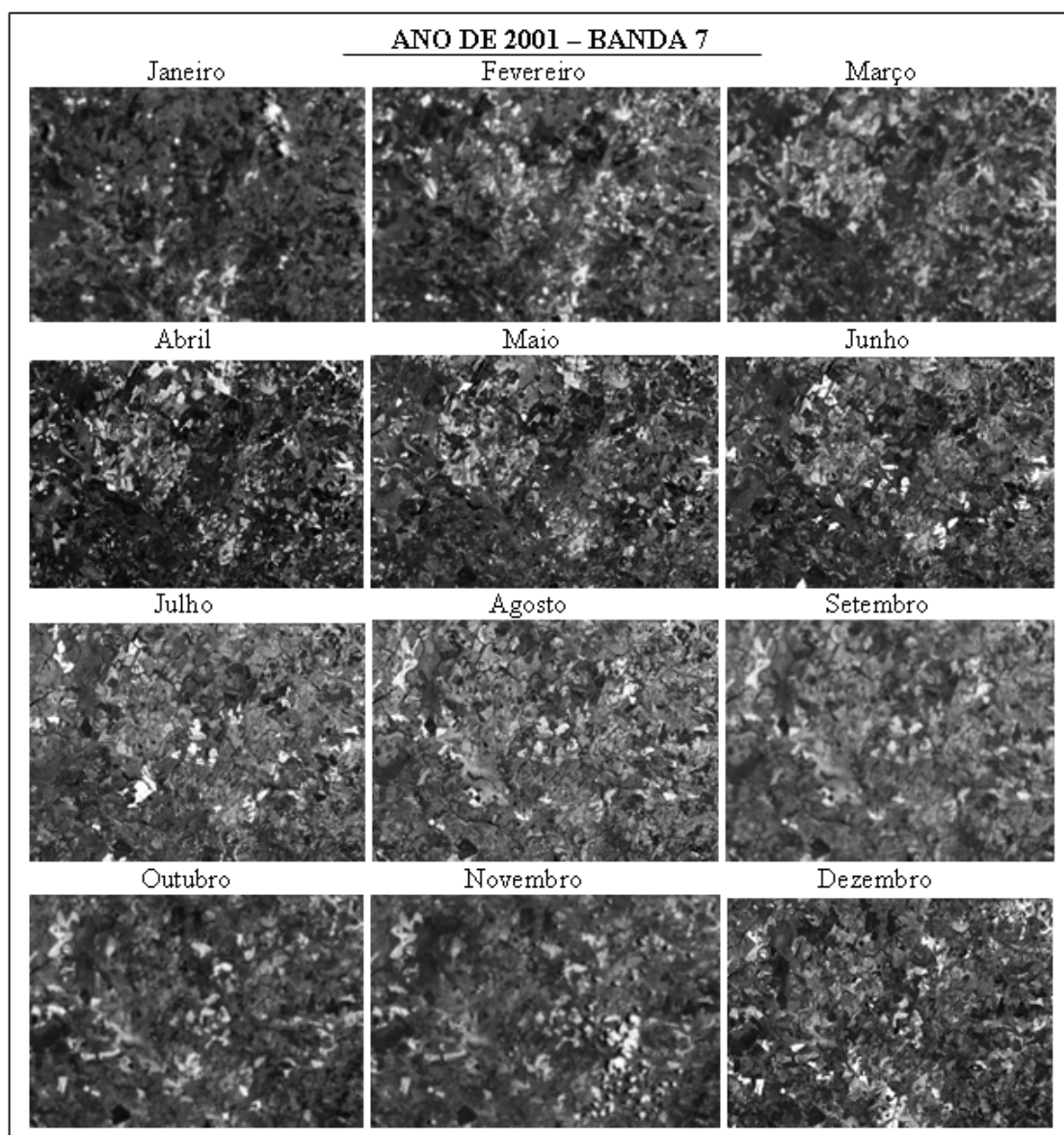


FIGURA A.6 – Calendário das bandas 7 de recortes de imagens uniformizadas e com contraste do ano de 2001. Escala dos recortes de imagens de 1:350.000.

