



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-15151-TDI/1283

**SENSORIAMENTO REMOTO E SIG NA ANÁLISE DA
COTONICULTURA NOS MUNICÍPIOS DE CAMPO VERDE E
PRIMAVERA DO LESTE - MT**

Javier Esteban Portillo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, aprovada em 19 de abril de 2007.

INPE
São José dos Campos
2008

Publicado por:

esta página é responsabilidade do SID

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**Solicita-se intercâmbio
We ask for exchange**

Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-15151-TDI/1283

**SENSORIAMENTO REMOTO E SIG NA ANÁLISE DA
COTONICULTURA NOS MUNICÍPIOS DE CAMPO VERDE E
PRIMAVERA DO LESTE - MT**

Javier Esteban Portillo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, aprovada em 19 de abril de 2007.

INPE
São José dos Campos
2008

528.711.7 (817.2)

Portillo, J. E.

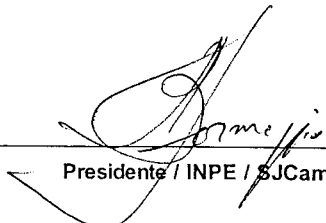
Sensoriamento remoto e SIG na análise da cotonicultura nos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste - MT / Javier Esteban Portillo. - São José dos Campos: INPE, 2007.

131 p. ; (INPE-15151-TDI/1283)

1. Algodão. 2. Sensoriamento remoto.
3. Análise espectral. 4. Análise multitemporal. 5. Código Florestal Brasileiro. I. Título.

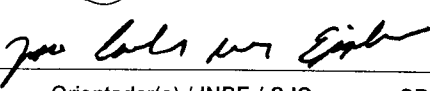
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

Dr. Antonio Roberto Formaggio



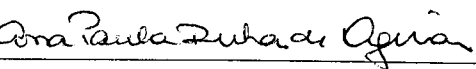
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. José Carlos Neves Epiphânio



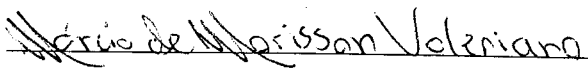
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Ana Paula Dutra de Aguiar




Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Márcio de Morisson Valeriano



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Mário Valério Filho



Convidado(a) / UNIVAP / SJC Campos - SP

Aluno (a): Javier Esteban Portillo

São José dos Campos, 19 de Abril de 2007

"A sabedoria não nos é dada. É preciso descobri-la por nós mesmos, depois de uma viagem que ninguém nos pode poupar ou fazer por nós".

Marcel Proust

Dedico a meus pais,
ALBERTO e CONCEPCIÓN.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo auxílio financeiro.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, pelo conhecimento passado e principalmente pela paciência e amizade demonstrada durante esses meses.

Aos Doutores Camilo Rennó, Flávio Ponzoni e Márcio Valeriano pelas sugestões e conhecimentos transmitidos.

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

Aos integrantes da ***Republica do Açaí*** (Daniel, Enner, Fábio, Ive, Tercília e Wagner) e sala ***Sigma*** (Carol, Flávio, Polyana, Rui e Sheila) pela amizade e bons momentos compartilhados.

Agradeço a meus pais, irmãos e amigos pelo apoio e compreensão durante estes dois anos longe de casa.

RESUMO

O algodão é a principal fibra têxtil utilizada no mundo, representando 50% do total das fibras consumidas. No Brasil, na segunda metade dos anos 90, foi iniciado um processo de transferência da produção de algodão para a região do Cerrado a partir da adoção de um novo sistema de produção. Em face disto, é necessário contar com informações confiáveis que permitam analisar a evolução da cotonicultura nesta região. Partindo da hipótese de que os dados de sensoriamento remoto, aliados com SIG, permitem identificar e mapear a cultura do algodão, este trabalho teve como objetivo geral desenvolver uma metodologia que permitisse analisar a evolução espaço-temporal da cotonicultura nos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste. Os objetivos específicos foram analisar o comportamento espectro-temporal das principais culturas agrícolas de inverno, definir a dinâmica do uso do solo no período de 1985 a 2006 e implementar uma técnica de sensoriamento remoto e SIG para avaliar a adequação da agricultura em relação ao Código Florestal Brasileiro. Na etapa de análise espectro-temporal foram utilizados dados orbitais e de laboratório. Duas escalas temporais foram consideradas: uma sazonal, onde se testaram diferentes técnicas com o intuito de escolher a que melhor discriminasse o algodão de outros usos de solo, e uma interanual, onde foi analisada a dinâmica temporal das classes algodão, mata e cerrado. Com base em dados da Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), foram demarcadas as áreas de preservação permanente e calculada a transgressão ao Código Florestal Brasileiro. A análise espectro-temporal do algodão e das culturas de inverno forneceu importantes informações que permitiram definir as principais confusões espectrais entre as culturas de interesse, assim como os períodos ótimos para sua identificação. Todas as técnicas de análise multitemporal-sazonal testadas apresentaram uma exatidão global estatisticamente similar. A classificação da imagem do mês de abril foi identificada como o método mais simples e de exatidão equivalente às demais. A análise multitemporal interanual permitiu modelar a dinâmica do algodão no período 1996-2006. Finalmente, a utilização de dados de sensoriamento remoto num ambiente SIG permitiu avaliar a adequação da agricultura com relação ao Código Florestal Brasileiro. Foi comprovado que o algodão não é uma cultura de importância em relação à transgressão ao Código nos anos analisados e que as áreas de transgressão devidas ao algodão representam uma porcentagem mínima do total cultivado com esta cultura.

REMOTE SENSING AND GIS FOR COTTON CROP ANALYSIS IN CAMPO VERDE AND PRIMAVERA DO LESTE – MATO GROSSO STATE, BRAZIL

ABSTRACT

Cotton represents 50% of textil fiber used around the world. In the second half of the 90's a new system production allowed the cotton transfer to Cerrado region. In this regard, it is necessary to count on reliable information that allows to analyze the cotton crop in this region. In this context, the hypothesis of this work was that remote sensing data and GIS allow the identification and mapping of cotton crop. The main objective of this research is to develop a methodology to analyze the cotton space-temporal evolution in Campo Verde and Primavera do Leste. Other objectives were: to analyze the multitemporal spectral behavior of the main winter crops, to define the land use changes 1985 to 2006 and to develop a technique based on remote sensing and GIS to evaluate the agriculture violation of the Brazilian Forest Code. We use orbital and laboratory data to analyze the multitemporal spectral behavior. Two temporal scales were considered: season and multiyear. In the season scale we tested some techniques to differentiate cotton from other crops. For the multiyear scale it was defined cotton, forest and cerrado and their multitemporal dynamic. We used *Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)* data to outline the limits of the permanent preservation areas and calculate the violation to the Brazilian Forest Code. The spectrottemporal analysis of cotton and winter cultures supplied important information to define the main spectral confusions between crops and the better periods for their identification. The global accuracy for the five sazonal techniques tested were statistically similar. In this way we selected the technique of classification of the April image as the better because it was the easiest of among the five. In the multiyear approach we could model the cotton evolution during 1985-2006 period timeframe. Remote sensing data analysis in a GIS environment allowed to evaluate the agriculture infraction of the Brazilian Forest Code. We detected that cotton crop occupied few permanent preservation areas in the period considered. Finally, the cotton areas that were against the Brazilian Forest Code represented a minimum fraction of the total cotton cultivated.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	19
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivo geral	23
1.2 Objetivos específicos	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
2.1 Sistemas sensores	25
2.1.1 Sensor Thematic Mapper	25
2.1.2 Dados Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)	25
2.2 Registro	25
2.3 Normalização radiométrica	26
2.4 Análise espectro-temporal	27
2.5 Análise multitemporal	28
2.6 Adequação de áreas agrícolas ao Código Florestal Brasileiro	32
3 ÁREA DE ESTUDO	35
3.1 Descrição geral	35
3.2 Descrição agrônômica das principais culturas invernais	39
3.2.1 Algodão	39
3.2.2 Milho safrinha	41
3.2.3 Sorgo safrinha	42
3.2.4 Milheto	42
3.3 Calendário agrícola	43
4 MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1 Materiais	45
4.1.1 Dados de sensoriamento remoto e cartográficos	45
4.1.2 Softwares	45
4.1.3 Equipamento	45
4.2 Metodologia	45
4.2.2 Registro	47
4.2.3 Normalização	47
4.2.4 Trabalho de campo	48
4.2.5 Análise espectro-temporal a partir de dados orbitais	49
4.2.7 Análise multitemporal	50
4.2.8 Análise de adequação da agricultura ao Código Florestal Brasileiro	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1 Trabalho de campo	59
5.2 Normalização	60
5.3 Análise espectro-temporal a partir de dados orbitais	61
5.4 Análise espectral em laboratório	69
5.5 Análise multitemporal	71
5.5.1 Análise multitemporal-sazonal	71
5.5.2 Análise multitemporal interanual	81
5.6 Análise de adequação da agricultura ao Código Florestal Brasileiro	91
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
Apêndice A	107
Apêndice B	109
Apêndice C	111
Apêndice D	113
Apêndice E	115
Apêndice F	117
Apêndice G	119
Apêndice H	123
Apêndice I	125
Apêndice J	127
Apêndice K	129
Apêndice L	131

LISTA DE FIGURAS

3.1	Localização da área de estudo no Estado de Mato Grosso.....	35
3.2	Carta imagem da área de estudo	36
3.3	Evolução da superfície cultivada com algodão nos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste no período 1990-2006	39
3.4	Fotos da cultura do algodão.....	41
3.5	Fotos de culturas de inverno.....	43
4.1	Fluxograma metodológico.....	45
4.2	Diagrama de fluxo da análise pós-classificação para a classe Cerrado.....	50
4.3	Fluxograma da análise discriminante	52
4.4	Fluxograma de refinamento do modelo digital de elevação.....	54
4.5	Fluxograma de identificação das áreas de transgressão ao CFB	56
5.1	Curvas espectrais	60
5.2	Valores de NDVI para as principais culturas de inverno, mata e cerrado para o ano de 2006	61
5.3	Análise espectral comparativa para as principais culturas de inverno, mata e cerrado para o ano 2006	63
5.4	Curvas espectrais de algodão e feijão irrigado	64
5.5	Curvas espectrais do algodão no período de pré a pós-colheita.....	66
5.6	Funções de regressão entre as variáveis “diferença de reflectância entre o algodão e o solo” e “perda de algodão” para duas bandas.....	67
5.7	Curvas espectrais para matéria seca, algodão branco e algodão com matéria seca...68	
5.8	Curvas diferença para os componentes algodão e matéria seca	69
5.9	Curva porcentual das sete classes obtidas para algodão e milho.....	71
5.10	Curva do coeficiente kappa segundo o número de variáveis consideradas	76
5.11	Curvas do coeficiente kappa condicional para as classes algodão e mata.....	77
5.12	Evolução da superfície cultivada para algodão, mata e cerrado.....	81
5.13	Evolução da superfície cultivada e preço do algodão (1992-2006).....	82
5.14	Evolução da superfície cultivada com algodão para Campo Verde	84
5.15	Evolução da superfície cultivada com algodão para Primavera do Leste	84
5.16	Evolução da classe mata no período 1985-2006	86
5.17	Evolução da classe Cerrado no período 1985-2006	87
5.18	Evolução da taxa de desmatamento no período 1985-2006	88
5.19	Evolução da taxa de desmatamento relativa no período 1985-2006	89
5.20	Porcentagem das classes de relevo para os dois municípios	90
5.21	Áreas de preservação permanente categorizadas segundo confiabilidade	91
5.22	Incremento da superfície de transgressão ao CFB.....	92
5.23	Transgressão ao CFB segundo confiabilidade para Campo Verde	93
5.24	Transgressão ao CFB segundo confiabilidade para Primavera do Leste.....	93

LISTA DE TABELAS

2.1 Largura mínima das Áreas de Preservação Permanente (APP) segundo a largura dos rios.....	34
3.1 Superfície e população dos municípios da área de estudo	37
3.2 Total de área cultivada por tipo de cultura	38
3.3 Estatísticas municipais, regionais e nacionais para a cultura do algodão	39
3.4 Ciclo agrícola das principais culturas de inverno	43
5.1 Valores de exatidão para as imagens do ano 2006 - 1 ^a iteração	73
5.2 Valores de exatidão para as imagens do ano 2006 - 2 ^a iteração	73
5.3 Valores de exatidão para as imagens do ano 2006 - 3 ^a iteração	74
5.4 Exatidão Global (EG) e coeficiente Kappa (CK) para as diferentes técnicas	78
5.5 Comparação estatística de técnicas (valor Z)	79
5.6 Imagens satelitais utilizadas na análise multitemporal interanual	80
5.7 Comparação entre os dados de superfície obtidos pelo IBGE e por mapeamento ...	81

1 INTRODUÇÃO

O algodão é a principal fibra têxtil utilizada no mundo, representando 50% do total consumido. Além da fibra, as sementes são empregadas em rações animais, fertilizantes e produtos industrializados derivados. Entre os principais países produtores desta fibra estão China, Estados Unidos, Ex União Soviética, Índia e Brasil (MARTINEZ ORTEGA, 2001).

Ao analisar a história do algodão no Brasil, Corrêa e Couto (2001) consideram duas fases. Na primeira, o cultivo do algodão foi direcionado ao atendimento da demanda britânica em um momento em que os Estados Unidos enfrentavam uma guerra civil. Na segunda fase, o algodão passa a ser produzido como matéria-prima para as primeiras indústrias têxteis surgidas na região paulistana.

Na década de 30, com a crise cafeeira, o algodão passou a ser a principal alternativa para a agricultura no Estado de São Paulo. Deste modo, na década de 40, o Brasil figurava ao lado das grandes nações manufatureiras dessa fibra (NOGUEIRA E BARBOSA, 2005). A partir de meados dos anos 80 até meados dos 90 a produção de algodão no país caiu fortemente, sendo necessário importar esta fibra (CORRÊA E COUTO, 2001).

Na segunda metade dos anos 90 iniciou-se um processo de transferência da produção de algodão para o Cerrado a partir da adoção de um novo sistema de produção, como resultado do apoio institucional e da implementação de programas de incentivo a esta cultura. Este processo constituiu o que Nogueira e Barbosa (2005) chamam de reconquista da competitividade do algodão brasileiro.

Segundo Takizawa e Guerra (1998, citado por Nogueira e Barbosa, 2005) entre as características mais importantes da região do Cerrado que permitiram o estabelecimento da cultura do algodão podem-se citar as extensas áreas de topografia plana que facilitaram a mecanização da cultura, e o clima propício, com ausência de chuvas no período de colheita, o que garante a qualidade do produto. Somados às condições de clima e relevo favoráveis, o algodão se constituiu em uma grande oportunidade de

negócios para os produtores do Centro-Oeste, sendo uma alternativa rentável para a rotação com a soja (EMBRAPA, 2003).

Fatores como a recuperação dos preços do algodão em pluma, a menor produção mundial, as condições climáticas favoráveis no Brasil e a necessidade da rotação de culturas com a soja favorecem as perspectivas da cultura do algodão. Deste modo, é previsto um incremento das exportações brasileiras deste produto na safra 2006/2007 (BAZZO, 2007).

Sem dúvida, as profundas transformações motivadas pela inovação tecnológica e por medidas governamentais provocaram mudanças em áreas que naturalmente faziam parte das savanas brasileiras (Cerrado). Deste modo, devido ao avanço acelerado do desmatamento foi criado o Código Florestal Brasileiro com o objetivo de evitar os efeitos nocivos do desmatamento em áreas consideradas críticas.

García (1995) considera que um estudo que vise ao desenvolvimento econômico sustentável no Cerrado baseado em políticas e estratégias mais eficientes precisa de uma análise da ocupação e evolução espaço-temporal. Partindo desta última afirmação, faz-se necessário dispor de informações confiáveis que permitam analisar de forma objetiva a evolução da cultura do algodão no Cerrado ao longo desses últimos anos.

O sensoriamento remoto orbital permite contar com uma visão conjunta de uma área de estudo em uma seqüência repetitiva no tempo (PANIGRAHY E SHARMA, 1997). Estas duas características permitem estabelecer séries multitemporais, as quais são ferramentas úteis na caracterização de ambientes agrícolas, que sofrem freqüentes e rápidas mudanças espaço-temporais.

A combinação de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) com sistemas gerenciadores de banco de dados permite que se aliem dados espaciais, como imagens de satélite, cartas e mapas, com dados tabulares. A utilização de imagens de diversas datas possibilita realizar análises multitemporais com o objetivo de identificar e avaliar a dinâmica do uso do solo em sistemas agrícolas.

Partindo da hipótese de que os dados de sensoriamento remoto aliados com SIG permitem identificar e mapear a cultura do algodão, o trabalho de dissertação visou definir uma metodologia que permitisse avaliar a evolução da atividade agrícola nos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste, no Estado do Mato Grosso, no período 1985-2006, com foco prioritário na cultura do algodão.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver uma metodologia que permita analisar a evolução espaço-temporal da cotonicultura em dois municípios com importância estadual na produção de algodão.

1.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento espectro-temporal das principais culturas agrícolas de inverno com especial interesse na cultura do algodão;
- Definir a dinâmica do uso do solo, para intervalos de cinco anos, no período de 1985 a 2006 a partir de uma metodologia baseada em sensoriamento remoto;
- Implementar uma técnica de sensoriamento remoto e SIG que permita avaliar as transgressões da atividade agrícola em relação ao Código Florestal Brasileiro – Lei nº 4771.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas sensores

2.1.1 Sensor Thematic Mapper

O sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat-5 é um radiômetro imageador multiespectral com sete bandas espectrais, com resolução espacial de 30 metros para as bandas do visível (bandas 1, 2 e 3), infravermelho próximo (banda 4), e infravermelho de ondas curtas (banda 5 e 7), e de 120 metros para a banda 6 - infravermelho termal. Uma cena TM possui um tamanho de 170 x 183 km². Sua resolução temporal é de 16 dias, o que dificulta a obtenção de imagens sem incidência de nuvens durante o período chuvoso, coincidente com o crescimento das principais culturas agrícolas.

2.1.2 Dados Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)

Os dados de radar obtidos a partir da missão SRTM permitem gerar um mapa topográfico detalhado da superfície terrestre com a aplicação da técnica de interferometria. Esta técnica utiliza as diferenças detectadas entre duas imagens de radar de uma mesma área para determinar a altitude da superfície terrestre. As imagens são obtidas por duas antenas separadas por uma distância conhecida. O radar opera na banda C, para o modelo digital do terreno com 90m de resolução espacial, e na banda X, para o modelo digital do terreno com 30m de resolução espacial (USGS, 2007).

2.2 Registro

As informações obtidas a partir de dados de sensoriamento remoto devem ser integradas num sistema de informação geográfica (SIG). O processo de transformação dos dados de sensoriamento remoto que permite associá-los a um sistema de projeção cartográfica é chamado de correção geométrica, enquanto que o registro corresponde ao ajuste do sistema de coordenadas de uma imagem em relação a um segundo, dentro de uma mesma área geográfica (MATTER, 1999).

No caso de utilizar técnicas de análise multitemporal, é recomendado fazer um registro das imagens tomando uma do conjunto como referência. O erro do registro sugerido

deve ser o menor possível, de acordo com o tipo de imagem e da escala de apresentação dos dados (JENSEN, 1986).

2.3 Normalização radiométrica

Quando são realizadas análises baseadas em séries temporais utilizando um conjunto de imagens de diferentes datas existe a necessidade de normalizar as imagens a fim de diminuir os efeitos causados pelas diferenças temporais nos parâmetros do sensor, no ângulo solar e no espalhamento atmosférico, que mudam de uma data para outra.

O processo de normalização radiométrica tem como objetivo conseguir um comportamento uniforme no que diz respeito à resposta espectral de alvos considerados invariantes com o tempo (GÜRTLER et al., 2003). Uma imagem radiometricamente corrigida em relação a uma imagem de referência deve parecer como se tivesse sido adquirida pelo mesmo sensor e nas mesmas condições atmosféricas e de iluminação da imagem de referência (SILVA et al., 2003).

Entre as técnicas de normalização mais difundidas há a proposta por Hall et al. (1991), a qual utiliza um conjunto de *pixels* com reflectância pouco variável no tempo, a partir dos quais são calculadas funções de transformação linear. As funções obtidas são posteriormente utilizadas na normalização das imagens. Os autores do método comprovaram que a técnica permite remover o efeito da diferença atmosférica relativa entre imagens. Por outro lado Silva et al. (2003) demonstraram que é necessário corrigir atmosféricamente apenas uma imagem da série multitemporal, pois a normalização garante o ajuste radiométrico entre as imagens.

Durante a execução da técnica, a etapa que demanda maior tempo é a escolha de *pixels* invariantes. Para isso é utilizado um gráfico que relaciona as variáveis *brightness* com *greenness* obtidas a partir da aplicação da função de transformação Kauth-Thomas. Os *pixels* escolhidos são divididos em dois grupos: claros (altos valores em *brightness* e baixos em *greenness*) e escuros (baixos valores em *brightness* e em *greenness*).

Canty et al. (2004) tentaram simplificar o processo manual de seleção de alvos invariantes claros e escuros necessários no processo de normalização proposto por Hall

et al. (1991). Para isso desenvolveram uma transformação multivariada de detecção de alterações (MAD). Esta transformação permite selecionar automaticamente um conjunto de *pixels* de não-mudança entre duas imagens. Esses *pixels* são utilizados para estabelecer a função de normalização entre as duas imagens. O procedimento é rápido e simples em comparação com as técnicas manuais (SCHROEDER et al., 2006).

2.4 Análise espectro-temporal

Para observar a dinâmica dos ecossistemas é necessário monitorar a vegetação no tempo e determinar que mudanças têm acontecido naquele ambiente (JENSEN, 2000). Em muitos casos a informação de resposta espectral de uma única data não é suficiente para a distinção entre culturas agrícolas, o que leva à necessidade do emprego de informações adicionais de atributos não-espectrais da mesma data ou de dados espectrais multitemporais (SANCHES, 2003).

A análise espectro-temporal das culturas permite visualizar mais adequadamente a dinâmica agrícola de uma região e a familiarização com os comportamentos esperados dos alvos nas diferentes épocas do ano. Uma das abordagens mais utilizadas neste tipo de análise consiste em estudar a evolução dos índices de vegetação ao longo do ciclo agrícola das culturas. Segundo Canavesi (2005), áreas agrícolas podem ser monitoradas por meio do NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada), com imagens adquiridas espaçadamente dentro de um ciclo agrícola.

Os índices de vegetação são definidos como medidas radiométricas adimensionais que têm como função indicar a abundância relativa e a atividade fotossintética da vegetação, além de outras variáveis, como índice de área foliar, porcentagem de cobertura do solo, conteúdo de clorofila, etc (JENSEN, 2000). Por sua vez, os índices de vegetação precisam ser sensíveis aos parâmetros biofísicos e serem pouco influenciados pelo ângulo de inclinação solar, ângulo de visada e efeitos atmosféricos. No entanto, a utilização de índices de vegetação oferece informações da cena agrícola em relação à evolução das culturas, mas não permite identificar a natureza das mudanças acontecidas dentro do ciclo agrícola (rotação de culturas).

Entre os índices mais difundidos pode-se citar o NDVI, cujo uso extensivo deve-se em grande medida à construção de bases de dados globais utilizando dados do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) (PONZONI, 2001). O índice foi criado por Rouse et al. em 1973 e é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$$

Onde: IVP representa a reflectância no infravermelho próximo e o V no vermelho.

2.5 Análise multitemporal

Para poder obter informação do padrão de rotação das culturas é necessário monitorar uma área periodicamente. O dado de sensoriamento remoto, com sua cobertura sinóptica e repetitiva, é o melhor instrumento para obter essa informação (PANIGRAHY E SHARMA, 1997).

A análise multitemporal de uma área agrícola ao longo dos anos permite definir a chamada “tradição agrícola”, repetida ano a ano pelos agricultores. Essa informação histórica facilita a identificação dos alvos nas imagens satelitárias (ORTIZ et al., 1997). Por outro lado, neste tipo de análise é de grande importância considerar o número de imagens e a data das mesmas no momento da escolha, sendo que uma otimização nessa etapa, em geral, redundaria numa importante poupança de custos e esforço (PAX-LENNY e WOODCOCK, 1997).

Vários pesquisadores desenvolveram técnicas de análise multitemporal utilizando dados de sensoriamento remoto. Oetter et al. (2000) utilizaram imagens correspondentes às diferentes estações do ano e informações tratadas em ambiente SIG para obter um mapa de uso e cobertura do solo no Willamette Valey. Panigraphy e Sharma (1997) definiram uma metodologia para mapear a rotação de culturas no distrito de Bardhaman (Índia) utilizando um conjunto de imagens do Indian Remote Sensing Satellite (IRS). Pax Lenney et al. (1996) utilizaram um grupo de imagens NDVI derivadas do TM/Landsat-5 para diagnosticar o estado produtivo das terras agrícolas no delta do rio Nilo. Por último, Casanovas et al. (2005) definiram uma metodologia para mapear o padrão de

rotação de culturas entre os anos 1993 e 2000 utilizando uma série temporal de imagens TM/Landsat-5 no distrito de Flumen, na Espanha.

No Brasil tem sido utilizadas técnicas de análise multitemporal em diferentes aplicações, alguns exemplos são mencionados a continuação. Maldonado et al. (2002) determinaram a dinâmica do uso do solo em uma área de estudo localizada no bioma da Caatinga baseado em uma análise multitemporal utilizando principais componentes. Cândido et al. (2005) trabalharam com series multitemporais de EVI para identificar a cultura da cana no estado de São Paulo. Carreiras et al. (2006) testaram quatro algoritmos de classificação com base em uma serie multitemporal de imagens SPOT Vegetation de 1 km de resolução espacial para calcular a extensão das áreas de agricultura/pastagem e mata secundaria na Amazônia legal. É importante mencionar que a pesar de existir numerosos trabalhos baseados em analise multitemporal, no Brasil no tem antecedentes deste tipo de pesquisa com a cultura do algodão.

Segundo Mas (1998), os procedimentos para detectar mudanças podem ser divididos em três grandes grupos. O primeiro é chamado de realce de imagens, e está relacionado com a combinação matemática de imagens de diferentes datas, sendo alguns dos exemplos mais difundidos a diferença entre imagens e a razão entre imagens. O segundo grupo corresponde à classificação multidata, em que é analisado um conjunto de imagens de diferentes datas num determinado sistema classificador. Por fim, o terceiro grupo corresponde à análise pós-classificação, em que são comparadas imagens de diferentes datas classificadas de forma independente. Lu et al. (2004) fizeram uma análise mais detalhada classificando as técnicas de detecção de mudanças em cinco categorias: álgebra de imagens, transformação de imagens, técnicas de classificação, técnicas avançadas e utilização de GIS.

Como foi mencionado nos parágrafos anteriores diversas técnicas de análise multitemporal tem sido desenvolvidas, a seguir são apresentadas duas técnicas que foram implementadas neste trabalho de pesquisa.

A técnica proposta por Niel e McVicar (2004) chamada classificação iterativa tem como objetivo identificar as classes temáticas de interesse com a máxima exatidão.

Inicialmente a técnica consiste em obter mapas temáticos com as mesmas classes temáticas para cada data considerada. Em uma segunda etapa, utilizando amostras aleatórias, são calculadas as exatidões de cada classe temática para cada data; a classe temática com maior exatidão é escolhida e é criada uma máscara. Desse modo, esta classe não é considerada na próxima etapa. O processo é repetido sucessivamente (iterações) até que se obtenham todas as classes temáticas. Finalmente, todas as classes são reunidas em um único mapa temático.

Uma abordagem diferente de análise multitemporal é a análise discriminante, a qual tem sido utilizada em diversas aplicações dentro e fora do sensoriamento remoto. O principal objetivo dessa análise é a diminuição da dimensionalidade dos dados, permitindo estabelecer uma combinação linear de duas ou mais variáveis independentes, neste caso bandas espectrais que permitam discriminar um conjunto de classes temáticas. Na função discriminante, para cada classe temática, são definidos pesos (coeficientes) para as variáveis independentes escolhidas a fim de maximizar a variância relativa entre grupos em detrimento da variância intragrupo (HAIR, 1998). Os coeficientes das combinações lineares de n bandas são calculados a partir dos dados de amostras de classes pré-estabelecidas (COSTA et al, 2006). Computacionalmente, a análise discriminante define os coeficientes pela maximização do valor F obtido pela análise de variância (ANOVA) (STATSOFT, 2007).

Grande parte das técnicas de análise multitemporal utiliza métodos de classificação, por isso é importante entender conceitualmente esse processo. A classificação digital de imagens visa extrair informação que permita reconhecer padrões e alvos homogêneos com o objetivo de mapear os diferentes componentes da superfície terrestre. O resultado final da classificação de uma imagem é um mapa temático, no qual os *pixels* classificados são representados por cores. Cada cor é associada a uma classe (área urbana, tipo de vegetação, etc.) definida previamente pelo usuário (CÂMARA, 2001).

Os classificadores podem ser divididos em dois grandes grupos: por *pixel* e por regiões. A principal diferença entre eles é que o primeiro define como unidade de análise o *pixel*, e o segundo, um conjunto de *pixels* chamado região. No caso de áreas agrícolas, os

talhões configuram regiões, onde *pixels* vizinhos referem-se ao mesmo tipo de cultura, ou seja, o conhecimento do relacionamento entre vizinhos é uma rica fonte de informação que geralmente não é explorada em classificadores tradicionais (por *pixel*) (GIANNOTTI et al., 2001).

O software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) utiliza três algoritmos de segmentação, sendo o mais empregado em cenas agrícolas o de crescimento de regiões. Nesta aplicação, o usuário define os limiares de similaridade e área. Segundo Nascimento (1997), a técnica de crescimento de regiões é um processo de iteratividade pelo qual são fundidas regiões a partir de *pixels* individuais até que todos os *pixels* sejam processados. Entre os atributos analisados pelo segmentador, podem-se citar os dados de área, média, variância, perímetro, excentricidade e linearidade de bordas (OLIVEIRA, 2002). A definição do *limiar de similaridade* é considerada uma etapa fundamental no processo de segmentação, devido à sua influência direta na precisão do produto final. A delimitação do *tamanho da área* é outra importante etapa no processo de segmentação, em que se considera o tamanho mínimo das regiões que serão individualizadas pelo algoritmo. Para o caso de imagens agrícolas, as regiões são representadas pelos talhões. Segundo Oliveira (2002) os valores de limiares permitem ao usuário controlar o resultado da segmentação de uma forma interativa, dependendo de seu objetivo e região de estudo.

Por fim, após a classificação das imagens, faz-se necessário verificar a exatidão do mapa obtido. Uma das formas de avaliar a precisão da classificação é pela elaboração de uma matriz de erro. A matriz é uma tabela constituída de linhas e colunas que expressam o número de células classificadas em relação a uma referência que pode ter sido obtida a partir de imagens aéreas, observações de campo ou medições de campo (CONGALTON E GREEN, 1999). Na matriz, as colunas representam os dados de referência, enquanto que as linhas representam a classe de cobertura designada pela classificação ou fotointerpretação. As classificações corretas são indicadas na diagonal principal da matriz, sendo que os elementos fora desta diagonal indicam uma combinação de erros de inclusão e exclusão.

A partir dos dados da tabela, pode ser calculada a exatidão global do mapa, assim como a precisão das categorias individuais chamadas de precisão do produtor e precisão do consumidor. No entanto, a partir dos dados da matriz é possível calcular também o coeficiente Kappa, que permite determinar estatisticamente se uma matriz é significativamente diferente de outra (CONGALTON E GREEN, 1999).

2.6 Adequação de áreas agrícolas ao Código Florestal Brasileiro

Nos últimos anos o avanço da agricultura tem provocado um forte impacto sobre o bioma do cerrado. Podem ser citados numerosos problemas ambientais relacionados com o desmatamento: erosão acelerada e diminuição da permeabilidade do solo; escoamento acelerado de águas pluviais e, conseqüentemente, diminuição no nível da base dos rios, o que ocasiona o declínio da qualidade hídrica e a dificuldade de captação e redução de abastecimento de água (MAIA E VALERIANO, 2001).

Para prevenir o avanço descontrolado do desmatamento, foi criado o Código Florestal Brasileiro (CFB), numa tentativa de preservar o meio ambiente e prevenir e corrigir os danos causados, segundo a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, alterada pela Lei nº 7.802, de 18 de julho de 1989 e pela Resolução nº 302, de 20 de março de 2002 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2007). Segundo o artigo nº 2 do Código Florestal Brasileiro são consideradas de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo de rios ou de outro qualquer curso d' água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja a estabelecida na Tabela 2.1.
- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios de água, naturais ou artificiais;
- c) nas nascentes, nos ainda chamados “olhos d' água” em um raio mínimo de 50 metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas com declividade superior a 100% na linha de maior declive;

- f) nas restingas, como fixadoras e dunas ou estabilizadores de mangues;
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa não inferior a 100 metros.
- h) em altitude superior a 1.800 m qualquer que seja a vegetação.

Tabela 2.1 – Largura mínima das Áreas de Preservação Permanente (APP) segundo a largura dos rios.

Largura do curso de água	Largura mínima de mata ciliar
< 10 m	30 m
≥ 10 m e < 50 m	50 m
≥ 50 m e < 200 m	100 m
≥ 200 m e < 600 m	200 m
≥ 600 m	500 m

Finalmente, a utilização de dados provenientes de sensores remotos em conjunto com outras informações cartográficas em um ambiente SIG é uma opção válida para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente, assim como para a identificação de zonas em desacordo com o estabelecido pelo Código Florestal Brasileiro.

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Descrição geral

A área de estudo localiza-se a sudeste do Estado de Mato Grosso e é composta pelos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste (Figura 3.1). Os dois municípios constituem a microrregião de Primavera do Leste, a qual faz parte da mesorregião Sudeste do Mato Grosso. Essa área foi escolhida pelo fato de possuir uma importante superfície cultivada com algodão. Os dois municípios em conjunto possuem uma área agrícola de 646.024 ha, representando cerca de 21,3% da superfície cultivada com algodão no Estado de Mato Grosso e 8,2 % no Brasil (IBGE, 2006).

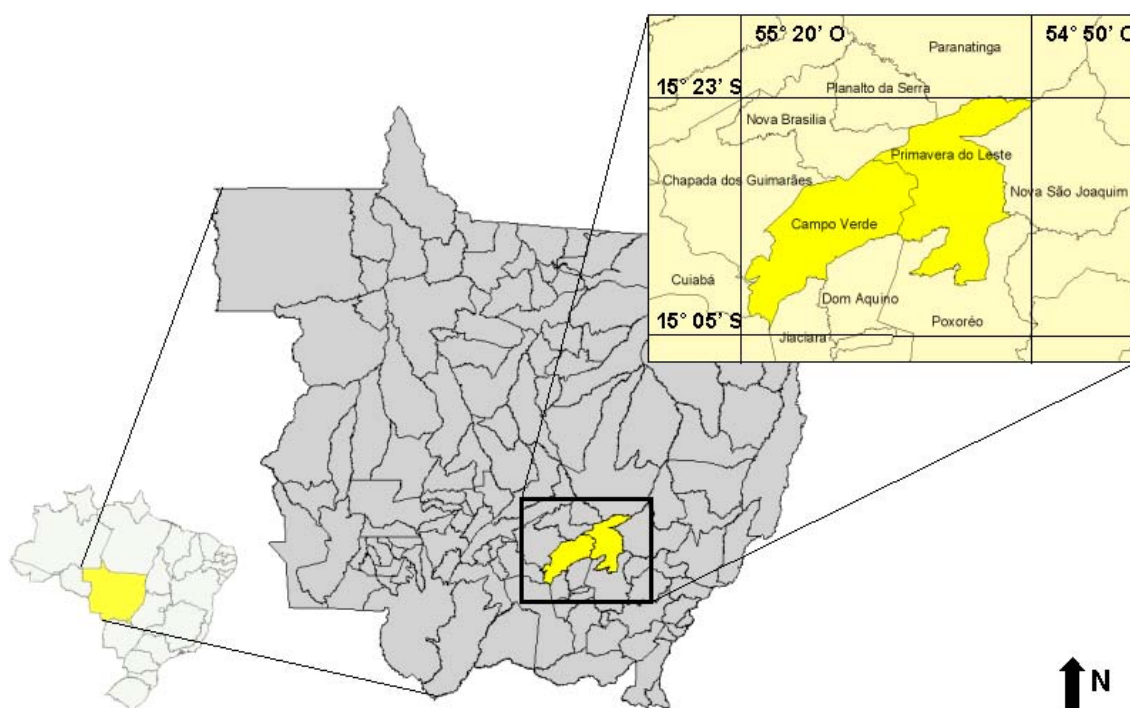


Figura 3.1 - Localização da área de estudo no Estado de Mato Grosso, com os municípios de interesse destacados em amarelo.

Na Figura 3.2 é apresentada uma carta imagem da área de estudo obtida a partir de uma imagem TM/Landsat 5 composição colorida RGB 543 de agosto de 2005. Os usos de solo mais importantes são mencionados na referência, em azul são destacadas as principais rodovias e em preto a divisa municipal.

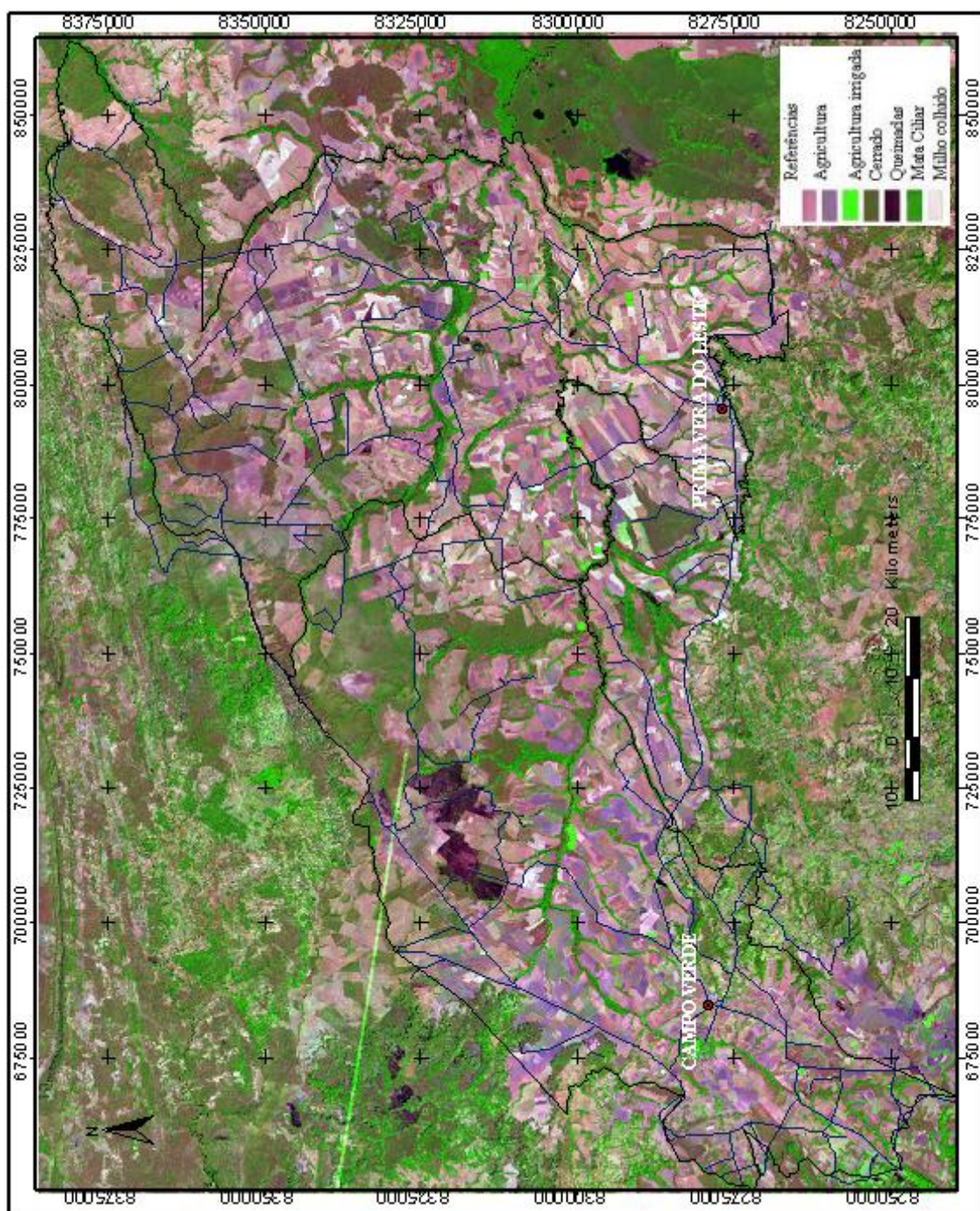


Figura 3.2 – Carta imagem da área de estudo.

Os municípios de Campo Verde e Primavera do Leste abrangem uma área total de 10.267 km². A área agrícola representa 63% da superfície conjunta dos municípios, o que indica, em princípio, um importante potencial de expansão. Os dados são

apresentados na Tabela 3.1. A área de estudo total é coberta pelas órbitas/pontos 225/70-71 e 226/70-71 dos satélites Landsat 5 e 7.

Tabela 3.1 - Superfície e população dos municípios da área de estudo.

Município	Área total (km ²)	Área rural (%)	População total
Campo Verde	4.795	60	24.267
Primavera do Leste	5.472	65	59.982
Total	10.267	63	81.249

Fonte: IBGE (2006).

Com base nos mapas obtidos no Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso (PRODEAGRO), executado pela Secretaria do Estado de Planejamento e Coordenação Geral - Mato Grosso (SEPLAN), a seguir descrevem-se as características fisiográficas da área de estudo.

Na área de estudo são identificadas três unidades microclimáticas associadas a diferentes tipos de relevo, a saber: topos da Chapada dos Guimarães, topos elevados da Chapada dos Guimarães e planalto do rio das Mortes. A característica comum entre elas é que o período de déficit hídrico se concentra nos meses de maio a setembro.

A vegetação predominante corresponde às savanas arborizadas (cerrado), a seguir em importância a savana florestada (cerradão) e, por último, as formações savânicas associadas às vertentes com matas em grotões de drenagem.

Em relação à aptidão agrícola, a maior proporção da área de estudo corresponde a terras boas para lavouras de ciclo curto ou longo; em segundo grau de importância terras com aptidões boas, regulares ou restritas para pastagem plantada, e por último, terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto ou longo.

As formações geológicas mais destacadas são superfícies paleogênicas peleplanizadas com latossolização, formação Marília (arenitos de granulometria variada), e aluviões atuais (areias, siltes e argilas) em menor medida.

Os solos são predominantemente Latossolos Vermelho-Escuros distróficos, seguidos em importância pelos Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos e, por último, Areias Quartzosas distróficas (SEPLAN, 2001). Uma importante característica agrônômica dos latossolos vermelho-escuro é sua espessura, o que favorece o lavradio e a boa drenagem interna. Os latossolos vermelho amarelo são também solos profundos, mas podem apresentar reduzidos teores de bases trocáveis, de micronutrientes e de fósforo. Já as Areias quartzosas são solos com alta susceptibilidade à erosão e alta taxa de infiltração (OLIVEIRA ET AL, 1992).

Segundo a Tabela 3.2, a partir dos dados do Sistema IBGE De Recuperação Automática (SIDRA- IBGE, 2006) para o ano 2005, as culturas de maior importância na área de estudo foram: soja, algodão e milho. A soja é uma cultura estival, o algodão é invernal, o sorgo é cultivado geralmente no período invernal para proteção dos solos à erosão ou para uso forrageiro e o milho é cultivado no período de verão e na intersafra (inverno).

Tabela 3.2 - Total de área cultivada por tipo de cultura.

USO	Campo Verde (ha)	Primavera do Leste (ha)
Total	285.501	350.957
Algodão herbáceo (em caroço)	62.580	40.105
Milho (em grão)	58.515	25.963
Soja (em grão)	161.206	277.389
Sorgo granífero (em grão)	3.200	7.500

Fonte: SIDRA (IBGE,2006).

Numa rápida análise da evolução da cultura do algodão nos municípios estudados, é possível observar um importante aumento da superfície cultivada com essa cultura nos últimos 11 anos (Figura 3.2). Em aproximadamente dez anos, ambos os municípios tornaram-se importantes produtores no Estado. Na Tabela 3.3 podem ser observadas as porcentagens correspondentes à participação dos municípios em escala de Mesorregião, Estado e País para o ano 2005.