APÊNDICE B

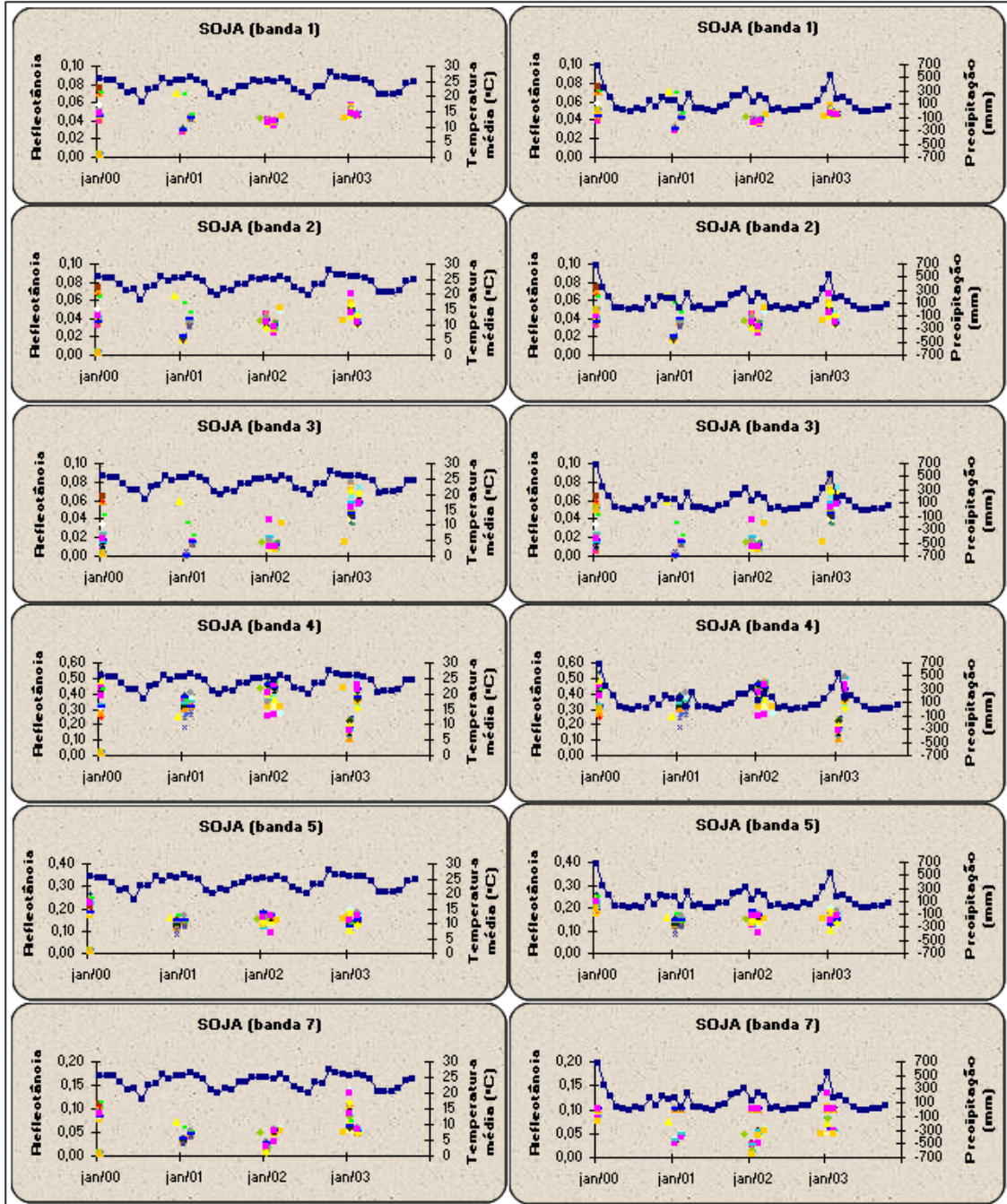


FIGURA B.1– Comportamento espectral da soja em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.

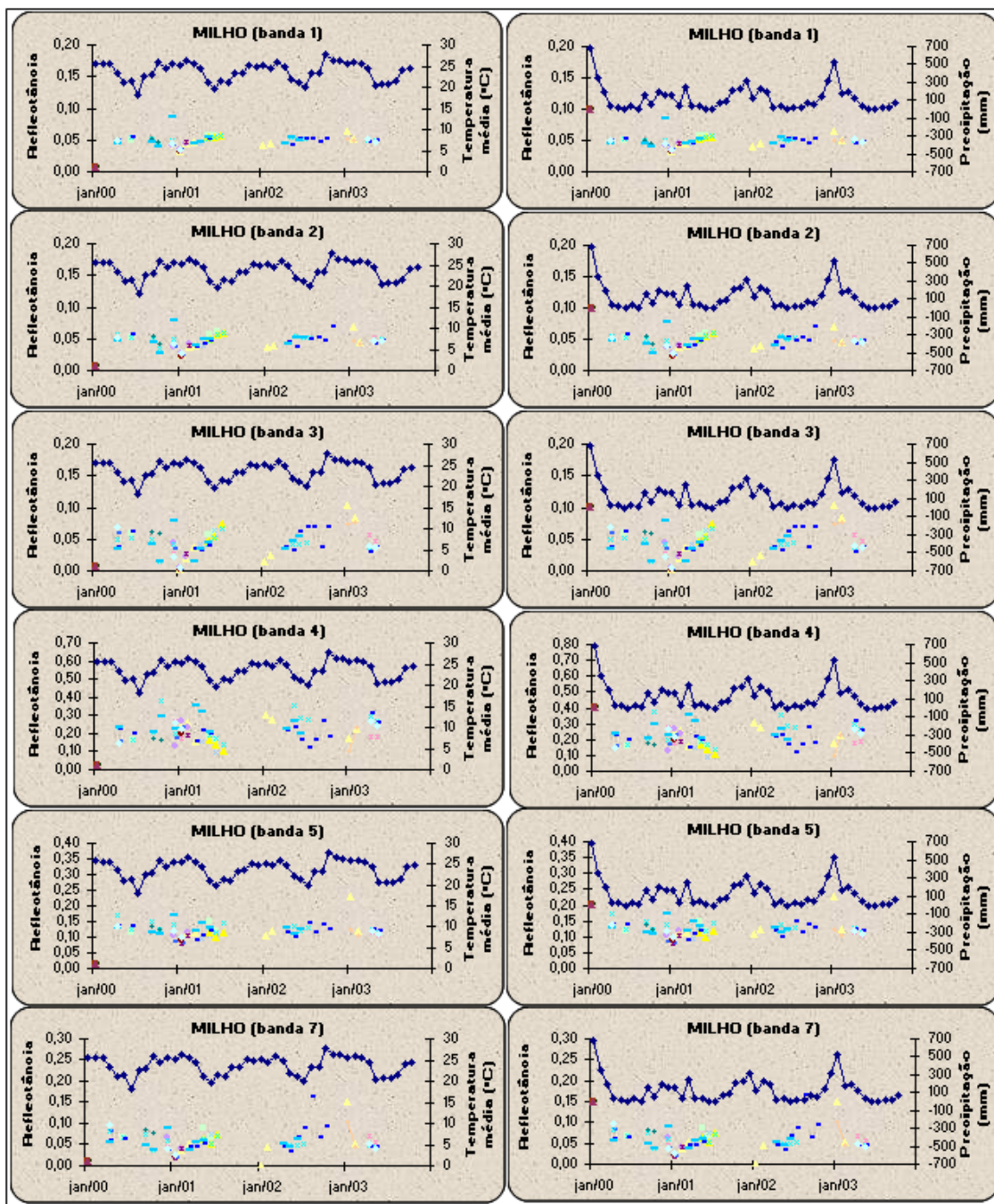


FIGURA B.2 – Comportamento espectral do milho em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.