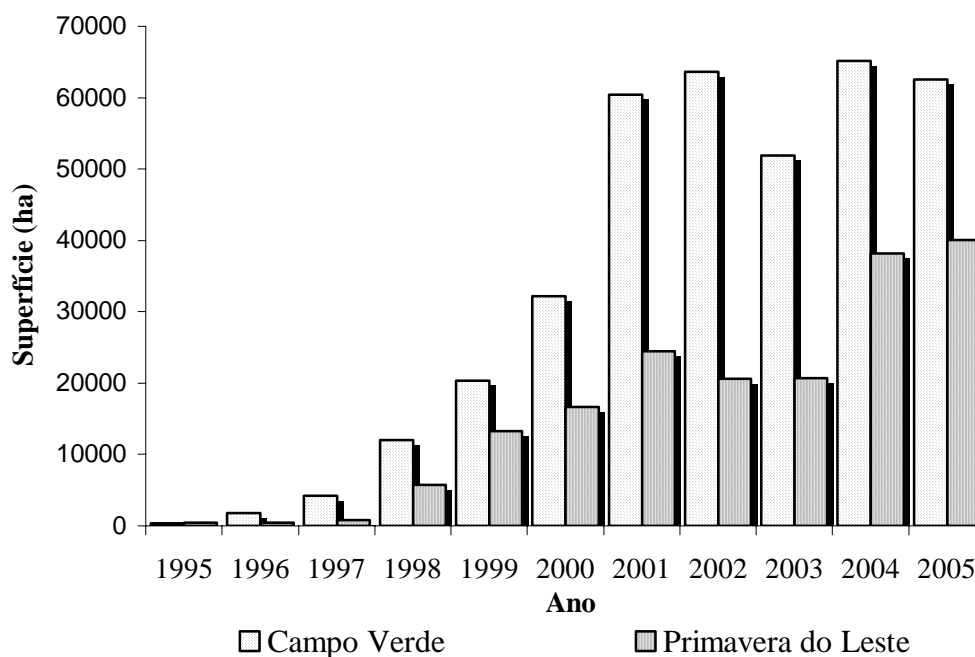


Figura. 3.3 - Evolução da superfície cultivada com algodão nos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste no período 1990 a 2004.

Tabela 3.3 - Estatísticas municipais, regionais e nacionais para a cultura do algodão.

	Superfície Municipal (ha)	Mesorregião Sudeste (%)	Estado do Mato Grosso (%)	Brasil (%)
Campo Verde	62.580	25,8	13,0	4,97
Primavera do Leste	40.105	16,6	8,3	3,18

Fonte: SIDRA (IBGE, 2006).

3.2 Descrição agrônômica das principais culturas invernais

3.2.1 Algodão

O algodoeiro pertence à família malvácea gênero *gossypium* e sua origem depende da espécie: *Gossypium herbaceum* (origem: Índia), *Gossypium barbadense* (origem: Egito), e *Gossypium hirsutum* (origem: América) (INFOAGRO, 2006). É uma cultura muito sensível à temperatura; noites frias ou temperaturas diurnas baixas restringem o crescimento das plantas levando-as à emissão de poucos ramos frutíferos, sendo aconselhável a semeadura em épocas em que as temperaturas permaneçam entre 18 °C e 30 °C (EMBRAPA, 2003). Perto do período de colheita o tempo deve ser seco para

garantir a abertura dos frutos e a qualidade do algodão colhido (GRIDI-PAPP et al., 1992). As principais fases fenológicas do algodão são: emergência, crescimento vegetativo, floração, aparecimento das cápsulas, abertura das cápsulas, defoliação, colheita.

Entre os tratamentos culturais mais comuns estão a eliminação de ervas daninhas, em forma química ou mecânica, raleação ou desbaste, adubações e aplicação de desfolhantes (GRIDI-PAPP et al, 1992). A utilização de desfolhantes antes da colheita tem como objetivo proporcionar um amadurecimento uniforme dos frutos. No entanto, em geral os produtores da região utilizam o desfolhante nos primeiros talhões semeados com o objetivo de acelerar a abertura das cápsulas superiores, evitando a caída prematura (antes da colheita) das cápsulas localizadas na parte inferior da planta.

O algodão é afetado por diversas pragas e doenças, o que acarreta um importante aumento dos custos de produção devido às numerosas aplicações de produtos químicos que devem ser utilizadas para conseguir níveis de produtividade rentáveis. Dependendo das condições climáticas, são necessárias entre 12 e 30 aplicações por ciclo. Com o intuito de diminuir os problemas sanitários do algodão, é utilizada uma prática cultural amplamente difundida e estabelecida por lei, que consiste na destruição das soqueiras após da colheita para evitar a propagação de pragas como broca-da-raiz (*Eutinobothrus brasiliensis*), bicudo do algodoeiro (*Anthonomus grandis*) e lagarta-rosada (*Platyedra gossypiella*), (GRIDI-PAPP et al, 1992).

Em relação à colheita do algodão, existem duas modalidades utilizadas: a manual e a mecanizada. A colheita manual é própria de algodoais em áreas pequenas, com exploração quase familiar, enquanto a mecanizada é comumente utilizada em grandes extensões. A mecanização da colheita tem sido amplamente difundida devido a que permite obter um produto de melhor qualidade, alto rendimento no trabalho e diminuição de custos (EMBRAPA, 2003). A modernização da lavoura do algodão, com grandes plantios comerciais e a escassez de mão-de-obra no meio rural contribuiu para a utilização em larga escala da mecanização do cultivo (SEAGRI – Estado da Bahia, 2006).

Na Figura 3.3 são apresentadas algumas imagens do ciclo do algodão e a maquinaria utilizada durante a colheita mecânica.

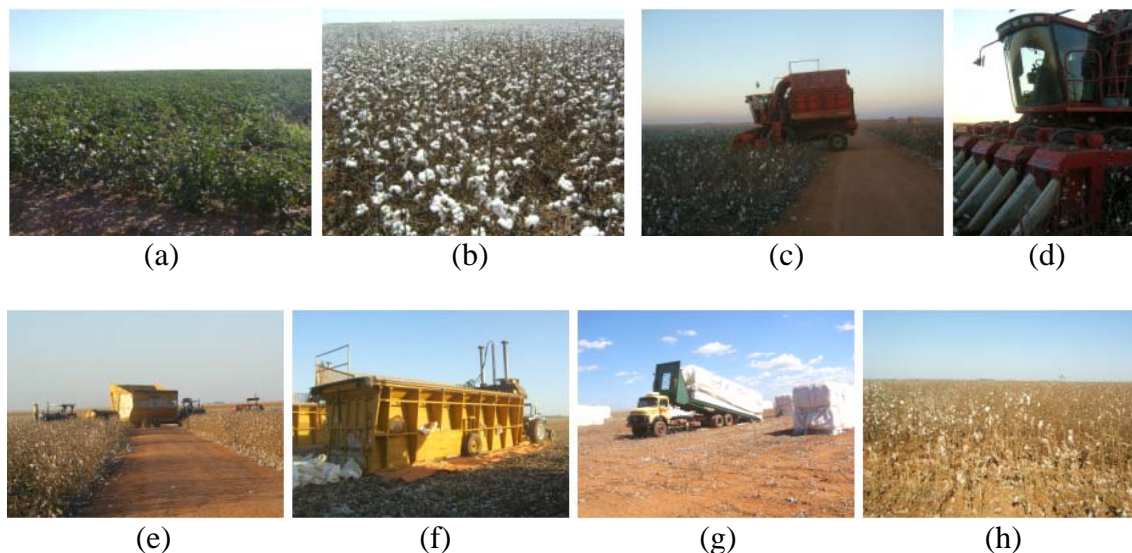


Figura 3.4 – Fotos da cultura do algodão: (a) algodão no estágio vegetativo, (b) algodão pronto para colheita, (c) e (d) colheitadeira mecânica, (e) carregador (Bass Boy), (f) prensa, (g) caminhão (transmódulo) e fardos, (h) algodão pós-colheita.

Como se observa na Figura 3.3, durante o período de colheita são utilizadas colheitadeiras mecânicas, carregadores especiais chamados de “Bass Boy” e prensas compactadoras. Depois da colheita e a compactação do algodão, os fardões são levados para seu beneficiamento por meio de caminhões especiais (transmódulo).

3.2.2 Milho safrinha

O milho (*Zea mays*) pertence à família *Gramineae* e é uma das culturas mais antigas do mundo. Originário da América Central, o milho é uma das gramíneas mais cultivadas, porque produz grãos de elevado valor nutritivo, é muito empregado na alimentação humana, e principalmente, na dos animais (RURALNEWS, 2006). 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 (PALIWAL et al., 2001).

O milho safrinha, que é plantado além dos limites dos Cerrados, não tem um período pré-fixado para seu plantio, como o milho de safra normal, que é plantado no início das chuvas. É uma cultura semeada de fins de janeiro a abril, normalmente após a soja precoce e, em alguns locais, após do milho de verão (EMBRAPA, 2006).

3.2.3 Sorgo safrinha

O sorgo (*Sorghum bicolor*) é uma gramínea anual 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 d' água, e consegue resistir a períodos de estiagem prolongados devido às raízes profundas e abundantes (RURALNEWS, 2006). Pode ser cultivado na época seca (plantado de janeiro a março) como cultura complementar. Nos plantios da seca, quando comparado ao milho, o sorgo apresenta um melhor desenvolvimento (APTIDÃO..., 2003). Além disso, utiliza o mesmo maquinário destinado à cultura do milho, 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 ao produtor (RURALNEWS, 2006).

3.2.4 Milheto

O milheto é uma cultura anual de clima tropical, hábito ereto e porte alto. Pertence à grande família das gramíneas, gênero *Pennisetum*, recebeu o nome científico de *Pennisetum glaucum*. Há cerca de 5000 anos, o milheto foi domesticado na África Ocidental (BRANCALIAO, 2004). A cultura adapta-se bem a vários tipos de solos, apresentando boa persistência em solo de baixa fertilidade, embora responda com ótimas produtividades em solo de média a boa fertilidade e adubação. Não resiste a geadas e a solos encharcados (KICHIEL E MIRANDA, 2000). Possui uma alta qualidade forrageira, seu resíduo é utilizado como cobertura de proteção do solo contra a erosão para culturas de alta importância econômica. Nos cerrados brasileiros é cultivado em épocas com deficiência hídrica aproveitando a umidade residual das últimas chuvas do verão. É utilizado como safrinha em rotação com soja e algodão (BRANCALIAO, 2004).

Na figura 3.5 é possível observar imagens das culturas de milho, milheto e sorgo em pleno desenvolvimento vegetativo.

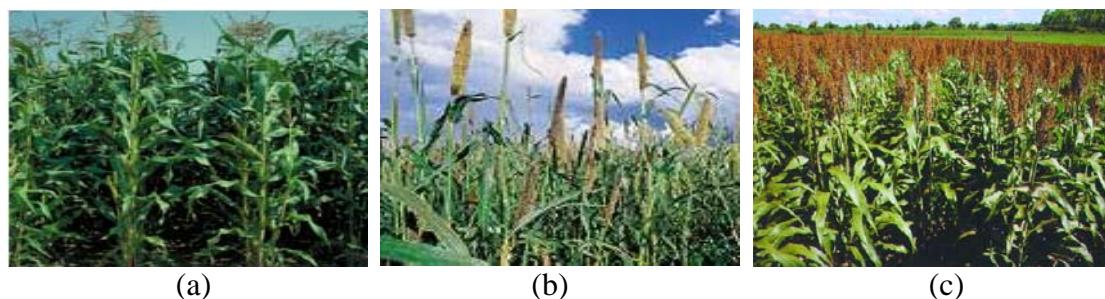


Figura 3.5 – Fotos de cultura de inverno: (a) milho, (b) sorgo, (c) milheto.

3.3 Calendário agrícola

Os ciclos e datas de plantio e colheita das principais culturas encontradas na área de estudo determinam as variações, ao longo dos meses, da quantidade de área foliar, volume de fitomassa e cobertura de solo. Portanto, é de fundamental importância o conhecimento do calendário agrícola para compreender a resposta espectral dos talhões num determinado período do ano (IPPOLITI-RAMILO, 1999). Na Tabela 3.4 são apresentados os ciclos agrícolas das principais culturas de inverno para a área de estudo.

Tabela 3.4 – Ciclo agrícola das principais culturas de inverno.

Cultura	Mês											
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Algodão												
Milho safrinha												
Milheto												
Sorgo safrinha												

Plantio
 Colheita

Fonte: EMPAER (2006).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são abordados os aspectos metodológicos do trabalho de pesquisa. Inicialmente são descritos os materiais utilizados para logo apresentar a metodologia implementada. Para um melhor entendimento a mesma foi dividida em quatro etapas, a saber: análise espectro-temporal, análise multitemporal-sazonal, análise multitemporal interanual e análise da transgressão ao código florestal brasileiro.

4.1 Materiais

4.1.1 Dados de sensoriamento remoto e cartográficos

- Imagens do sensor TM do satélite Landsat-5, órbitas/pontos 225/70, 225/71, 226/70, 226/71;
- Mapas digitais de solo, geologia, vegetação, aptidão agrícola, unidades agro-climáticas na escala 1: 1.500.000 (Fonte: SEPLAN,2001);
- Modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM);

4.1.2 Softwares

- Sistema de Informações Geográficas (SIG) Spring – versão 3.5.1;
- IDRISI 32;
- Arc View 3.2;
- Statistica 6.0.

4.1.3 Equipamento

- GPS (Global Positioning System).

4.2 Metodologia

O desenvolvimento do trabalho foi realizado de acordo com os procedimentos descritos a seguir e organicamente mostrados na Figura 4.1.

4.2.1 Seleção das imagens de satélite

Utilizando o catálogo de imagens TM/Landsat-5 disponíveis na Divisão de Geração de Imagens (DGI-INPE), foram escolhidas as imagens em função do calendário agrícola da região. O intervalo entre elas foi o mínimo possível, tomando especial cuidado de escolher imagens com baixa ou nenhuma cobertura de nuvens. O período de análise considerado foi de janeiro até setembro para o ano 2006, quando foi realizada a análise multitemporal sazonal. Para os outros ciclos agrícolas (1985, 1990, 1996 e 2001) foram escolhidas imagens nas datas em que se comprovou serem as melhores para a identificação dos usos de solo de interesse.

4.2.2 Registro

Foram escolhidas quatro imagens de referência, sem incidência de nuvens, duas correspondente à data de 29 de julho 2000 para a órbita 225 e duas correspondentes ao 8 de agosto de 2001, para a órbita 226 do Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>). A partir delas foi construído um mosaico utilizando uma ferramenta que reduz as diferenças de iluminação entre as componentes, favorecendo a identificação de feições na imagem mosaico. A seguir, as demais imagens foram registradas a partir do mosaico de referência. Nesta etapa, foram aplicados realces lineares de contraste para facilitar a detecção das feições. Em todos os casos, no registro imagem a imagem foram utilizados pontos bem distribuídos e suficientes com o intuito de obter um erro de registro inferior a 0,5 *pixel*.

4.2.3 Normalização

A técnica de normalização utilizada foi a proposta por Canty et al. (2004), a qual utiliza uma transformação para identificar *pixels* de não-mudança e, a partir desses pixels define-se uma função de normalização entre a referência e a imagem.

Inicialmente, o processo de normalização foi aplicado sobre o conjunto de imagens correspondentes ao ano agrícola de 2006, uma vez que esse grupo de imagens foi

utilizado na análise espectro-temporal e na análise multitemporal sazonal. Depois foram normalizadas as imagens correspondentes aos outros ciclos agrícolas.

Escolheram-se duas imagens de referência: uma para a órbita 226, correspondente à data 11/08/2005, e outra para a órbita 225, correspondente à data 04/08/2005, ambas deslocadas cinco segundos ao sul, de modo a abranger toda a área de estudo. Essas imagens não tinham presença de nuvens, já que correspondiam ao período seco, sendo visualmente notória sua limpidez atmosférica. As imagens foram convertidas de nível de cinza para reflectância aparente, segundo metodologia proposta por Luiz et al. (2003) e, posteriormente, foram corrigidas atmosféricamente utilizando o programa 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum), desenvolvido por Vermote et al. (1997) e adaptado por Antunes (2003).

Antes da normalização, as imagens foram transformadas em valores de reflectância aparente, segundo a metodologia mencionada no parágrafo anterior. Depois, utilizando um programa desenvolvido em linguagem IDL (ENVI 4.2), foi realizada a normalização de cada imagem tomando como referência as imagens reflectância de superfície de 04/08/2005 para a órbita 225, e de 11/08/2005 para a órbita 226. Neste programa, inicialmente foi necessário definir uma janela onde foram procurados automaticamente os *pixels* de não-mudança que, posteriormente, definiram a função de transformação. A mesma janela foi utilizada para todas as imagens que foram normalizadas. Finalmente, com o intuito de fazer uma análise crítica da técnica utilizada, a imagem de referência foi comparada às imagens normalizada e sem normalização. As amostras utilizadas representaram áreas de solo gradeado, mata, cerrado e água.

4.2.4 Trabalho de campo

Na missão de campo foram realizadas três tarefas, a saber: amostragem de talhões agrícolas, coleta de material vegetal e realização de entrevistas com produtores. Foram percorridos vários trajetos dentro da área de estudo. Por dispor-se de um software que permitia fazer navegação em tempo real, foi possível identificar os usos de solo ao longo do caminho marcando pontos amostrais em locais de interesse.

Um conjunto de talhões de algodão já colhidos foi amostrado com maior detalhe, sendo preenchido em cada caso um formulário de campo (ver Apêndice A). Algumas das informações obtidas foram: data de plantio, data de colheita, variedade, densidade de plantio. Nesses talhões, também adquiriram-se amostras de perda de algodão após a colheita. Para isto, foram definidos alguns pontos de amostragem de 1x1 metro, onde pesou-se a perda de algodão (queda natural + queda provocada pela colheitadeira). Depois, foram obtidas amostras de algodão, hastes e folhas secas para análise espectral em laboratório. Finalmente, durante os trajetos, visitaram-se algumas fazendas e entrevistaram-se os proprietários ou encarregados utilizando um formulário especialmente preparado (ver Apêndice B). O intuito das entrevistas foi compreender o sistema produtivo atual e coletar informações históricas que auxiliassem na análise da dinâmica da paisagem entre os períodos de 1985 e o momento presente.

4.2.5 Análise espectro-temporal a partir de dados orbitais

A análise das principais culturas da área de estudo foi feita sobre as imagens uniformizadas na etapa anterior, correspondentes ao ano agrícola 2006. As imagens utilizadas corresponderam às datas: 24 de abril, 10 de maio, 26 de maio, 11 de junho, 7 de julho, 29 de julho e 30 de agosto.

Para realizar a análise espectro-temporal foram utilizados os talhões visitados em campo. Em cada talhão foi definido um ou mais polígonos de 10 x 10 *pixels* dependendo do tamanho do talhão, tomando a precaução de que os *pixels* fossem livres de nuvens para as datas consideradas. A partir de uma rotina em IDL, foram obtidos os valores de reflectância (máximo, mínimo, média, moda e desvio padrão) para todas as amostras e datas analisadas. A partir desses valores foram construídos gráficos de diferentes tipos que auxiliaram na interpretação das mudanças espectrais que aconteceram durante o período analisado.

4.2.6 Análise espectral em laboratório

Com o intuito de avaliar o comportamento espectral do algodão pré e pós colheita obtiveram-se as assinaturas espectrais das amostras de material seco e plumas de algodão colhidas em campo.

As medições de reflectância das amostras foram realizadas no Laboratório de Radiometria (LARAD), no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. O equipamento utilizado foi o Field Spec PRO, segundo as seguintes condições de iluminação e observação: IFOV de 25°, altura do detector igual a 11 cm, ângulo de iluminação 60°, e 85 cm de distância fonte-alvo.

Inicialmente, foi medida a radiância de uma placa padrão, considerada como superfície lambertiana, com reflectância teórica igual a 100%. A seguir, foi realizada a medição da radiância de cada alvo. Todas as medidas foram transferidas e processadas no software Spectron, obtendo-se o fator de reflectância de cada alvo. Para cada tipo de amostra (material seco e plumas) foram calculadas curvas medias a partir das dez observações realizadas.

4.2.7 Análise multitemporal

Esta análise foi realizada em duas escalas temporais diferentes: a escala sazonal, utilizando imagens do ciclo 2006, e a escala interanual, utilizando imagens do ciclo 1985, 1990, 1996, 2001 e 2006.

4.2.7.1 Análise multitemporal-sazonal

Testaram-se as seguintes técnicas de análise multitemporal no ciclo agrícola de 2006: análise pós-classificação, classificação por iterações, análise discriminante e classificação multidata. A área de teste foi localizada em um setor do município de Campo Verde onde está concentrada a atividade agrícola. As imagens utilizadas corresponderam às datas: 24 de abril, 10 de maio, 26 de maio, 11 de junho, 13 de julho, 29 de julho e 30 de agosto, sendo a imagem de agosto somente empregada na análise discriminante. Para todas as técnicas as classes temáticas identificadas foram: Algodão,

Milho, Milheto, Mata e Cerrado. A classe Cerrado foi definida como áreas com árvores baixas e retorcidas com estrato herbáceo rasteiro. A classe Mata foi considerada como uma forma de Cerrado que ocorre à beira dos rios. Finalmente, os *pixels* que não corresponderam a nenhuma das classes pré-estabelecidas foram incluídos numa classe denominada “outros-usos”.

a) Análise pós-classificação

Em um primeiro passo, as imagens de cada data foram segmentadas por crescimento de regiões utilizando como limiar de similaridade o valor 5 e de área o valor 20. Estes valores foram escolhidos após comparar visualmente os resultados obtidos com outros limiares. Na etapa de classificação foi utilizado o algoritmo Battacharya, o qual mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais previamente definidas durante o treinamento (RICHARD e XIUPING, 1999).

O mapa temático final foi obtido por cruzamento *booleano* entre os cinco mapas temáticos correspondentes a cada classe. Na Figura 4.2 é apresentado um digrama de fluxo com as etapas para uma classe temática. O mesmo processo foi aplicado nas quatro classes restantes.

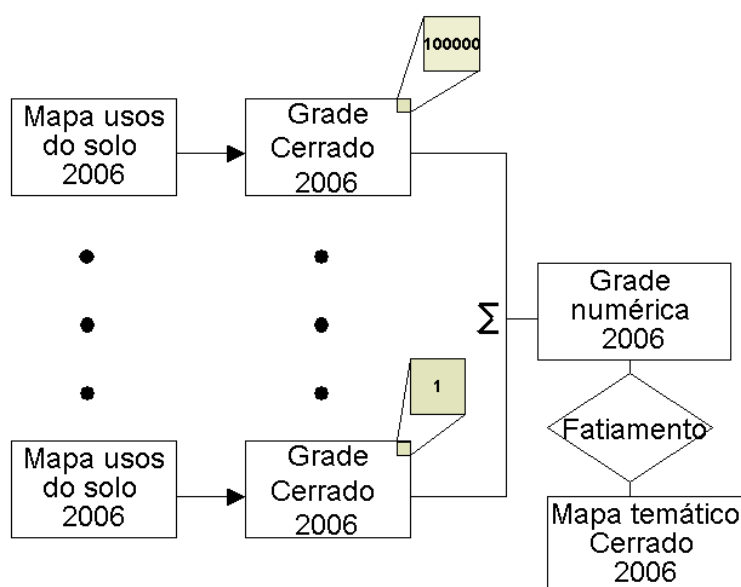


Figura 4.2 – Diagrama de fluxo da análise pós-classificação para a classe Cerrado.