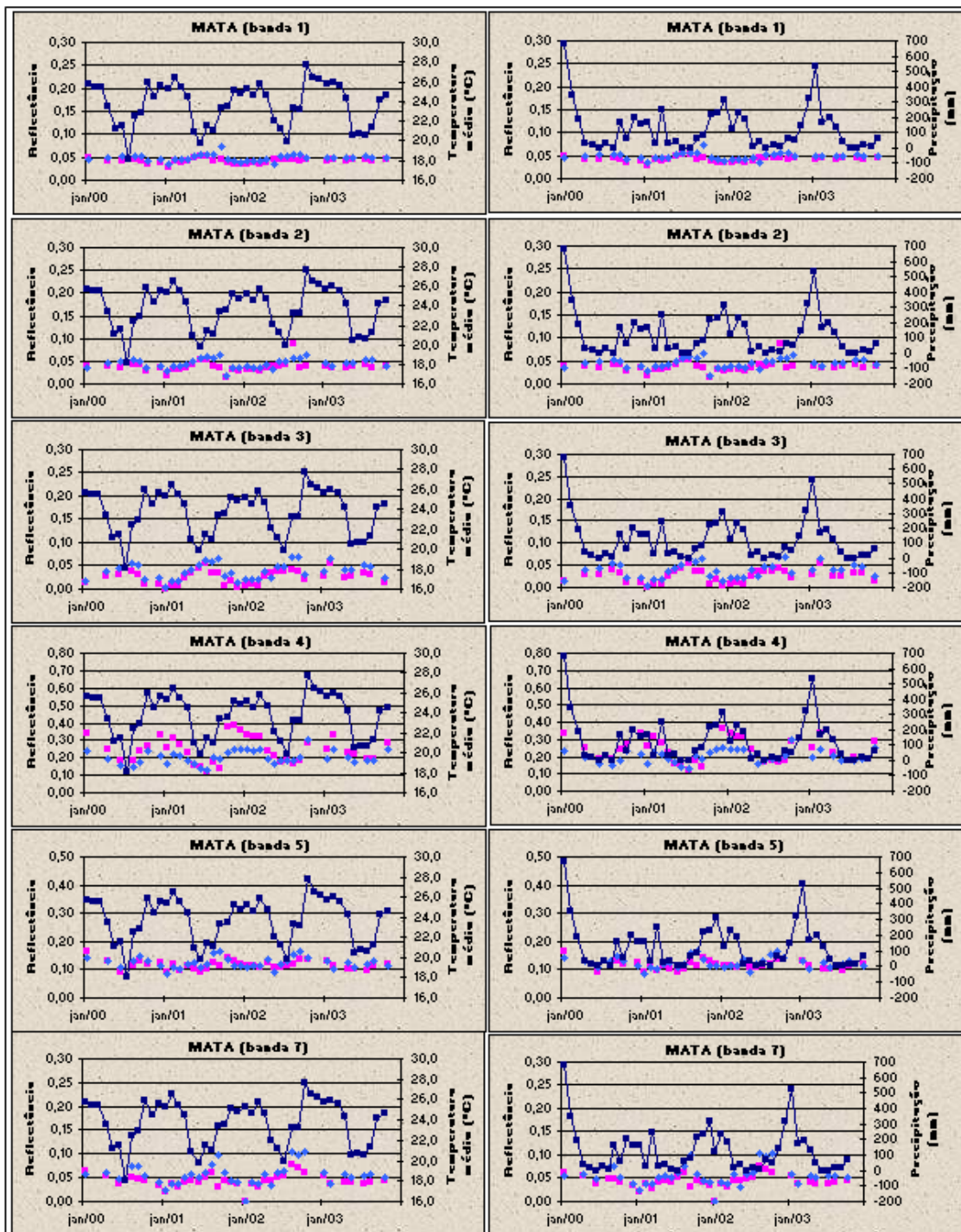


FIGURA B.3 – Comportamento espectral da mata em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.