Inicialmente foram criadas seis grades numéricas para cada classe temática (uma para cada data) utilizando nomenclatura em base dez. Depois, foi obtida uma grade numérica resumo para cada classe temática a partir da somatória das seis grades (uma por cada data). Deste modo, para um *pixel* classificado como algodão nas seis datas correspondeu o número 111111; se o *pixel* foi classificado como algodão na imagem de 24 de abril (primeira data), o número foi 100000. Posteriormente, foi utilizada uma regra de decisão que estabelecia que um *pixel* pertencia a uma determinada classe temática sempre que houvesse sido associado a esta classe quatro ou mais datas consecutivas. Utilizando este critério as grades foram fatiadas de modo de obter cinco planos de informação (um para cada classe temática). Finalmente, foram unidos os cinco mapas temáticos em um único mapa de uso do solo.

b) Classificação por iterações

A técnica utilizada foi a proposta por Niel e McVicar (2004). Inicialmente, foi obtido um conjunto de sete mapas temáticos, um para cada data, com as mesmas classes (Algodão, Milho, Milheto, Cerrado, Mata e Outros-usos). Os mapas foram resultado da segmentação e posterior classificação das imagens utilizando os mesmos limiares e algoritmo de classificação aplicados na técnica de análise pós-classificação. Em uma segunda etapa, utilizando amostras aleatórias, calculou-se a exatidão de cada classe temática para cada uma das datas. A partir das classes temáticas de maior exatidão foi criada uma máscara. Desse modo, essas classes não foram consideradas na próxima etapa. O processo foi repetido sucessivamente (iteraões) até que se obtiveram todas as classes temáticas com uma máxima exatidão. Finalmente, todas as classes foram reunidas em um único mapa de uso de solo.

c) Análise discriminante

Nesta análise foram utilizados 240 pontos amostrais e 42 variáveis correspondentes às seis bandas do sensor TM nas sete datas consideradas (neste análise foi incluída a imagem de 30 de agosto). Os pontos amostrais foram localizados em talhões visitados em campo, correspondentes às classes temáticas Algodão, Milho, Milheto, Cerrado,

Mata e Outros-usos. A utilização de amostras “pontuais” e não do tipo “polígonos” objetivou minimizar os efeitos da correlação espacial.

Os dados amostrais, em valores de reflectância , foram importados para o software Statistica 6.0, no qual foi executada a análise discriminante *forward stepwise*, que apresentou em ordem de importância as variáveis que melhor separavam os grupos pré-definidos. Para cada função definida o software calculou a matriz de confusão utilizando os 240 pontos amostrais. A partir dessas informações, foi escolhida a função mais simples que conseguiu separar com maior exatidão os grupos pré-definidos.

Após serem escolhidas as variáveis independentes (bandas), foi aplicada a função de regressão múltipla correspondente a cada classe temática. Os produtos resultantes desta operação foram seis grades numéricas correspondentes às classes Algodão, Milho, Milheto, Mata, Cerrado e Outros-usos. Finalmente, cada *pixel* foi associado a uma classe temática. Isto foi possível por meio de uma comparação numérica entre as grades. A regra utilizada estabeleceu que um *pixel* seria associado à classe na qual o valor numérico no conjunto das seis grades fosse o máximo. Na Figura 4.3 é apresentado um fluxograma que sintetiza o processo.

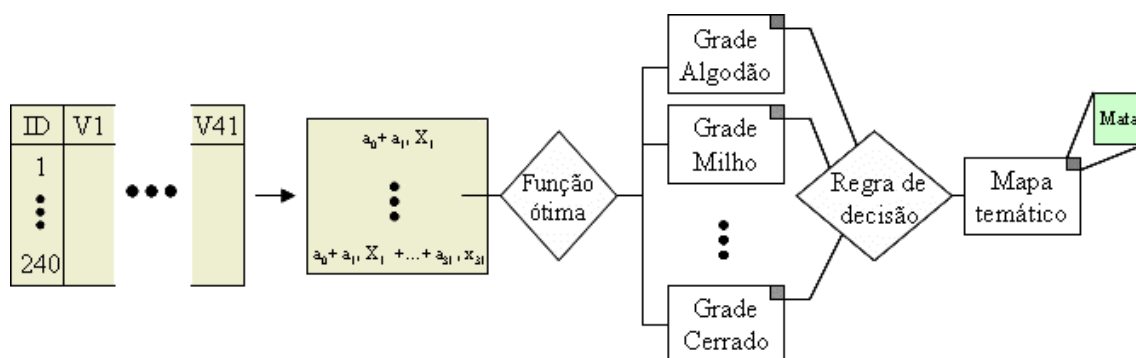


Figura 4.3 – Fluxograma da análise discriminante.

d) Classificação multidata

Nesta técnica foram utilizadas as mesmas bandas espectrais selecionadas na análise discriminante. Deste modo foi possível comparar os resultados obtidos a partir de um

classificador por *pixel* (análise discriminante) e de um classificador por regiões (ISODATA).

O conjunto de bandas foi segmentado conjuntamente utilizando o algoritmo por crescimento de regiões e, posteriormente, foi aplicado o algoritmo de classificação ISODATA (MATHER, 1999). A seguir, as classes temáticas identificadas automaticamente pelo algoritmo ISODATA foram agrupadas nas classes de interesse (Algodão, Milho, Milheto, Mata, Cerrado e Outros-usos) obtendo-se o mapa de uso de solo.

e) Comparação de técnicas

Com o objetivo de fazer uma análise comparativa entre as técnicas, cada mapa temático obtido foi avaliado utilizando 112 pontos amostrais de campo. Com base nesses pontos, foi criada uma matriz de confusão para cada técnica e também foram calculados os coeficientes Kappa global e condicional (ver Anexo A). Finalmente, com o intuito de escolher a melhor técnica, foi feita uma comparação estatística entre os coeficientes Kappa de cada técnica utilizando a estatística Z (CONGALTON e GREEN, 1999).

4.2.7.2 Análise multitemporal interanual

A técnica de análise multitemporal-sazonal mais eficiente foi utilizada para obter os mapas de uso de solo nos anos agrícolas 1985, 1990, 1996, 2001 e 2006. Nesta escala multitemporal de análise foram somente identificadas as classes temáticas: Algodão, Mata, Cerrado e Outros-usos.

Com o intuito de analisar a dinâmica interanual das classes Algodão, Mata e Cerrado foi realizado o cruzamento dos cinco mapas temáticos correspondentes a cada ano. Por ter surgido um número excessivo de classes temáticas resultantes da combinação dos diferentes usos de solo nas cinco datas, optou-se por separar as classes temáticas fazendo a análise multitemporal individualmente. Para isto, inicialmente foram criadas cinco grades numéricas para cada classe temática (uma para cada data) utilizando nomenclatura em base dez. Depois, foi obtida uma grade numérica resumo para cada

classe temática a partir da somatória das cinco grades. Posteriormente, as grades foram fatiadas em classes temáticas de interesse. Finalmente, para estimar a acurácia das classes temáticas Algodão, Mata e Cerrado, foram estabelecidas regras de decisão que permitiram identificar os *pixels* erroneamente classificados.

4.2.8 Análise de adequação da agricultura ao Código Florestal Brasileiro

Esta análise foi dividida em duas etapas, na primeira foram delimitadas as Áreas de Preservação Permanente (APP), e na segunda etapa foram identificadas as zonas de transgressão ao Código Florestal Brasileiro (CFB). O dado de base utilizado para definir as APPs foi um Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido a partir dos dados gerados pelo radar da Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). Na etapa inicial, utilizando um interpolador linear, foram corrigidos os erros do modelo. A seguir, refinou-se o MDE levando a resolução de 90 m para 30 m. Para o refinamento da grade foi utilizada a metodologia proposta por Valeriano (2002) baseada na técnica de krigagem. Os objetivos do refinamento foram melhorar a resolução espacial da grade (coincidente com os mapas de uso do solo), reduzir os artefatos, remover as falhas, etc. Na Figura 4.4 é apresentado o fluxograma das etapas executadas para o refinamento da grade MDE.

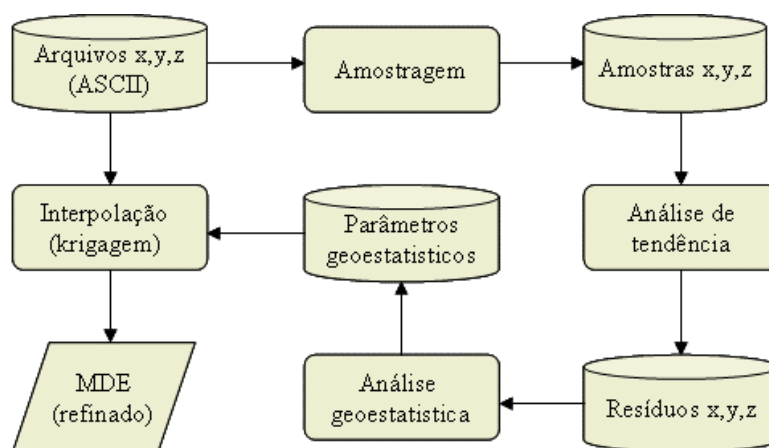


Figura 4.4 – Fluxograma do refinamento do modelo digital de elevação.

Fonte: Adaptado de Valeriano (2002).

A partir do MDE refinado foi gerado um mapa de declividade com o intuito de identificar as áreas com declividade superior a 100% e de detectar as bordas das

chapadas. A rede de drenagem, nascentes, lagoas e lagos foram digitalizados em tela utilizando como referência o mapa de declividade e o produto ADD (Azimute + Drenagem + Divisores). Para a obtenção deste produto foi utilizada uma rotina desenvolvida no software Idrisi que integra a variável aspecto (orientação de vertentes) com os canais de drenagem e divisores de água, ambos obtidos a partir do MDE (VALERIANO e MORAES, 2001). A digitalização da rede de drenagem foi categorizada segundo sua largura em três grupos chamados: rios de 1ª ordem (entre 50 e 200 m), 2ª ordem (entre 10 e 50 m) e 3ª ordem (menos de 10m). Para a categorização foi utilizada uma imagem da banda 5 do TM/Landsat-5 restaurada para 15m. É importante mencionar que neste processo a imagem é realçada a partir da aplicação de um filtro lineal específico reduzindo o efeito de borramento da imagem. Deste modo o objetivo deste procedimento foi facilitar a categorização da rede de drenagem segundo sua largura.

Os planos de informação correspondentes a cada um dos itens especificados no artigo 2 do Código Florestal Brasileiro foram unidos em um único plano de informação. Finalmente, utilizando esse plano de informação resumo, foi gerado o buffer, segundo o estabelecido no CFB, ficando delimitadas as Áreas de Preservação Permanente.

Como o mapa de usos de solo para os cinco anos agrícolas tem uma resolução espacial de 30 metros, existe um risco importante de identificar como transgressão ao código algumas áreas na borda de rios de 3ª ordem cuja faixa de preservação é de 30 metros. Isto pode acontecer porque o valor de radiância de um *pixel* é uma média ponderada dos valores de radiância de seus componentes, de modo que um *pixel* com mata e pasto pode não ser classificado como mata e, portanto, ser considerado como transgressão ao código. É por esta razão que as regiões de APPs foram categorizadas em áreas de alta, média e baixa confiabilidade à transgressão, dependendo da largura da faixa de preservação estabelecida pela Lei: 100m, 50m e 30m, respectivamente.

A partir do cruzamento booleano entre o plano de informação das Áreas de Preservação Permanente (APP) e os planos de informação dos usos do solo para cada ano agrícola foram identificadas as transgressões ao Código Florestal Brasileiro (CFB). O critério

utilizado foi que toda área de preservação permanente que coincidissem com um uso de solo que não fosse floresta seria uma transgressão ao código. Na Figura 4.5 são detalhados os passos utilizados para definir as APP e identificar as áreas de transgressão ao CFB.

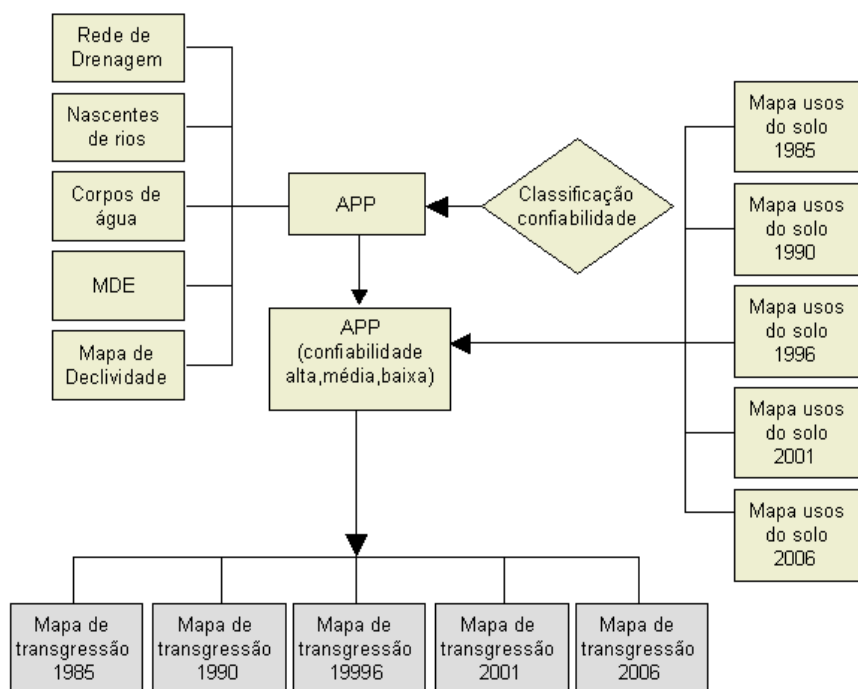


Figura 4.5 – Fluxograma de identificação das áreas de transgressão ao CFB.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao aplicar a metodologia descrita no capítulo 4. Inicialmente são analisadas as informações de campo e os produtos obtidos após do pré-processamento das imagens satelitais. Posteriormente são apresentados e discutidos os resultados das quatro etapas de análise em ordem sequencial segundo fluxograma metodológico.

5.1 Trabalho de campo

A missão de campo foi realizada na segunda quinzena do mês de julho de 2006. Durante esse período o satélite Landsat 5 percorreu a órbita 225 coincidente com o município de Campo Verde (22/07/2006). Uma semana depois o satélite percorreu a órbita 226 coincidente com o município de Primavera do Leste (29/07/2006). As imagens de ambas datas foram utilizadas nas análises espectro temporal e multitemporal-sazonal.

Durante o trabalho de campo foram identificados 960 pontos amostrais correspondentes aos diferentes usos de solo, visitados doze talhões de algodão já colhidos, e entrevistados 12 fazendeiros. Algumas das informações obtidas das entrevistas são apresentadas no parágrafo seguinte.

A maioria dos fazendeiros afirmou que os principais empreendimentos agropecuários da região começaram nos anos 70. Deste modo, áreas que tiveram o Cerrado removido foram inicialmente destinadas ao uso pecuário e, depois na maioria dos casos, foi cultivado arroz durante um ou dois anos. Nos anos 80, com a implementação da prática de correção dos solos utilizando calcário, iniciou-se o período de expansão da cultura da soja na região. Alguns anos depois (anos 90) foi introduzido o cultivo do milho, utilizado para a rotação com soja ou como cultura de entressafra. O algodão começou a ser cultivado na região a partir de 1996.

Em relação ao sistema atual de rotação de culturas, pode-se dizer que varia segundo a fazenda. Geralmente, na entressafra os produtores de soja utilizam milho safrinha ou milheto caso a variedade de soja seja tardia. Nas fazendas onde é cultivado algodão, a

rotação mais comum é algodão-milheto-algodão. No entanto, o sistema de rotação agrícola está ligado às características agrônômicas do talhão e aos preços de mercado, entre outros fatores. Desse modo, alguns fazendeiros utilizam o sistema de rotação “2 anos de algodão e 1 ano de soja” ou “2 anos de algodão e 2 anos de soja”. Depois, na entressafra utilizam milho após a soja, e milheto após o algodão.

Na área de estudo, o algodão é semeado nos meses de dezembro e janeiro. A colheita começa em junho e pode chegar até setembro. Antes da semeadura, segundo as condições do solo, alguns produtores fazem subsolagem e calagem. O espaçamento de plantio mais utilizado é 0,90 metros entre fileiras por 0,10 metros entre plantas. As variedades mais cultivadas são Bayer-966, Ita 90, Fabermax 966 e FMT-701. O número de aplicações necessárias para o controle de pragas e doenças depende do ano e do local, mas, segundo os entrevistados, o número pode ser de 12 a 30 aplicações por ciclo. Alguns produtores utilizam desfoliante e indutor de amadurecimento em talhões para adiantar a colheita em até trinta dias com o objetivo de evitar as chuvas e diminuir a queda natural dos capulhos de algodão localizados na base da planta. Após a colheita os produtores roçam a cultura e utilizam herbicida ou gradeiam o solo para evitar a propagação do bicudo do algodoeiro. A produtividade nos municípios oscila entre 260-285 arrobas/ha; no entanto, foram visitadas fazendas onde a produção já alcançou 300 a 310 arrobas/ha.

5.2 Normalização

Utilizando amostras de solo gradeado, mata, cerrado e água foi comparada a imagem de referência em relação às imagens normalizadas e sem normalizar. Foi constatado que para os meses de junho, julho e agosto a normalização mostrou importantes semelhanças entre a referência e a imagem normalizada. Para as imagens de abril e maio foram observadas algumas discrepâncias para a mata, sendo verificado que os valores na banda 4 foram menores que a referência. Uma possível razão disso é a diferença nas condições ambientais, já que as imagens de abril e maio correspondem ao fim do período úmido, ao passo que a imagem de referência corresponde ao período seco.

5.3 Análise espectro-temporal a partir de dados orbitais

Nesta etapa foram utilizadas 48 amostras para a órbita 226 e 51 amostras para a órbita 225. As imagens satelitais utilizadas corresponderam ao período de abril a agosto de 2006. Os “usos do solo” analisados foram Algodão, Milho, Milheto, Mata e Cerrado.

Partindo de uma análise global dos comportamentos espectrais, as amostras de cada cultura foram ordenadas em subgrupos segundo seu comportamento espectral. Este procedimento permitiu fazer uma análise mais detalhada, uma vez que para um mesmo uso de solo detectaram-se diferenças relacionadas principalmente com a data de plantio, tipo de manejo, etc.

A seguir apresentam-se conjuntos de gráficos de superfície para as principais culturas de inverno. Na Figura 5.1a pode-se observar para o algodão que desde abril até princípios de junho o comportamento espectral é típico de uma cobertura vegetal com intensa atividade fotossintética. Isto é notado pelos elevados valores de reflectância no infravermelho próximo (banda 4) e sua ampla diferença com relação às bandas do espectro visível, em especial as bandas 2 e 3. Neste período, as bandas do infravermelho médio (bandas 5 e 7) não sofrem grandes mudanças, e seus valores são baixos em relação à banda 4, o que indica um bom estado hídrico da cultura.

A partir do mês de junho, que coincide com o período de colheita do algodão, acontecem importantes mudanças no seu comportamento espectral. Os valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 5 e 7 aumentam consideravelmente e se produz uma diminuição na banda 4 como resultado da necrose natural ou provocada das folhas. A partir desta data o comportamento espectral tem estreita relação com a presença de componentes com baixo teor hídrico, como folhas secas, plumas de algodão e solo.

A mata ciliar caracteriza-se por ter pequenas mudanças ao longo do tempo em todas as bandas consideradas (Figura 5.1b). O comportamento espectral é típico de uma cobertura vegetal com importante diferença entre as bandas 3 e 4. Na região do visível o valor máximo está centrado na banda 2 (verde).

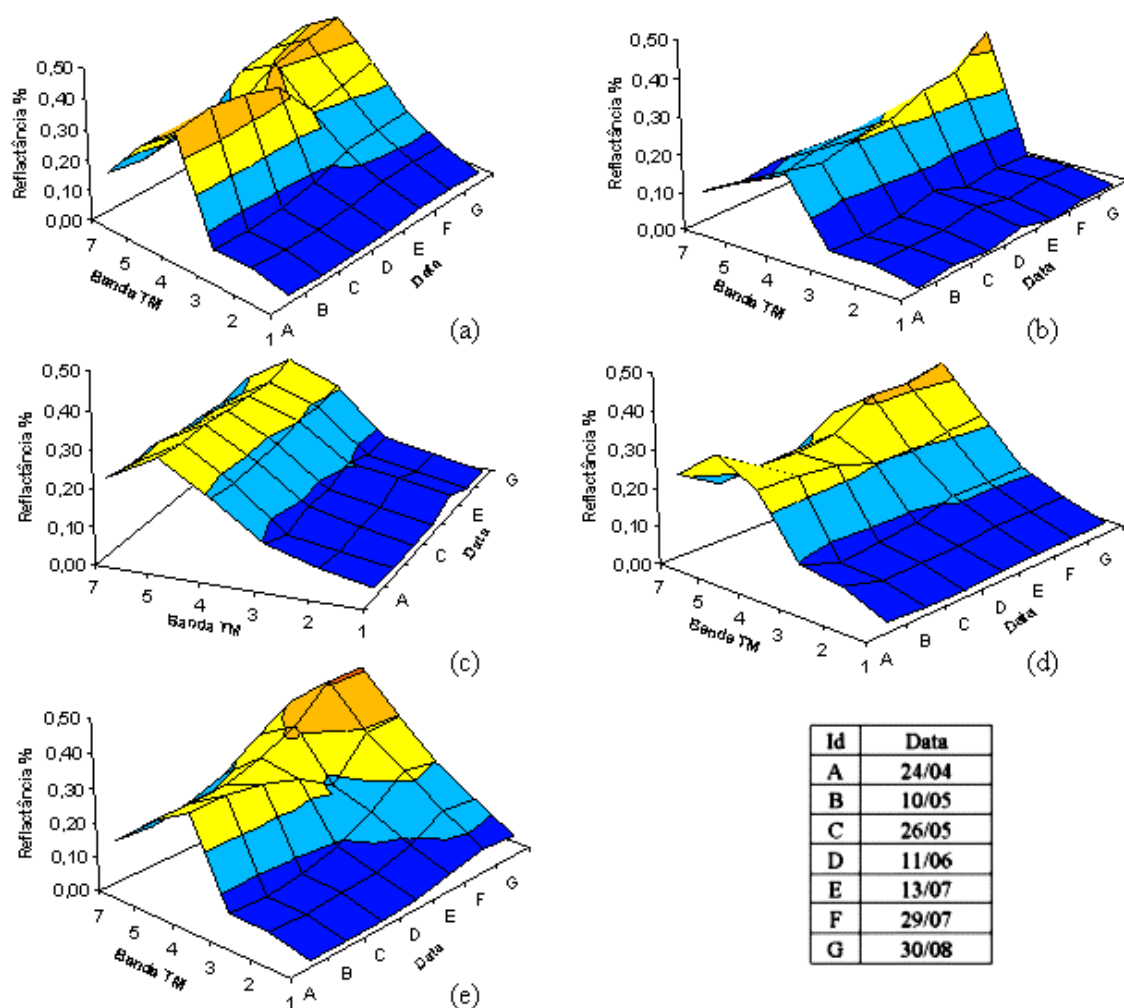


Figura 5.1 Curvas espectrais: (a) algodão, (b) mata, (c) cerrado, (d) milheto e (e) milho.