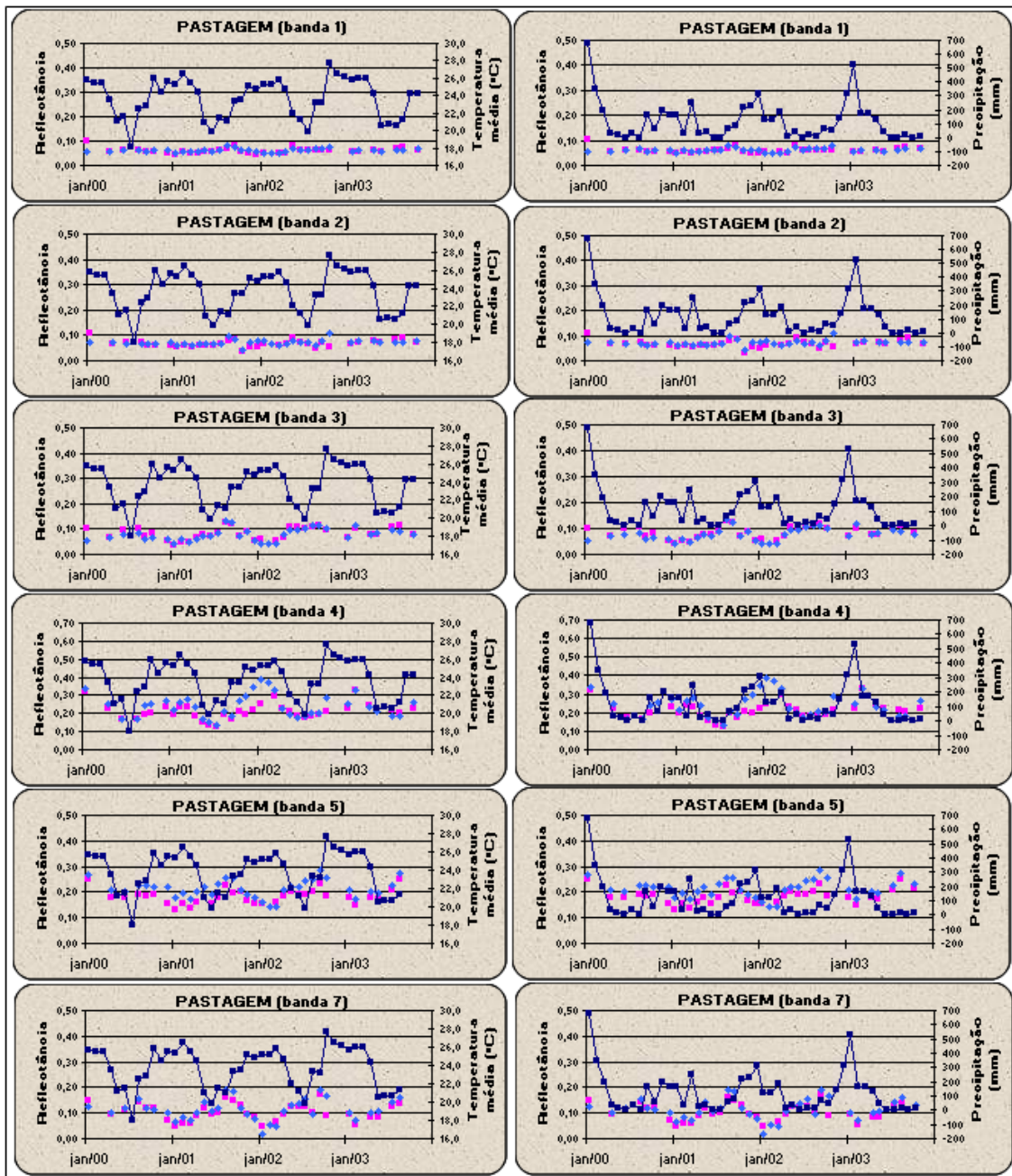


FIGURA B.4 – Comportamento espectral da pastagem em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.

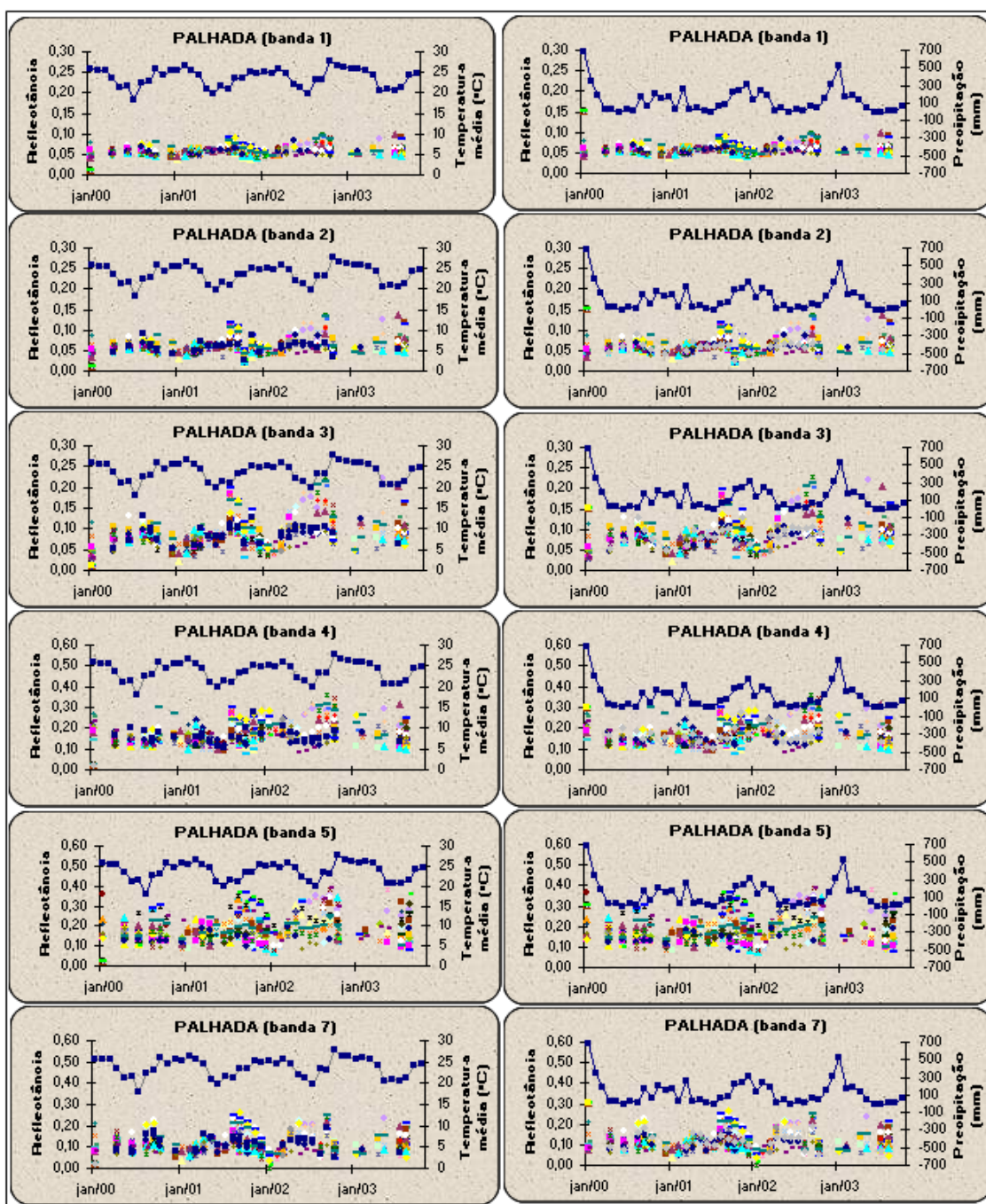


FIGURA B.5 – Comportamento espectral da palhada em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.