Com respeito ao bioma cerrado as bandas analisadas não apresentam grandes mudanças ao longo do tempo (Figura 5.1c). No entanto, neste caso os valores na banda 5, relacionados com o conteúdo de umidade, são superiores aos da banda 4 em todos os casos, o que permite inferir que este tipo de cobertura é afetado pela falta de chuvas no período de inverno.

O milheto apresenta um comportamento espectral de uma cultura em crescimento vegetativo desde o mês de maio até junho (Figura 5.1d). Anterior a este período (abril), o comportamento corresponde à palha de soja ou de milho de verão. Como é semeado fora do período chuvoso, seu crescimento é menos intenso e pode ser percebido por uma diferença não muito marcada entre as bandas 4 e 3 comparativamente com as outras

culturas agrícolas. Nos meses de julho e agosto, o comportamento espectral é típico de material vegetal com baixo conteúdo de umidade, e presença de solo.

Pela observação da Figura 5.1(e) pode-se afirmar que a etapa de crescimento vegetativo do milho, caracterizada por altos valores na banda 4 e valores mínimos para a banda 3, corresponde ao intervalo entre o mês de abril e princípios de junho. Destaca-se claramente o aumento progressivo dos valores de reflectância nas bandas 1, 2, 3, 5 e 7. Esse aumento é muito importante nas datas de julho e agosto, coincidentes com o período onde os restos de colheita do milho ficam esparsos no campo, formando uma camada de material seco e de coloração esbranquiçada

Pela observação da Figura 5.2 é possível analisar a evolução do índice de diferença normalizada (NDVI) ao longo da série temporal para as principais culturas de inverno, mata e cerrado, para o ano de 2006.

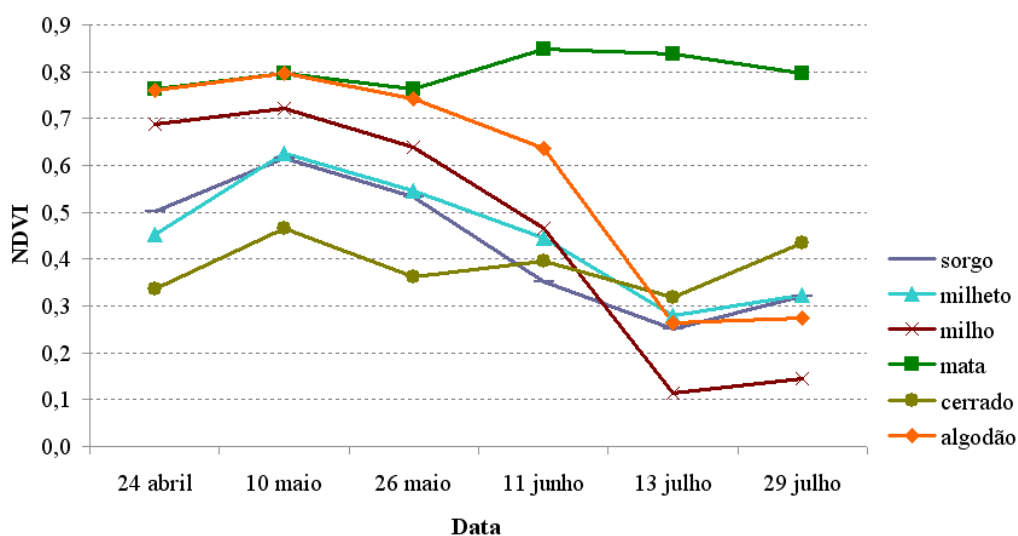


Figura 5.2 – Valores de NDVI para as principais culturas de inverno, mata e cerrado, para o ano de 2006.

O algodão apresenta altos valores nas primeiras três datas consideradas (abril-maio) devido à intensa atividade fotossintética. Nos meses seguintes a queda do valor do NDVI é marcante, coincidente com a etapa de colheita da cultura. Nessa etapa o comportamento espectral tem maior relação com o componente solo e material vegetal

seco. Este padrão variável também é observado na cultura de milho; no entanto, os valores de NDVI são menores em relação ao algodão. Esse fenômeno poderia ser explicado pela diferença no mecanismo de extinção da luz entre as espécies, uma vez que as suas arquiteturas vegetais são diferentes. Deste modo, considerando que fatores como densidade e orientação das folhas definem a arquitetura do dossel (PONZONI, 2001), o algodão - caracterizado por uma distribuição angular foliar planófila - favorece a interação da energia solar com as folhas, maximizando a relação infravermelho próximo/vermelho.

O sorgo e o milheto apresentam valores menores de NDVI, sendo menos destacadas as variações do índice entre o período de máximo crescimento vegetativo e a colheita. Uma das possíveis causas disto é o fato de que estas culturas de ciclo curto são semeadas no período seco, quando a umidade disponível para a planta é menor.

A mata ciliar apresenta valores altos e pouco variáveis ao longo da série temporal, pois por ser uma cobertura vegetal natural, sofre mudanças sazonais de menor intensidade em caso não experimentar intervenção antrópica. Finalmente, no caso do cerrado o índice sofre poucas mudanças no período analisado, da mesma forma que a mata ciliar. No entanto, os valores de NDVI são menores. Isto poderia estar relacionado com a porcentagem de cobertura com árvores e pastos. Desse modo, áreas com maior proporção de pastos apresentariam menores valores de NDVI durante o período de estiagem devido à presença de material seco e solo.

Uma análise mais detalhada permitiu comprovar que alguns talhões de milheto apresentaram valores de NDVI elevados no mês de abril, semelhantes aos do algodão. Nessas áreas, possivelmente a cultura foi semeada cedo, após a colheita da soja precoce, e seu maior crescimento vegetativo foi uma consequência das chuvas de fins do verão. Em outros talhões semeados depois da soja tardia os valores do índice são menores.

Com o intuito de reconhecer as datas e as bandas mais adequadas para identificar a cultura do algodão e outros usos de solo de importância, foram construídos gráficos de linhas para as principais culturas, mata e cerrado para cada data (Figura 5.3).

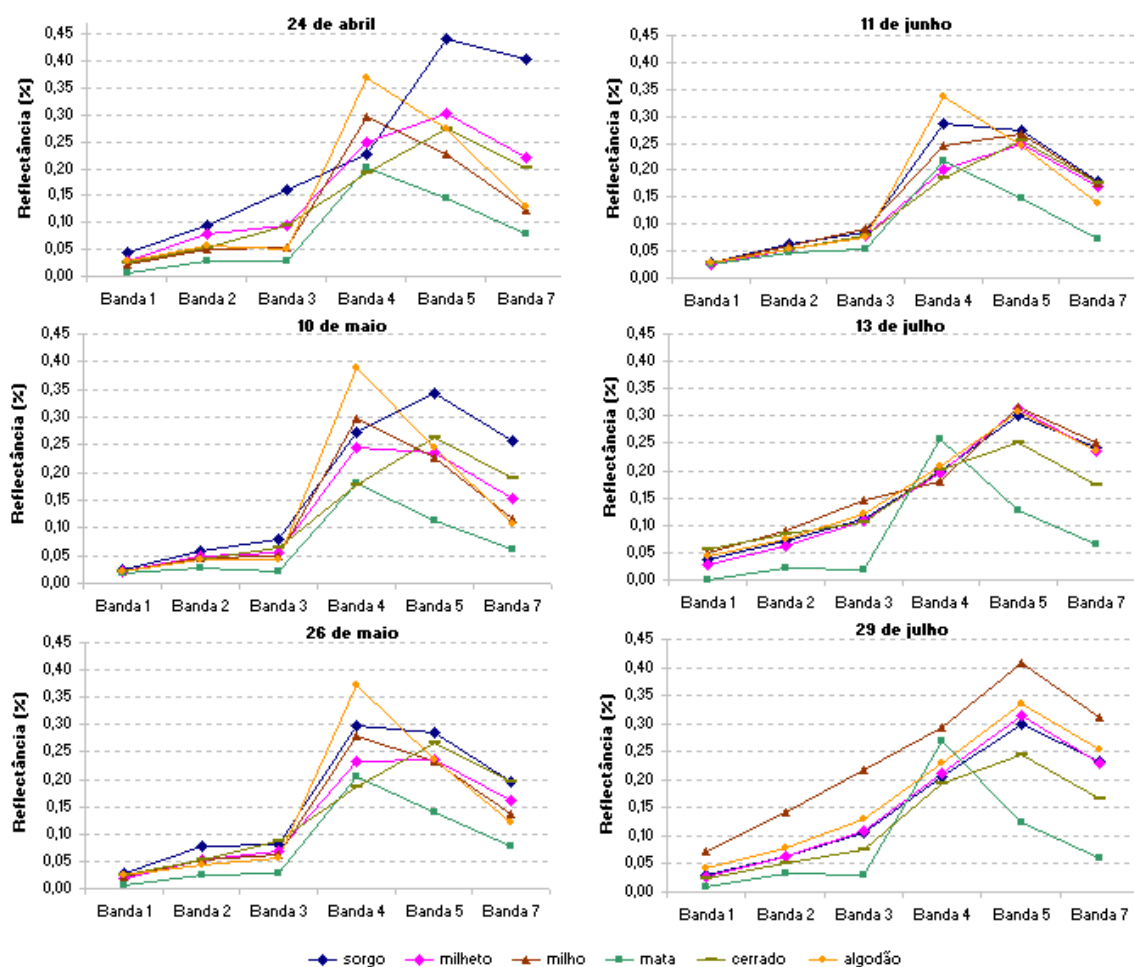


Figura 5.3 – Análise espectral comparativa para as principais culturas de inverno, mata e cerrado para o ano de 2006.

O algodão, como foi mencionado anteriormente, tem uma importante atividade fotossintética até o mês de junho. Apesar disso, constata-se que no mês de abril e na primeira quinzena de maio as diferenças espectrais em relação às outras culturas, principalmente na banda 4, são maiores. Deste modo, é recomendado utilizar imagens dessas datas para identificar o algodão, minimizando a confusão com culturas como milho e sorgo. No caso do milho, mesmo apresentando algumas diferenças com o algodão nas datas mencionadas anteriormente, é recomendado utilizar imagens do mês de julho e agosto após a colheita, quando as diferenças são maximizadas para as bandas 2, 3, 4, 5 e 7. Para a mata as imagens dos meses de julho e agosto são as recomendadas, pois nessas datas a confusão com as culturas invernais é mínima, particularmente nas

bandas 3, 5 e 7. Isto ocorre porque as culturas apresentam um comportamento espectral característico de resíduos vegetais e solo. Em relação ao cerrado, a data ótima para sua individualização é o mês de julho. No entanto, a sua correta identificação dependerá em grande medida da maior ou menor presença de pastos. Em este sentido é importante mencionar que a maior cobertura herbácea em alguns casos é uma consequência de um processo de desmatamento, deste modo áreas mais degradadas poderiam ser identificadas como pousio.

Para a análise dos dados de campo sob outra perspectiva, foram elaborados gráficos da evolução temporal das bandas TM nas seis datas consideradas. Em cada gráfico foi comparada a cultura do algodão em relação a usos de solo como milho, milheto, mata e cerrado (ver Apêndice C). A partir dessa análise foram estabelecidas algumas possíveis operações matemáticas entre bandas que permitiriam reduzir os erros na identificação das culturas. No entanto, foi verificado que a implementação deste tipo de abordagem, aumentaria desnecessariamente a complexidade do processamento.

Em relação ao conjunto de amostras de campo utilizadas para as análises espectrais, uma delas apresentou uma particularidade interessante, o que permitiu estabelecer algumas afirmações. Na Figura 5.4. podem ser observadas as curvas espectrais de uma amostra de algodão e de feijão irrigadas por sistema de pivô.

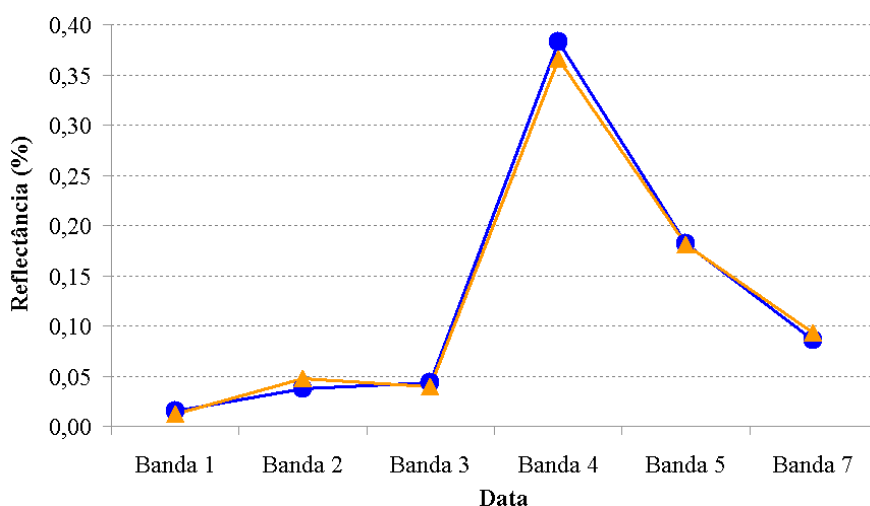


Figura 5.4 – Curvas espectrais de algodão e feijão irrigado.

A amostra de algodão irrigada apresentava a particularidade de estar em pleno crescimento vegetativo no mês de julho, sendo que nessa época do ano a maioria dos talhões de algodão estavam sendo colhidos. Devido ao deslocamento do ciclo vegetativo, a amostra apresentava um comportamento espectral diferenciado em relação às outras culturas invernais. Ao ser comparada com um talhão de feijão irrigado por pivô central, constatou-se que no mês de julho o comportamento espectral entre as amostras era muito similar.

Uma possível explicação para esta semelhança é a similaridade na arquitetura do dossel do algodão e do feijão, já que ambas as espécies são planófilas. Este tipo de estrutura vegetal favorece a interação da folha com a energia solar durante a etapa de intenso crescimento vegetativo. Isto pode ser comprovado pelos altos valores de NDVI registrados para estas espécies durante o período de abril a julho de 2006. Outros fatores que também poderiam explicar esta semelhança espectral entre o algodão e o feijão são tamanho, geometria e textura das folhas (PONZONI, 2001). Finalmente, é importante acentuar que a confusão entre o algodão e o feijão irrigado poderia representar um problema na identificação do algodão em futuras análises, caso este sistema de produção viesse a ser mais difundido.

Como explicado anteriormente, o ciclo do algodão é dividido em diferentes fases fenológicas, sendo o período entre a abertura dos capulhos e a colheita os mais destacados visualmente, causado pela cor branca das plumas do algodão. Em função disso, foi feita uma análise mais detalhada para entender as mudanças espectrais que acontecem neste período. Na Figura 5.5 são apresentados os valores de reflectância para as bandas do sensor TM em três datas: final da fase de crescimento (4/06), fase de pré-colheita (6/07) e fase de pós-colheita (22/07).

Observa-se na figura que o comportamento espectral segue um padrão ligado com as regiões do espectro eletromagnético (visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas). Para as bandas do visível (banda TM-1, 2 e 3) se detecta um pequeno aumento de reflectância no período de pré-colheita, depois uma sensível diminuição. Isto poderia ser explicado pela caducidade das folhas na etapa pré-colheita e pelo

aumento do componente “solo” após a colheita. Na região do infravermelho próximo a perda dos pigmentos de clorofila se expressa pela diminuição da reflectância entre a fase final de crescimento e a fase pós-colheita. Por fim, para as bandas 5 e 7, no infravermelho de ondas curtas, o aumento da reflectância é uma consequência da desidratação e morte das folhas.

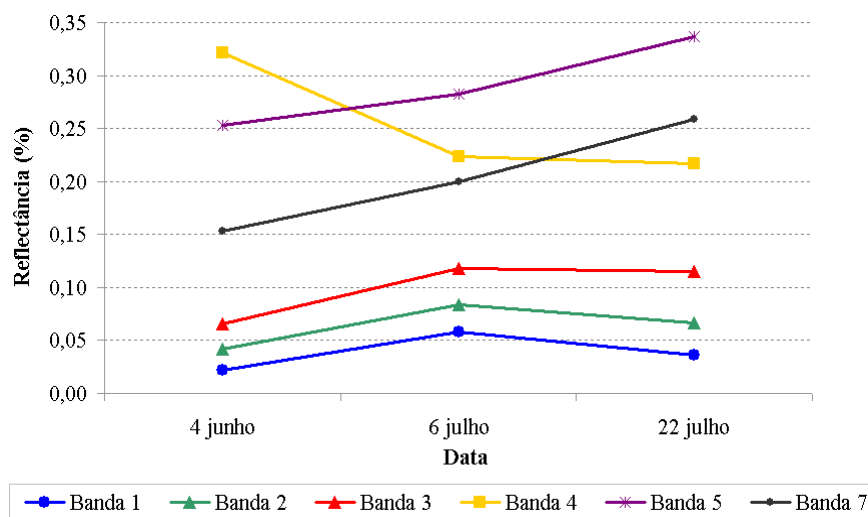


Figura 5.5 – Curvas espectrais do algodão no período de pré a pós-colheita.

Considerando as importantes mudanças que ocorrem em um talhão de algodão no período de pré e pós-colheita foi realizado um experimento utilizando os dados de perda de algodão obtidos em campo. O objetivo do experimento foi verificar se os dados orbitais apresentam sensibilidade à quantidade de algodão que fica no campo após da colheita.

Partindo da premissa de que os principais componentes responsáveis pelo valor de reflectância de um *pixel* de algodão após a colheita são: solo, matéria seca e plumas, foi feita uma comparação entre a reflectância média do solo (latossolo vermelho escuro) e a reflectância de *pixels* de algodão colhido com diferentes níveis de perda. Na Figura 5.6 é apresentado o resultados das diferenças de reflectância entre o solo e o algodão colhido, para as bandas 2 e 3. Estas bandas foram escolhidas porque as diferenças foram maiores em comparação com as outras bandas TM.

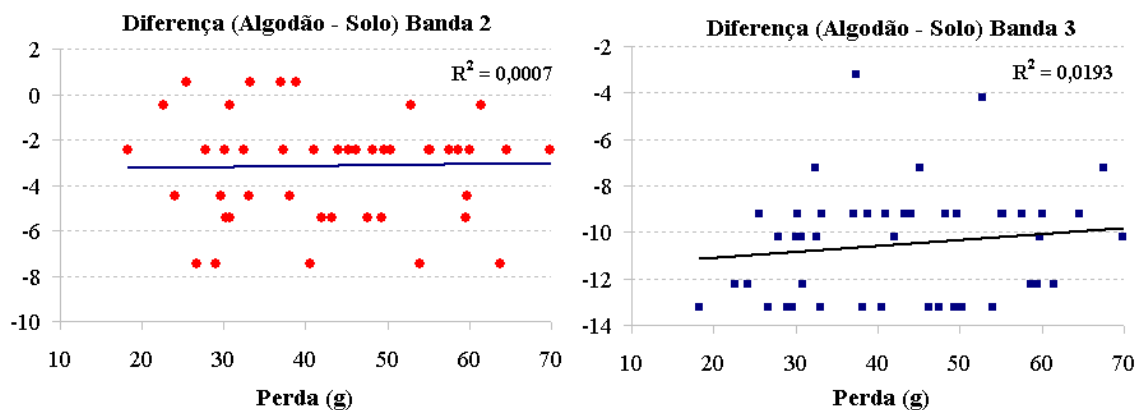


Figura 5.6 – Funções de regressão entre as variáveis “diferença de reflectância entre o algodão e o solo” e “perda de algodão” para duas bandas.

Como pode ser visto na Figura 5.6, não foi possível estabelecer uma relação entre as variáveis “diferença de reflectância entre o algodão e o solo” e “quantidade de algodão no campo após da colheita”. Uma das possíveis explicações para isto é que as partículas de solo interagem com o algodão de modo que o comportamento espectral das plumas é modificado, confundindo seu comportamento espectral com o solo. Deste modo, uma maior presença de plumas não necessariamente indicará uma maior diferença com o componente solo. Outra possível explicação para isto é a pouca representatividade de uma amostra de 1 m² em relação ao tamanho de um *pixel* de 900 m². Esta afirmação se vê reforçada pelo fato de ter sido observada visualmente uma grande variabilidade na distribuição das plumas dentro dos talhões de algodão já colhidos no momento da amostragem em campo

5.4 Análise espectral em laboratório

Como apoio às observações de campo e com o objetivo de entender o comportamento espectral da cultura do algodão no período de colheita foi realizado uma análise espectral de amostras de algodão limpo, algodão com restos de material seco, e material seco (folhas e hastes). Neste sentido, foram realizadas medições do fator de reflectância bidirecional no Laboratório de Radiometria (LARAD) do INPE, obtendo-se as curvas espectrais das amostras. Na Figura 5.7 são apresentados os três espectros.

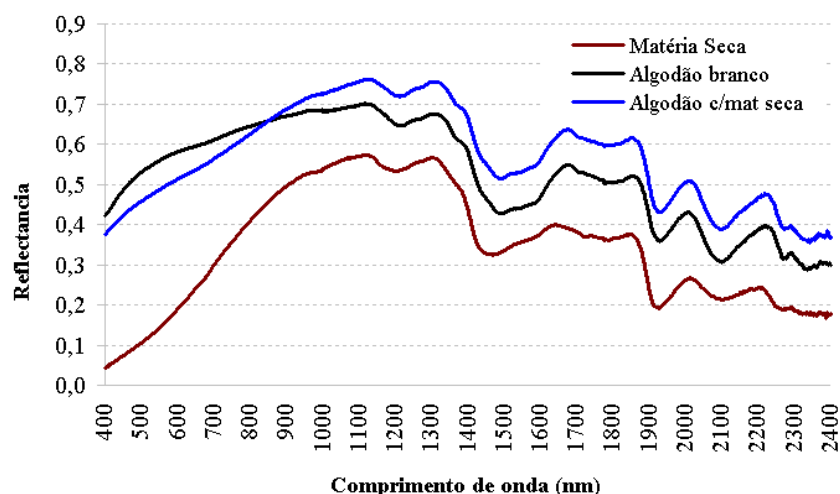


Figura 5.7 – Curvas espectrais para matéria seca, algodão branco e algodão com matéria seca.

Ao analisar a Figura 5.7, de forma geral destacam-se os altos valores de reflectância para o algodão limpo e sujo, sendo que para o primeiro os valores são mais elevados. As diferenças entre os valores do espectro correspondente ao azul, verde e vermelho são menores no caso do algodão limpo, devido à sua coloração branca. Para o algodão com restos de matéria seca os valores no vermelho são maiores em relação ao azul e verde devido à presença de partículas de solo, folha e hastes. Em relação à matéria seca, observa-se claramente que os valores máximos localizam-se na faixa do vermelho, seguido pelo verde, o que explica a coloração marrom típica do material vegetal seco. Na região do infravermelho próximo e de ondas curtas, o perfil da curva é similar para os três alvos, sendo facilmente identificadas as faixas de absorção pela água em 1.200nm, 1.400nm e 1.900nm.

Com o objetivo de analisar com mais profundidade os componentes do algodão, elaboraram-se as curvas resultantes das diferenças entre os alvos (Figura 5.8). Pode-se observar que os maiores valores das curvas de diferença encontram-se na faixa de 400 a 700 nm. Apoiado nesta evidência se esperaria que a maior diferença espectral entre um campo de algodão pronto para a colheita e um já colhido estivesse localizadas na faixa do visível. A intensidade dessas diferenças dependerá da localização dos frutos na

arquitetura da planta e do grau de contaminação das plumas do algodão com restos de folhas secas.

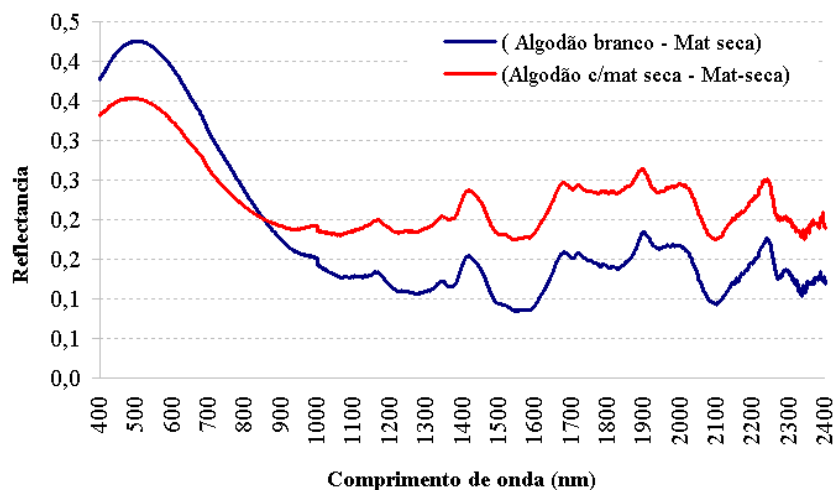


Figura 5.8 – Curvas-diferença para os componentes algodão e matéria seca

5.5 Análise multitemporal

5.5.1 Análise multitemporal-sazonal

Como foi mencionado no item 4.2.7, nesta análise foram testadas quatro técnicas: análise pós-classificação, classificação por iterações, análise discriminante e classificação multidata.

a) Análise pós-classificação

Como foi explicado anteriormente, na primeira etapa da análise foram obtidos os mapas de usos de solo para as seis datas consideradas. Foi constatado que nos mapas correspondentes às três primeiras datas (24 de abril, 10 de maio e 26 de maio) os usos de solo como algodão, milho e milheto foram, em sua grande maioria, identificados. No entanto, nos mapas temáticos obtidos a partir das imagens de 11 de junho, 13 de julho e 29 de julho foram detectadas muitas deficiências, pois estas culturas apresentavam um comportamento espectral característico de culturas em senescência (período entre pré e pós-colheita). Como exemplo dessas deficiências de mapeamento está a classificação de extensas áreas de pousio como milheto. Uma das possíveis explicações para este erro é

que o milheto em muitos casos é utilizado para evitar a erosão do solo na entressafra ficando seco em pé até a semeadura da cultura de verão. Isto favorece a confusão com áreas de pousio, onde geralmente estão presentes pastagens e resíduos de culturas anteriores. Por outro lado, o uso de solo menos afetado por este problema foi a Mata ciliar, a qual apresenta um comportamento espectral mais estável. Em menor medida isto também foi observado para o Cerrado.

Outro fator de importância que provocou deficiências no mapa temático foi a presença de nuvens e sombras, principalmente na data de 10 de maio. Nesta data foi verificado que nas regiões afetadas pela sombra a confusão nas áreas de algodão, milho e mata foi notável. Este problema esteve presente em todas as técnicas analisadas e não foi possível evitá-lo devido à falta de disponibilidade de imagens em outras datas. Este aspecto deve ser salientado pois, mesmo que o período de estudo tenha correspondido à estação de seca, a obtenção de imagens livres de nuvens constituiu um problema.

Devido aos problemas detectados nos mapas temáticos provenientes das imagens de 11 de junho, 13 de julho e 29 de julho, somente foram considerados os mapas temáticos das datas 24 de abril, 10 de maio e 26 de maio na obtenção do mapa de usos de solo final. Deste modo, a regra de decisão estabelecida foi que um *pixel* pertencia a uma determinada classe temática sempre que houvesse sido associado a esta classe nas três datas consideradas.

Como resultado da aplicação da metodologia explicada anteriormente no item 4.2.7, foram obtidas oito classes temáticas em base 10 por uso do solo (111, 110, 101, 011, 100, 010, 001, 000). As classes temáticas indicaram o número de vezes que esse *pixel* foi classificado com determinado uso de solo e em que data isso aconteceu. Por exemplo, um *pixel* correspondente à classe algodão 111 indicou que esse *pixel* foi classificado como algodão nas três datas consideradas (24 de abril, 10 de maio e 26 de maio).

Na Figura 5.9 são apresentados dois gráficos com a porcentagem correspondente às sete classes obtidas (foi descartada a classe 000) para a cultura de algodão e milheto. Foram escolhidas estas duas classes porque representaram dois casos com marcadas diferenças.

Observa-se que no caso do algodão mais de 60% dos *pixels* foram identificados como algodão nas três datas consideradas. No entanto, 14% dos *pixels* foram identificados como algodão em duas datas e 23% somente em uma data. As classes que não cumpriram com a regra de decisão estabelecida foram analisadas com o intuito de detectar possíveis problemas na etapa de classificação. Deste modo, algumas destas classes foram incorporadas à classe algodão, que já tinha sido definida segundo a regra de decisão. Um exemplo disto é a classe 011 onde foi possível identificar *pixels* que não tinham sido considerados como algodão na primeira data por terem sido classificados como milheto. Essa última observação reforça a idéia de que o milheto, semeado depois de uma cultura de verão precoce, apresenta um comportamento espectral que pode ser confundido com o algodão. Finalmente, as áreas onde o algodão foi identificado somente em uma data, em parte eram coincidentes com talhões de milho e, dependendo do caso, foram incorporados a esta classe.

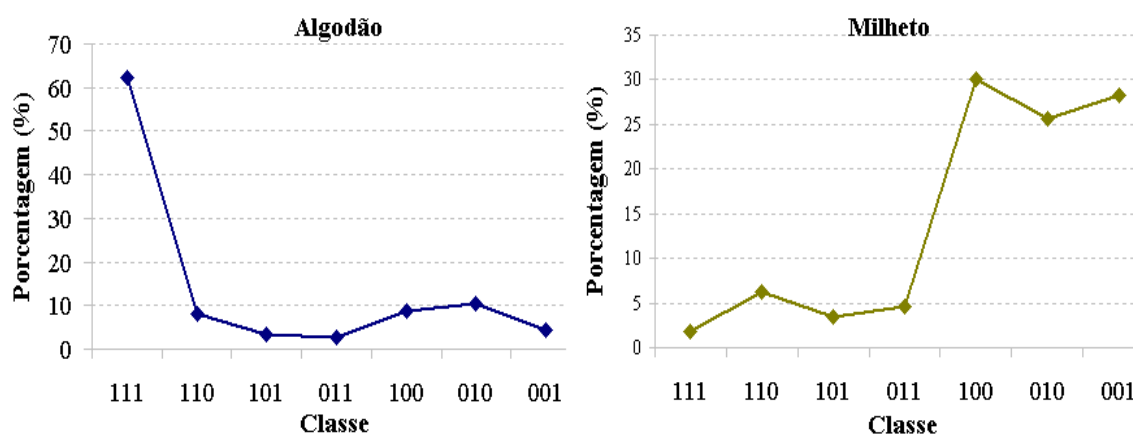


Figura 5.9 – Curva percentual das sete classes obtidas para algodão e milheto.

Ao analisar o gráfico do milheto (Figura 5.9), destaca-se claramente que a classe 111, onde os *pixels* foram classificados como milheto nas três datas, representa uma pequena porcentagem do total. Desse modo, 83% dos *pixels* identificados como milheto foram classificados em uma única data (classes: 100, 010, 001). Este resultado salienta a hipótese de que esta cultura apresenta um comportamento espectral que em muitas oportunidades pode ter semelhança com usos de solo como pousio ou pastagem natural.

Em função dos resultados obtidos foram considerados como milheto a classe 111 e algumas áreas correspondentes à classe 110 e 101.

As análises apresentadas para as classes algodão e milheto também foram feitas para milho, mata e cerrado com o intuito de diminuir os erros de classificação. Comprovou-se que a exatidão global aumentou 4% com a incorporação de algumas classes que teriam sido descartadas segundo a regra de decisão originalmente estabelecida (ver Apêndice D). Como consequência disso, a etapa de obtenção do mapa temático final foi muito demorada já que poucos *pixels* cumpriram a condição de terem sido classificados com a mesma classe temática em três datas consecutivas.

Por outro lado, além de ser uma técnica demorada, deve-se considerar que a exatidão do mapa final geralmente é baixa, já que segundo o mencionado por Coppin et al. (2004) a exatidão desse mapa é calculada como um produto das exatidões dos mapas temáticos de cada data. Neste caso, a exatidão global do mapa final foi de 0,43, resultante do produto de 0,80 (24 de abril) x 0,71 (10 de maio) x 0,75 (26 de maio).

b) Classificação por iterações

Como foi explicado anteriormente, em uma primeira etapa foram obtidos seis mapas temáticos correspondentes às datas de 24 de abril, 10 de maio, 26 de maio, 11 de junho, 13 de julho e 29 de julho. A partir desses mapas, e utilizando um conjunto de amostras de campo, foram calculadas as exatidões de cada classe temática para cada data.

Na Tabela 5.1 é possível observar os resultados obtidos na primeira iteração, onde é especificada a exatidão global para cada data assim como a exatidão do produtor (Ex P) e do usuário (Ex U) para as classes temáticas.

Pode-se destacar que, das seis datas analisadas, a de maior exatidão global correspondeu à imagem de 24 de abril. No entanto, a imagem de 11 de junho apresentou um baixo valor de exatidão devido ao efeito das nuvens. Ao analisar as classes temáticas individualmente, as de maior exatidão são Mata, Cerrado e Algodão. Em função dos resultados essas classes foram escolhidas na primeira iteração. Além de levar em conta a

exatidão das classes, foi analisada a matriz de confusão do mapa temático de 24 de abril, e foi comprovado que estas três classes não apresentavam confusão entre si, o que salientou o acerto da escolha feita. A seguir, a máscara foi construída a partir das áreas de algodão, mata e cerrado dessa imagem temática. Posteriormente, as seis imagens foram recortadas e classificadas novamente.

Tabela 5.1 - Valores de exatidão para as imagens do ano 2006 - 1ª iteração.

Data	Exatidão	Algodão		Milho		Milheto		Mata		Cerrado		Outros-usos	
	Global	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U
24/4	0,80	0,94	0,97	0,88	0,74	0,18	0,40	1,00	0,92	0,92	1,00	0,63	0,57
10/5	0,71	0,78	0,81	0,85	0,76	0,09	0,10	0,83	0,83	0,75	0,90	0,63	0,60
26/5	0,75	0,84	0,96	0,69	0,82	0,27	0,38	0,92	0,92	0,75	0,90	0,84	0,50
11/6	0,58	0,63	0,87	0,38	0,53	0,27	0,27	0,83	0,91	0,75	0,75	0,68	0,36
13/7	0,68	0,66	0,88	0,69	0,58	0,36	0,36	1,00	0,86	0,67	1,00	0,68	0,54
29/7	0,63	0,59	0,61	0,77	0,71	0,27	0,43	1,00	0,92	0,83	0,83	0,37	0,33

Na segunda iteração as classes temáticas consideradas foram: Milho, Milheto e Outros-usos. Deste modo, após obter os mapas temáticos, foram elaboradas as matrizes de confusão e obtidos os valores de exatidão (Tabela 5.2). A partir da análise da tabela, assim como das matrizes de confusão de cada mapa temático, foi escolhida como classe de maior exatidão o milho correspondente ao mapa temático de 24 de abril. Deste modo, uma nova máscara foi construída a partir desta classe, e as seis imagens foram novamente classificadas e recortadas.

Tabela 5.2 - Valores de exatidão para as imagens do ano 2006 - 2ª iteração.

Data	Exatidão	Milho		Milheto		Outros-usos	
	Global	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U
24/4	0,84	0,93	0,79	0,22	0,44	0,70	0,64
10/5	0,75	0,90	0,81	0,13	0,14	0,70	0,65
26/5	0,79	0,74	0,87	0,31	0,42	0,73	0,55
11/6	0,62	0,43	0,58	0,31	0,31	0,75	0,41
13/7	0,72	0,74	0,63	0,38	0,40	0,75	0,59
29/7	0,67	0,82	0,76	0,29	0,47	0,44	0,38

Na terceira iteração as classes temáticas consideradas foram: Milheto e Outros-usos. Após obter os mapas temáticos foram elaboradas as matrizes de confusão e obtidos os

valores de exatidão (Tabela 5.3). Como a classe de maior interesse na terceira interação era o Milheto, a data escolhida para definir esta classe foi 26 de maio. No entanto, podendo escolher indistintamente a data de 10 de maio ou 26 de maio, optou-se por esta última, pois a exatidão da classe Outros-usos era maior.

Tabela 5.3 - Valores de exatidão para as imagens do ano 2006 - 3ª interação.

Data	Exatidão	Milheto		Outros-usos	
	Global	Ex P	Ex U	Ex P	Ex U
24/4	0,65	0,33	0,50	0,82	0,69
10/5	0,65	0,50	0,50	0,73	0,73
26/5	0,68	0,50	0,50	0,77	0,77
11/6	0,58	0,40	0,50	0,71	0,63
13/7	0,61	0,33	0,40	0,75	0,69
29/7	0,44	0,17	0,17	0,58	0,58

Finalmente, todas as classes temáticas obtidas nas três interações foram unidas em um único mapa. A seguir, utilizando pontos amostrais foi construída a matriz de confusão para o mapa final (ver Apêndice E). Ao analisar a matriz de confusão do mapa final foi possível verificar que o aumento da exatidão de classes como Milho e Milheto foram baixos em comparação aos valores de exatidão das mesmas classes no mapa temático de 24 de abril de 2006 (ver Apêndice E). Esta afirmação é salientada pelo fato de que o mapa temático dessa data foi escolhido na primeira e segunda interação. Isto leva a pensar que as três etapas de classificação foram desnecessárias, já que a exatidão das classes temáticas não foi incrementada em grande medida.

É importante salientar três aspectos em relação à implementação desta técnica. O primeiro é que a técnica pode ser excessivamente trabalhosa no caso em que se deseje identificar numerosas classes temáticas, uma vez que o número de interações necessárias pode ser muito grande. Em segundo lugar, é necessário contar com um grande número de pontos amostrais para calcular as matrizes de confusão, pois em cada interação parte dos pontos deixam de ser úteis, já que coincidem com as máscaras que são criadas em cada etapa. Deste modo, existe o risco de que algumas classes temáticas sejam deficientemente representadas em etapas posteriores, sendo o cálculo de suas exatidões muito instável. Finalmente, segundo Niel e Mc Vicar (2004), nesta técnica deve ser

levado em conta o fenômeno de propagação do erro ao longo das classificações sucessivas, o que tem estreita relação com a exatidão das classes escolhidas em cada iteração e o número de classes a serem discriminadas.

c) Análise discriminante

Utilizando os 240 pontos amostrais correspondentes às classes temáticas pré-estabelecidas, o software Statistica 6.0 definiu 25 conjuntos de funções de regressão para separar os grupos Algodão, Milho, Milheto, Mata, Cerrado e Outros-usos. Cada conjunto de funções de regressão estava composto por seis funções (uma por classe temática) e foram ordenadas desde a mais simples - com uma variável - até a mais complexa, com 25 variáveis mais a constante (ver Apêndice F). Para cada etapa de seleção de variáveis o software proporcionou diferentes informações como: classificação de casos, distância de Mahalanobis, funções de classificação por classe e matriz de classificação, entre outros. Em todos os casos a matriz de classificação foi obtida a partir dos pontos amostrais utilizados para definir as funções de regressão.

Ao analisar os modelos foi comprovado que as primeiras bandas escolhidas (variáveis) corresponderam às datas de 24 de abril e de 29 de julho. Depois, ao fazer uma observação mais detalhada das matrizes de confusão de cada etapa, foi observado que a classe Mata apresentou uma alta exatidão em modelos com poucas variáveis. Em menor medida isso também foi observado para o Algodão e o Cerrado. Em relação aos erros, os maiores corresponderam à classe Milheto, sendo necessária a utilização de modelos muito complexos para aumentar em parte a exatidão desta classe. Os principais conflitos do Milheto foram com a classe Milho e Outros-usos de solo. No entanto, foram detectado casos em que o Milheto teve conflitos com o Algodão, provavelmente porque essas amostras correspondiam a talhões vigorosos desta cultura.

Posterior a esta análise foi realizada uma avaliação quantitativa com o objetivo de determinar se a incorporação de uma nova variável representava um incremento estatisticamente significativo na exatidão global das classes temáticas. A partir do cálculo do valor z para a diferença de índices Kappa foi comprovado estatisticamente,

que a partir do modelo com três variáveis, a exatidão global não aumentava significativamente quando eram incorporadas novas variáveis (Figura 5.10).

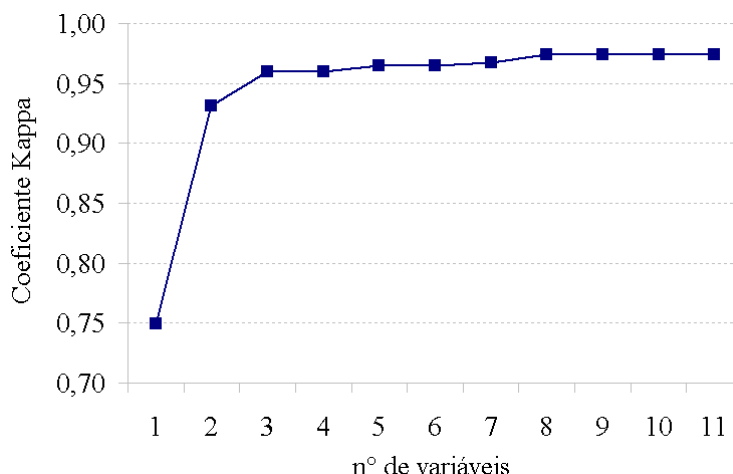


Figura 5.10 – Curva do coeficiente kappa segundo o número de variáveis consideradas.

Analizou-se com mais detalhe a evolução da exatidão para cada classe temática com o intuito de identificar a função que maximizasse a exatidão das classes de maior interesse (uso do valor z para a comparação dos coeficientes). Na Figura 5.11 são apresentados os gráficos da evolução da exatidão versus o número de variáveis do modelo para as classes Algodão e Mata. Uma das curvas representa o coeficiente kappa condicional calculado a partir da fórmula clássica (C_c) e a outra curva representa o coeficiente kappa condicional modificado (C_m).

Ao analisar as curvas correspondentes à cultura do algodão na Figura 5.11 nota-se que a estabilização do coeficiente kappa condicional acontece quando é utilizada uma função discriminante de oito variáveis. No entanto, para o coeficiente kappa condicional modificado o patamar, inferior em relação ao do outro coeficiente, é alcançado ao utilizar uma função de sete variáveis. Devido a que o coeficiente modificado é calculado levando em consideração os erros de omissão, pode-se afirmar que a utilização de funções discriminantes com 10 ou mais variáveis não diminui o número de pixels de algodão que são classificadas erroneamente como outras classes temáticas, como pode ser observado na figura. Apesar disso, deve ser destacado que os valores de ambos coeficientes são elevados.

Em relação à classe Mata é possível comprovar os altos valores do coeficiente kappa condicional e kappa condicional modificado ao utilizar uma função discriminante composta por duas variáveis. A primeira variável correspondeu à banda 4 de 24 de abril e a segunda à banda 5 de 29 de julho. O forte aumento dos valores dos coeficientes ao incorporar a segunda variável pode ser explicado pela estabilidade no comportamento espectral da mata em comparação com as culturas agrícolas de inverno, que apresentaram altos valores na banda 5 coincidente com o período de pós-colheita.