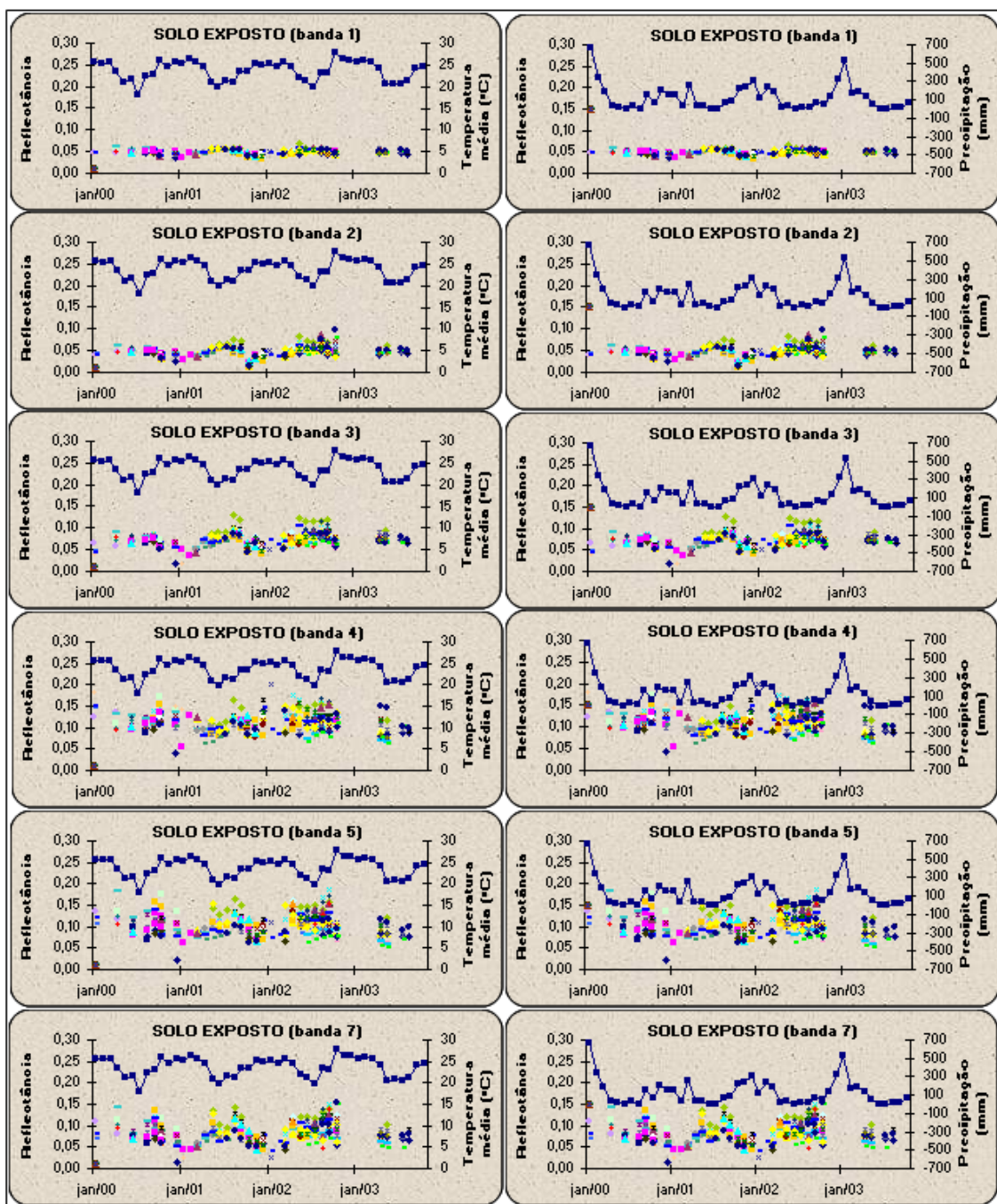


FIGURA B.6 – Comportamento espectral do solo exposto em seis bandas Landsat versus temperatura média e precipitação (pontos conectados) de 2000 a 2003. Os valores de reflectância representados por cores distintas (pontos não-conectados) referem-se a diferentes talhões da cultura.