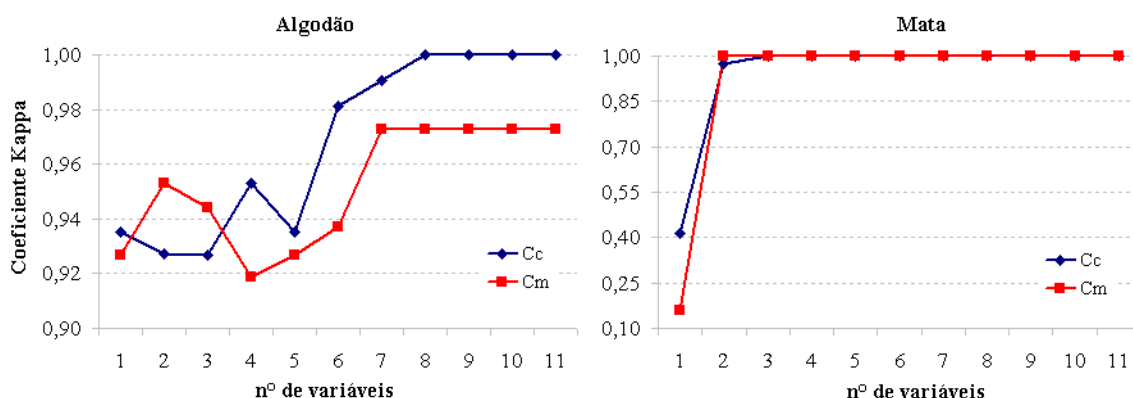


Figura 5.11 – Curvas do coeficiente kappa condicional para as classes algodão e mata.

Após ser realizado este tipo de análise para todas as classes temáticas foi comprovado que algumas aumentavam sua exatidão com a incorporação de uma quarta, quinta, sexta e até sétima variável no modelo. Mas com a incorporação de oito ou mais variáveis as mudanças eram mínimas. Em decorrência disso, foi utilizada uma função com sete variáveis para gerar o mapa temático. As variáveis escolhidas neste modelo corresponderam às bandas 2, 4 e 5 de 24 de abril, bandas 2, 4, 5 e 7 de 29 de julho, e banda 3 de 26 de maio. Após a aplicação das funções de regressão, foram obtidos as grades e depois os mapas temáticos para as classes, conforme explicado no item 4.2.7. As classes foram integradas em um único mapa; e para eliminar o efeito de ruído, característico de mapas obtidos a partir de classificações *pixel a pixel*, foi utilizado um filtro de moda 3x3. Finalmente, foi calculada a matriz de confusão para o mapa temático final (ver Apêndice G).

Em relação a esta técnica de análise, é importante destacar seu caráter iterativo, já que em função dos resultados obtidos podem ser criados novos grupos (classes). Um

exemplo disso foi a criação do grupo outros-usos, que não tinha sido considerado inicialmente. A incorporação deste novo grupo permitiu melhorar os resultados obtidos. Além disso, a técnica constitui uma ferramenta de análise exploratória muito útil no caso de trabalhar com numerosas variáveis. No entanto, quando é utilizada para a classificação de imagens não permite a inclusão de informação contextual (conhecimento em relação aos vizinhos), uma vez que a unidade de análise é o *pixel*, obtendo-se mapas temáticos com ruído.

d) Classificação multidata

Após ser aplicado o algoritmo ISODATA no conjunto de sete imagens definidas pela análise discriminante (bandas 2, 4 e 5 de 24 de abril, bandas 4 e 5 de 30 de agosto, banda 3 de 29 de julho, e banda 3 de 26 de maio) foi obtida uma imagem temática constituída por 36 classes. Com apoio de informação de campo essas 36 classes foram agrupadas nas cinco classes temáticas de interesse (Algodão, Milho, Milheto, Cerrado, Mata, e Outros usos). Foi comprovado que algumas classes não-supervisionadas eram confusas, dificultando sua associação às classes pré-estabelecidas. Finalmente, foi calculada a matriz de confusão para o mapa temático (ver Apêndice H).

e) Comparação de técnicas

Na Tabela 5.4 são apresentados os valores de exatidão global e coeficiente kappa para as diferentes técnicas aplicadas e para o mapa temático de 24 de abril. Este mapa foi incluído nesta análise comparativa porque apresentou uma alta exatidão.

Tabela 5.4 - Exatidão Global (EG) e coeficiente Kappa (CK) para as diferentes técnicas.

Pós-Classificação		Classif x Iterações		A. discriminante		Classif Multidata		Classif 24 abril	
EG	CK	EG	CK	EG	CK	EG	CK	EG	CK
0,81	0,77	0,81	0,77	0,81	0,77	0,80	0,75	0,80	0,75

Com o intuito de fazer uma análise comparativa entre as técnicas multitemporais foi realizada a comparação das técnicas duas a duas. Para isto foi calculado para cada comparação o valor Z, que permite padronizar a diferença entre as técnicas

(CONGALTON e GREEN, 1999). Uma técnica foi considerada significativamente melhor que a outra sempre que o valor Z calculado fosse superior a 1,96 para um nível de significância de 5%. Os resultados são apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Comparação estatística de técnicas (valor Z).

	Pós-Classif	C. x Iterações	A. discriminante	C. Multidata	C. 24 de abril
Pós-Classif	0	0,017	0,065	0,196	0,200
C. x Iterações		0	-0,083	0,178	0,182
A. discriminante			0	0,263	0,266
C. Multidata				0	0,004
C. 24 de abril					0

Pode ser observado que nenhuma das técnicas utilizadas foi significativamente melhor que a outra. Embora isso tenha sido comprovado, foi utilizado o coeficiente kappa condicional com o objetivo de fazer uma análise mais detalhada das classes. Foi evidenciado que para o milheto a técnica multidata foi estatisticamente pior que as outras. O milho apresentou melhores resultados na análise discriminante. Para o resto das classes (Algodão, Mata e Cerrado) não se detectaram diferenças significativas entre as técnicas. Com base nestas observações foi possível afirmar que o método mais simples, com exatidão comparável ao resto das técnicas, foi a classificação da imagem de 24 de abril.

5.5.2 Analise multitemporal interanual

Nesta etapa foram obtidos os mapas de uso do solo para os anos 1985, 1990, 1996, 2001 e 2006, com as seguintes classes temáticas identificadas: Algodão, Mata, Cerrado e Outros-usos de solo. Baseado nos resultados da análise multitemporal-sazonal foi decidido utilizar imagens do mês de abril para a obtenção dos mapas temáticos. No entanto, durante esta etapa surgiram dois problemas: um relacionado à disponibilidade de imagens livres de nuvens no mês de abril e outro às confusões da Mata e do Cerrado com outros usos de solo.

Em relação à falta de imagens livres de nuvens, priorizou-se como alternativa a utilização de imagens de maio em função do comportamento espectral do Algodão nos meses seguintes ser menos destacado, aumentando a dificuldade de sua identificação.

Para evitar as confusões da Mata e do Cerrado com outros usos de solo foram utilizadas imagens dos meses de julho ou agosto. Nestas datas as confusões eram minimizadas, pois as culturas de inverno estavam no período de senescência ou já tinham sido colhidas. Neste sentido, foi comprovado que nos anos 1985, 1990 e em menor medida no ano 1996 as confusões destas classes com outros usos de solo eram menores. A principal causa disso é que nesses anos no período de inverno não foi comum a utilização de culturas intersafras.

Com base nas premissas antes mencionadas, na Tabela 5.6 apresentam-se as imagens utilizadas nos ciclos 1985, 1990, 1996, 2001 e 2006.

Tabela 5.6 – Imagens satelitais utilizadas na análise multitemporal interanual.

Órbita	Ano				
	1985	1990	1996	2001	2006
225	10/06	21/04	05/04	19/04	24/04
				22/06	22/07
226	19/07	28/04	28/04	26/04	03/05
				29/06	29/07

As imagens foram segmentadas e em seguida classificadas utilizando o algoritmo não-supervisionado ISODATA, como foi explicado anteriormente neste documento. No entanto, na etapa de agrupamento das classes temáticas, foi necessário realizar algumas análises comparativas entre amostras de campo do ano 2006 com amostras pertencentes às classes duvidosas em outros ciclos agrícolas. Esta análise espectral comparativa foi possível graças à normalização prévia das imagens.

A partir dos mapas temáticos obtidos para cada ciclo foram realizadas análises para os usos de solo Algodão, Mata e Cerrado. A seguir são apresentados os dados de superfície para Campo Verde e Primavera do Leste (Figura 5.12). Posteriormente, é realizada uma análise mais detalhada das classes temáticas.

Na Figura 5.12 é possível observar que a maior parte dos municípios é ocupada por áreas de Cerrado e Outros-usos de solo. Ao fazer uma análise mais detalhada por classe temática observa-se a mesma tendência ao longo dos anos nos dois municípios. As áreas

de Cerrado sofreram uma importante diminuição da superfície, mas em contrapartida a classe Outro-usos de solo aumentou. Estas áreas que originariamente eram Cerrado, na atualidade são áreas de pastagem e agricultura. As áreas de Mata também sofreram uma diminuição ao longo do tempo, mas a taxas menores que o Cerrado. O incremento de área para a classe Algodão é mais marcado no intervalo 1996-2001.

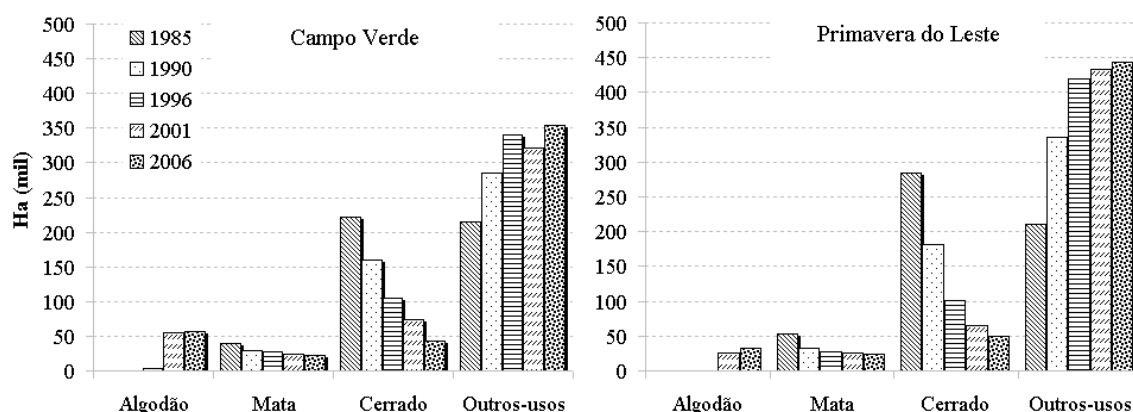


Figura 5.12 – Evolução da superfície cultivada para algodão, mata e cerrado.

a) Algodão

Na Tabela 5.7 é feita uma comparação entre os dados de superfície (hectares) obtidos pelo mapeamento e os obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os anos 1996, 2001 e 2006.

Tabela 5.7 – Comparação entre os dados de superfície obtidos pelo IBGE e por mapeamento, para o algodão.

Ano	Campo Verde		Primavera do Leste	
	Mapeamento	IBGE	Mapeamento	IBGE
1985	0	0	0	0
1990	0	0	0	0
1996	2999	1820	675	420
2001	55606	60416	25341	24488
2006	55911	62580	31886	40105

Observa-se que as maiores diferenças entre as fontes de informação correspondem ao ano 1996. Uma possível razão das discrepâncias nos valores de superfície estaria ligado ao método de levantamento dos dados. No caso do IBGE, o método tem certo grau de

subjetividade uma vez que os dados são obtidos a partir de entrevistas realizadas junto a respondente de cada município. O mapeamento de culturas é considerado um método objetivo (LUIZ, 2006), ao qual pode ser associado um erro na estimativa. Deste modo, no ano 1996, quando a cultura do algodão começava a se expandir pela região, provavelmente dados provenientes de entrevistas não refletissem a verdadeira expansão da cultura. Assim as diferenças de superfície são menores nos outros anos considerados.

Com o objetivo de analisar a dinâmica do algodão, na Figura 5.13 comparou-se a evolução do preço no mercado do algodão (FGV, 2007) em relação à superfície cultivada na área de estudo (Campo Verde + Primavera do Leste).

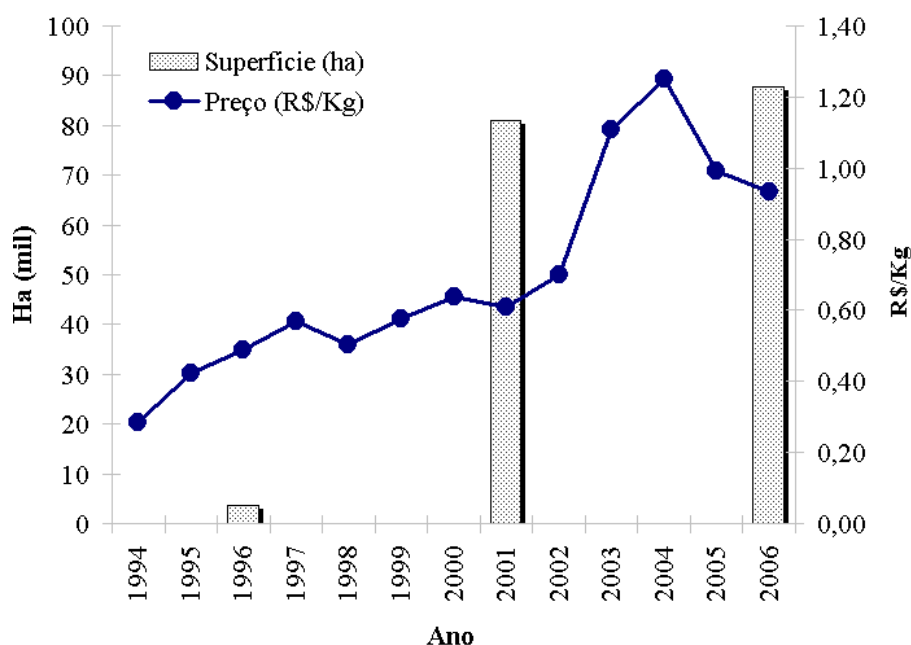


Figura 5.13 – Evolução da superfície cultivada e preço do algodão (1992-2006).

Na Figura 5.13 destaca-se claramente um importante incremento do preço a partir do ano 1994 até 2004. A superfície cultivada também sofre um aumento, mas com a diferença de que é iniciada mais tarde. Uma possível razão disto seria a necessidade de desenvolver um pacote tecnológico específico para o cultivo do algodão no Cerrado uma vez que esta região não era tradicionalmente produtora desta cultura. Ao fazer uma comparação entre a taxa de incremento do preço e da superfície cultivada nos períodos 1996-2001 e 2001-2006 foi verificado que no primeiro período o aumento percentual da

superfície foi maior. Entre as possíveis causas pode-se mencionar o estímulo governamental, a alta produtividade e qualidade do algodão obtido. No segundo período a taxa de incremento do preço foi maior; no entanto, a superfície cultivada teve um aumento pequeno. Neste sentido, pode-se comprovar que mesmo caindo o preço do algodão a partir do ano 2004, a superfície cultivada sofre um incremento. Deste modo, variações na área cultivada com respeito ao preço estão vinculadas à rentabilidade do algodão em relação a outras culturas como soja e milho, por exemplo.

A partir dos dados de superfície para os diferentes usos de solo foi realizada uma análise simples, que permitiu comprovar que no município de Campo Verde o aumento da superfície com algodão entre os anos 1996 e 2001 (52.607 ha) não corresponderia em sua totalidade a áreas de Cerrado desmatadas, já que a diminuição do Cerrado no mesmo período foi de 45.661 ha. No entanto, no município de Primavera do Leste não pode ser feita esta afirmação, pois o aumento da área de algodão é menor que a diminuição do Cerrado - 24.666 ha e 29.901 ha, respectivamente.

Com o objetivo de dar maior rigor às afirmações do parágrafo anterior, foi feito um cruzamento booleano entre a classe Algodão e as classes Mata e Cerrado. Foi comprovado para os dois municípios que a porcentagem de áreas de algodão que tinham sido Mata ou Cerrado no ciclo anterior (cinco anos antes do ano considerado) foi menor de 4% para as classes Algodão de 1996, 2001 e 2006. Estes resultados confirmam o mencionado por produtores da região durante as entrevistas, de que o algodão não é uma cultura pioneira no avanço da fronteira agrícola.

Com base nos mapas temáticos de algodão para cada ano foi obtido um mapa resumo da cultura para os anos 1996, 2001 e 2006 (Apêndice I). Na Figura 5.14 é apresentada uma imagem da área de maior produção de algodão em Campo Verde correspondente ao rio das Mortes.

Ao analisar os resultados do mapa resumo do algodão no município de Campo Verde (Figura 5.14) foi observado que mais da metade das áreas produtoras no ano 1996 foram cultivadas com algodão em 2001 e em 2006. Em relação aos anos 2001 e 2006, pode-se afirmar que 60% das áreas de algodão são coincidentes. Isto pode estar relacionado com

a utilização do sistema de rotação mais difundido na região, que consiste no cultivo do algodão em anos sucessivos. No entanto, também são utilizados outros sistemas de rotação como: dois anos com algodão por um ano com soja, ou um ano com algodão e um ano com soja. A utilização de um ou outro sistema dependerá do preço de mercado, disponibilidade de equipamento, insumos, etc.

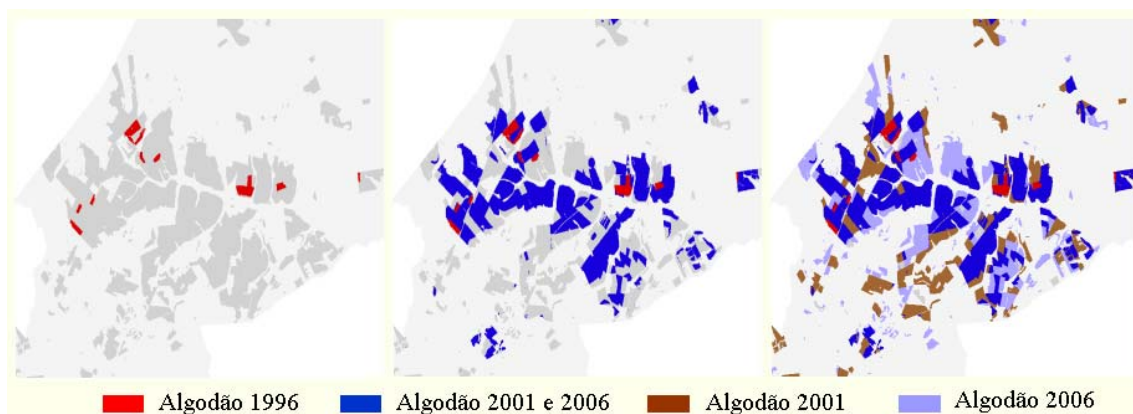


Figura 5.14 – Evolução da superfície cultivada com algodão para Campo Verde.

Ao fazer a análise do mapa resumo de algodão para o município de Primavera do Leste foi detectado que 28% do algodão de 1996 foi cultivado nas mesmas áreas no ano 2001 e 2006. Cerca de 30% das áreas de algodão de 2001 e 2006 são coincidentes. No ano 2006 novos talhões foram cultivados com algodão.

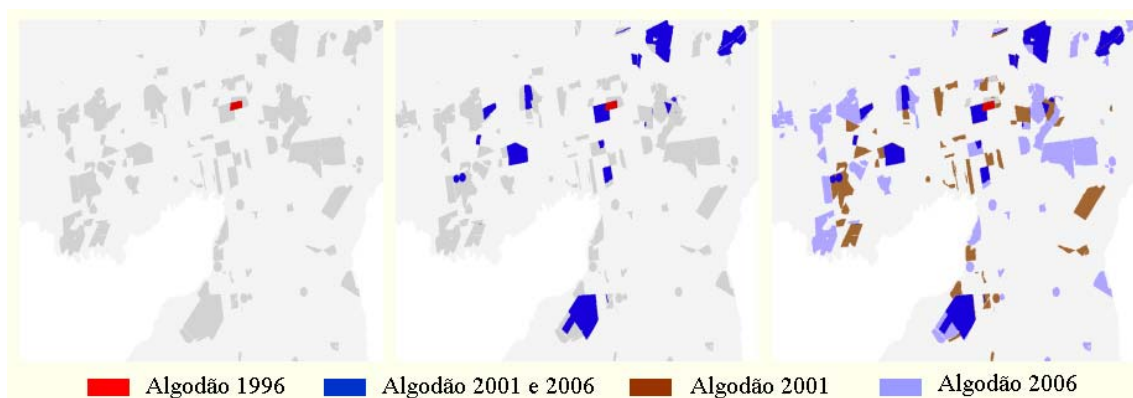


Figura 5.15 – Evolução da superfície cultivada com algodão para Primavera do Leste.

As diferenças encontradas entre os municípios durante a análise da evolução do algodão podem estar relacionadas com o sistema de rotação de culturas utilizado ou com a tradição algodoeira do município. Na Figura 5.15 é apresentada a evolução da cultura do algodão em Primavera do Leste. Em cinza escuro são identificadas as áreas de algodão totais para os três anos. Na Figura 5.15 é possível observar um maior grau de dispersão dos talhões de algodão em comparação com o município de Campo Verde.

Finalmente, foi calculada a exatidão do mapa multitemporal de algodão utilizando cruzamento booleano. Foram consideradas como erros as áreas de algodão que tinham sido classificadas como Mata ou Cerrado em ciclos posteriores. Por exemplo, um *pixel* classificado como Algodão no ano 1996 não poderia ser identificado como Mata em 2001 ou 2006; caso isto ocorresse seria considerado um erro. Os erros foram de 1,43% para Primavera do Leste e 0,2% para Campo Verde. A maioria dos erros correspondeu a áreas classificadas como Algodão que depois foram identificadas como Cerrado no ano 2006. Uma possível explicação para este tipo de erro seria uma confusão entre as classes Cerrado e Outros-usos, pelo qual áreas correspondentes à classe Outros-usos foram classificadas erradamente como Cerrado.

b) Mata

Como mencionado anteriormente, a Mata foi definida como uma forma de Cerrado que ocorre à beira dos rios. Esta classe mostrou importantes diferenças espectrais em relação à classe Cerrado, provavelmente devido ao seu menor grau de degradação. Na Figura 5.16 são identificadas em cinza as áreas de algodão. Em verde destacam-se áreas de Mata existentes na atualidade, e em outras cores áreas que foram Mata em outros anos.

Na figura é possível identificar setores afetados pelo desmatamento perto dos talhões agrícolas. No centro da imagem observam-se regiões em vermelho coincidentes com áreas sujeitas a inundações, que foram desmatadas no período 1985-1990. O resto das áreas desmatadas em outros anos concentra-se nas bordas da mata e em rios estreitos (ver Apêndice J).

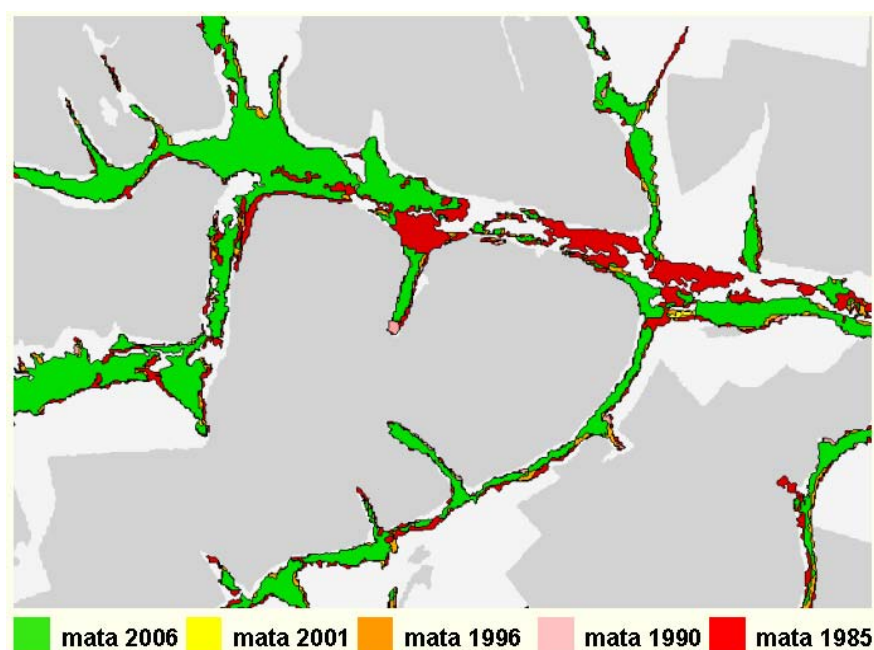


Figura 5.16 – Evolução da classe Mata no período 1985-2006.

c) Cerrado

A classe Cerrado foi associada a formações vegetais de aspectos e fisionomias variáveis, principalmente de árvores baixas e retorcidas com estrato herbáceo rasteiro. A principal dificuldade para identificar essas áreas esteve relacionada com o grau de degradação. Neste sentido, as áreas mais degradadas com maior porcentagem de pastos, em muitas oportunidades foram classificadas como Outros-usos de solo. Na Figura 5.17 é apresentada a evolução da classe Cerrado para os municípios de Campo Verde e Primavera do Leste.

Pode-se observar que, no setor central dos municípios, uma menor proporção de áreas são identificadas como Cerrado, pois sofreram os efeitos do avanço da agricultura em anos anteriores a 1985. Nos períodos 1985-1990 (Cerrado 1985) e 1990-1996 (Cerrado1990) concentram-se a maior área de Cerrado desmatada. Os setores não desmatados (Cerrado 2006) concentram-se principalmente na região norte dos municípios (linha preta). Isto provavelmente tem relação com o tipo de solo da área (areia quartzosa), que tem aptidão agrícola inferior (ver Apêndice K). Assim, as áreas

mais degradadas são coincidentes com solos de maior aptidão agrícola, como latossolo vermelho e latossolo vermelho escuro.

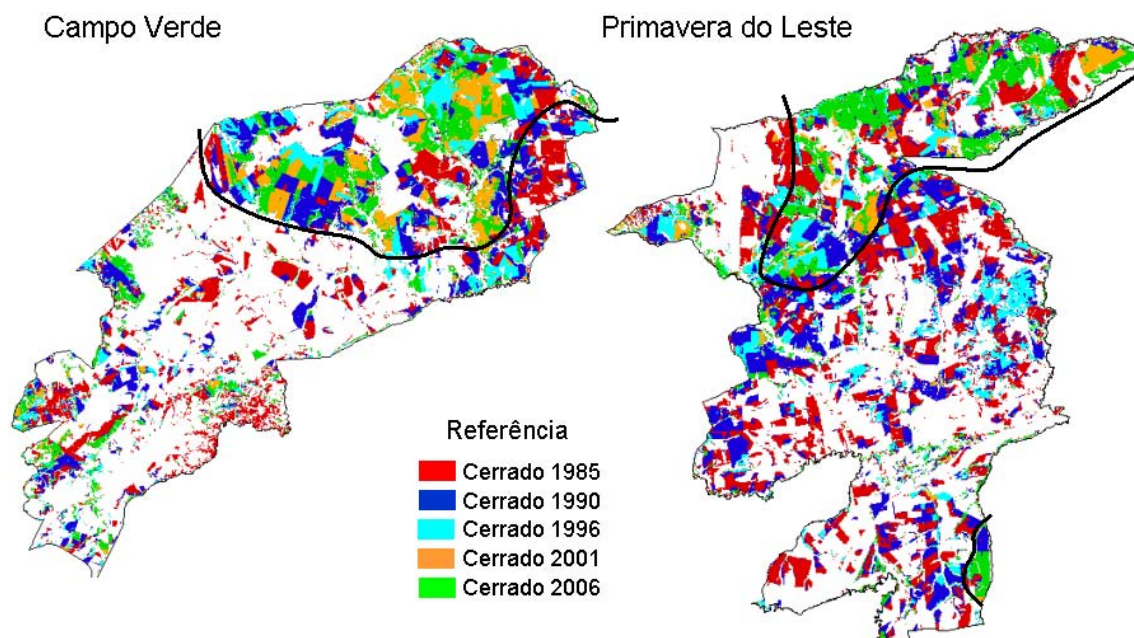


Figura 5.17 – Evolução da classe Cerrado no período 1985-2006.

Com o intuito de calcular a exatidão do mapa multitemporal de Mata e Cerrado foi utilizado um cruzamento booleano entre planos de informação. Foram consideradas como erros as áreas de Mata ou Cerrado que tinham sido classificadas como Outros-usos em anos anteriores. Por exemplo, um *pixel* classificado como Mata em 1990 não poderia ser identificado como Outros-usos de solo em 1985; caso isto ocorresse seria considerado um erro. No município de Primavera do Leste o erro da classe Mata e Cerrado foi de 13%, em Campo Verde foi de 18%. Em geral, os erros estão associados a confusões entre as classes Cerrado e Outros-usos de solo, como foi mencionado anteriormente.

Utilizando os mapas temáticos de Cerrado e Mata para cada ano, foi obtida a superfície desmatada para cada período (1985-1990, 1990-1996, 1996-2001, 2001-2006). Posteriormente foi calculada a taxa percentual de desmatamento levando em conta a superfície desmatada em cada período em relação à superfície do município.

Na Figura 5.18 são apresentadas as curvas para Campo Verde, Primavera do Leste. Ao observar a figura destaca-se a forte diminuição da taxa de desmatamento no período analisado para os dois municípios. Este comportamento poderia estar vinculado ao fato de que as terras com maior potencial agrícola foram desmatadas a partir de meados dos anos 70. Deste modo, nos anos mais recentes menos áreas de boa qualidade estão disponíveis. Logo, ao fazer a somatória das taxas de desmatamento para cada período comprova-se que, segundo os dados obtidos, 51% e 57% da superfície de Campo Verde e Primavera de Leste, respectivamente, estavam desmatadas entre os anos 1985 e 2006.

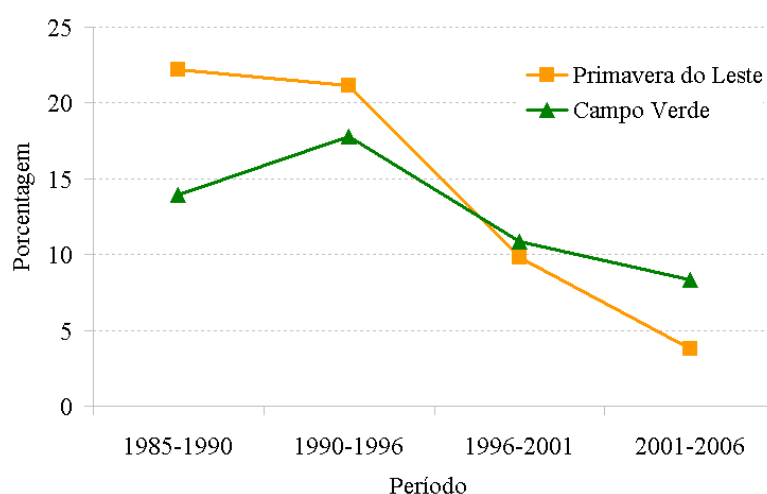


Figura 5.18 – Evolução da taxa de desmatamento no período 1985-2006.

Outra abordagem nesta análise consistiu em comparar as taxas de desmatamento relativas para os dois municípios. Elas foram calculadas ao comparar a área desmatada em cada período em relação à superfície com Mata e Cerrado existente no período anterior (Figura 5.19). Podemos observar que no município de Primavera do Leste a taxa de desmatamento teve uma tendência ascendente no último período (2001-2006), o que indicaria que mesmo sendo menor a área desmatada em valores absolutos, esta representa uma maior porcentagem em relação à superfície de Mata e Cerrado existentes no ano 2001. No caso do município de Campo Verde a taxa de desmatamento sofre uma diminuição a partir de 1996 e, portanto, as áreas desmatadas representam uma porcentagem baixa em relação às áreas de Mata e Cerrado existentes.

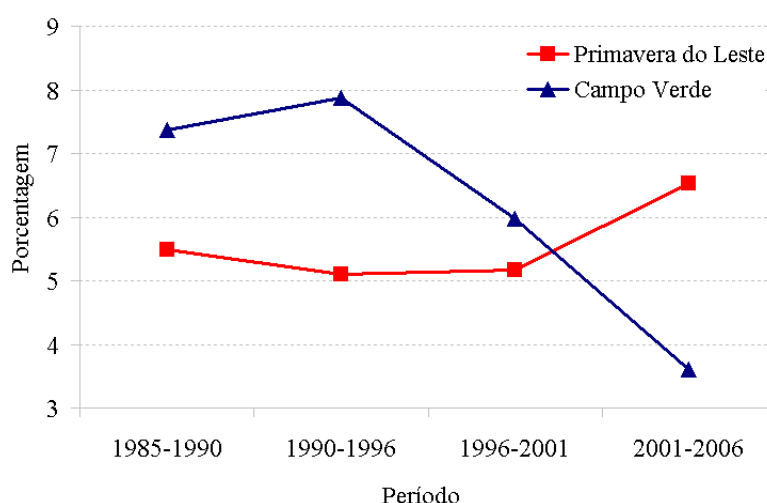


Figura 5.19 – Evolução da taxa de desmatamento relativa no período 1985-2006.

5.6 Análise de adequação da agricultura ao Código Florestal Brasileiro

Como foi explicado na seção 4.2.8, na etapa inicial de identificação das Áreas de Preservação Permanente (APP) os dados de elevação provenientes do SRTM foram refinados para permitir a geração de um modelo digital de elevação (MDE) de 30 metros de resolução. A partir do modelo foi calculada a declividade, que depois foi fatiada segundo as classes indicadas em EMBRAPA (1999). As classes consideradas foram: plano (0% a 3%), suave ondulado (3%-8%), ondulado (8%-20%), forte ondulado (20%-45%), montanhoso (45%-75%), escarpado (75%-infinito). Na figura 5.20 são apresentadas as proporções para cada classe de declividade, por município.

Observa-se que mais de 60% da superfície dos municípios tem relevo plano, favorável para agricultura. Uma proporção mínima foi identificada como relevo fortemente ondulado, coincidentes com as divisas das chapadas. Ao analisar a variável declividade em relação ao estabelecido no Código Florestal Brasileiro (art n°2 inciso e), nenhuma área foi considerada como APP, uma vez que a declividade não superou os 100%. O mesmo aconteceu com o inciso h do mesmo artigo do código, uma vez que a altitude máxima da área de estudo é de 905 metros, muito menor que os 1.800 metros estabelecidos pelo código.

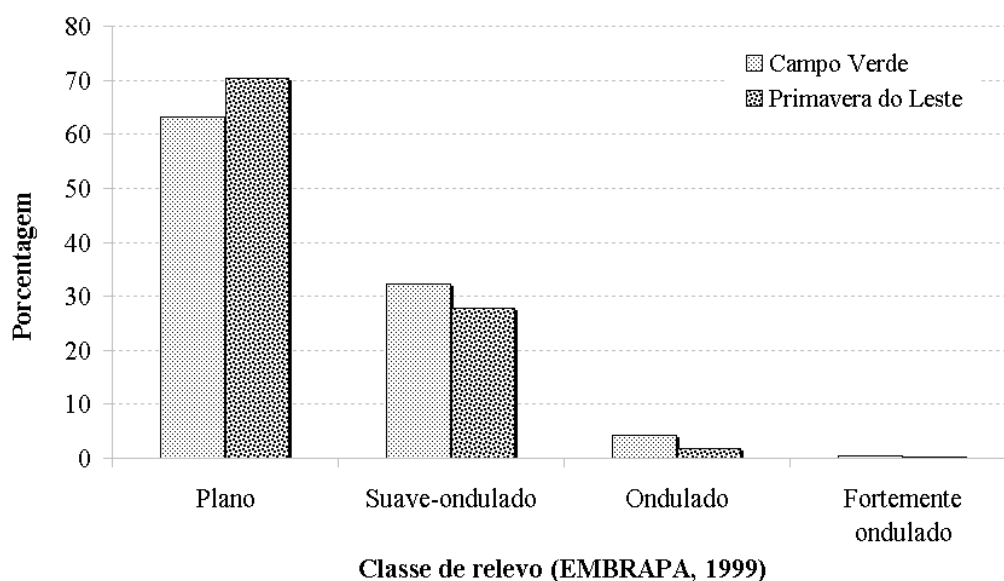


Figura 5.20 – Porcentagem das classes de relevo para os dois municípios.

Em relação à delimitação das APPs associadas às redes de drenagem, lagos, reservatórios e nascentes (artigo nº2 incisos a, b, c), foi utilizado o produto ADD (Azimute + Drenagem + Divisores) para a digitalização em tela (conforme Seção 4.2.8). Na Figura 5.21 observa-se a rede de drenagem e nascentes dos rios com o *buffer* correspondente segundo o código.

Como a área de estudo é muito plana, foram detectados falsos canais de drenagem e divisores de água no produto ADD como consequência de pequenas ondulações no terreno. Para evitar a digitalização de redes de drenagem inexistentes, o mapa de declividade foi utilizado como apoio. Deste modo, em áreas duvidosas era consultado o mapa de declividade: se a área era muito plana, a rede de drenagem não era digitalizada, pois se tratava de um erro do produto.

Após ser digitalizada a rede hidrográfica, os rios foram classificados segundo sua largura em rios de 1ª ordem (50-200m), 2ª ordem (10-50m) e 3ª ordem (menos de 10m). Para isto foi utilizada uma imagem da banda 5 do TM/Landsat-5 restaurada para 15m. A seguir foi calculado o *buffer* para a rede de drenagem segundo o estabelecido no Código Florestal Brasileiro (artigo nº2). Finalmente, como é apresentado na Figura 5.21 as APP foram classificadas segundo sua largura em alta confiabilidade (rios de 1ª ordem), meia confiabilidade (rios de 2ª ordem) e baixa confiabilidade (rios de 3ª ordem) quanto à

transgressão. As APP correspondentes a lagos, reservatórios e nascentes foram consideradas como média confiabilidade.

A partir do cálculo da área das APP foi observado que para Primavera do Leste 41% da superfície total das APP corresponde à classe alta confiabilidade, 41% a média confiabilidade e 18% a baixa confiabilidade. Para Campo Verde 27%, 43% e 30% correspondem a alta, média e baixa confiabilidade, respectivamente.

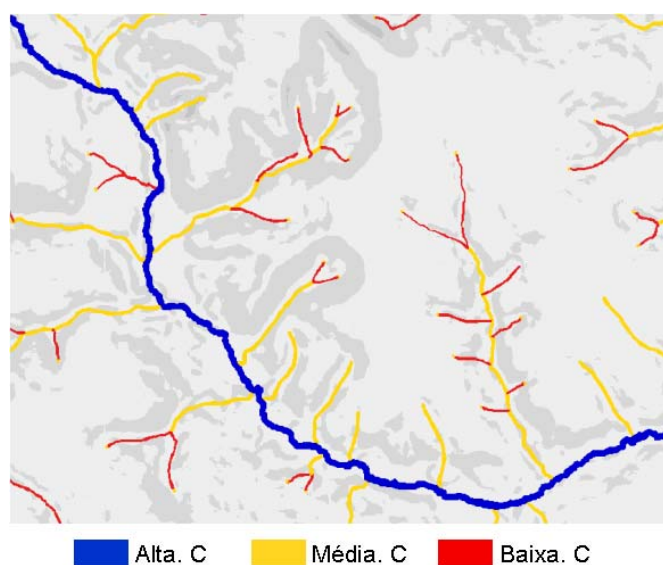


Figura 5.21 – Áreas de preservação permanente categorizadas segundo confiabilidade.

Utilizando os dados de transgressão ao CFB, foi calculado o incremento relativo da área de transgressão para cada ano ao comparar a área de transgressão em relação à superfície de transgressão do ano anterior. Na Figura 5.22 observa-se que o incremento relativo expressado em hectares cai fortemente. Isto estaria relacionado com a diminuição da taxa de desmatamento segundo o apresentado na Figura 5.18.

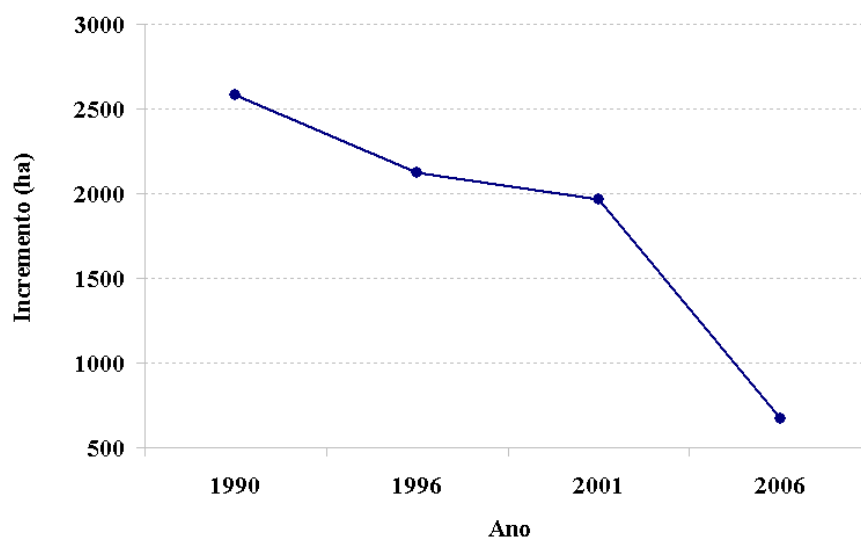


Figura 5.22 – Incremento da superfície de transgressão ao CFB.

Outro tipo de análise consistiu em comparar a proporção de transgressão ao CFB segundo o grau de confiabilidade (alta, média e baixa) em relação a uma referência calculada para o total das APP em cada município. Nas Figuras 5.23 e 5.24 são apresentados os valores para Campo Verde e Primavera do Leste, respectivamente.

Ao analisar a evolução das três classes ao longo dos anos, observa-se que as porcentagens para cada classe não sofreram grandes modificações. No entanto, quando as classes são comparadas com a referência, calculada em função da superfície total de APPs por município, observa-se que para Campo Verde a área proporcional de transgressão correspondente à classe média confiabilidade é maior que a referência. Isto é marcadamente destacado no município de Primavera do Leste, onde as classes alta e média confiabilidade representam cada uma 41% da superfície total das APP. Uma possível explicação para isso é que os talhões agrícolas são delimitados em maior medida por rios de 2ª ordem, o que aumenta a probabilidade de que esta classe apresente uma porcentagem de transgressão maior que a referência.

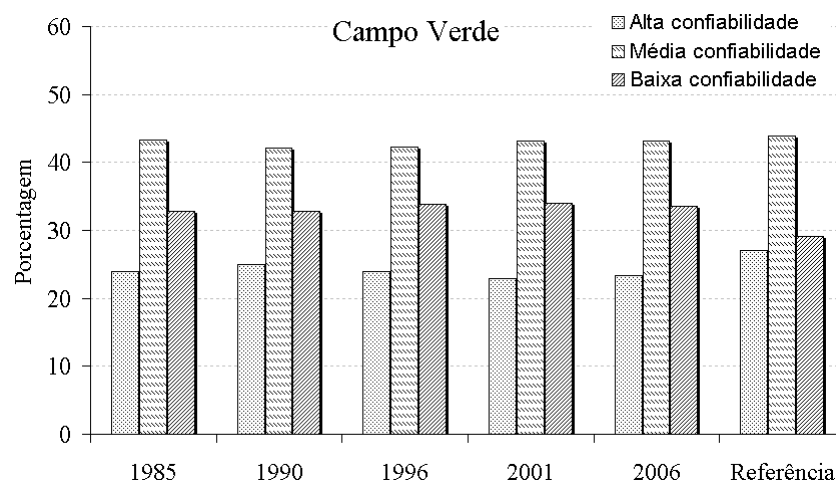


Figura 5.23 – Transgressão ao CFB segundo confiabilidade para Campo Verde.

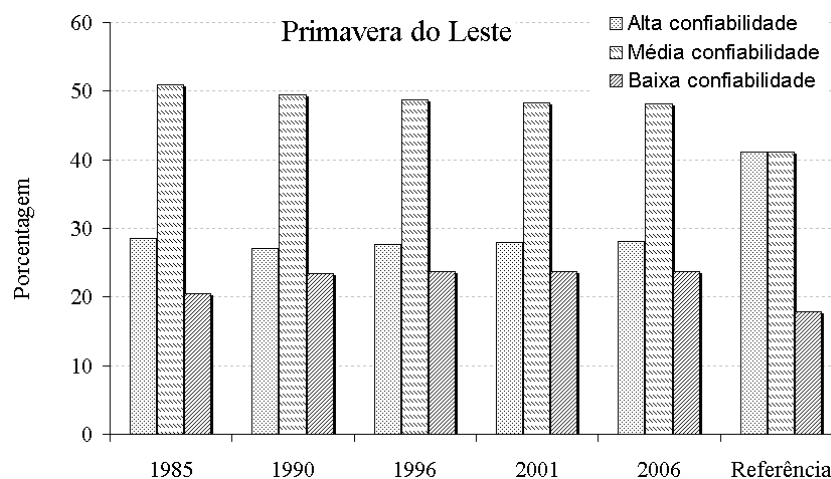


Figura 5.24 – Transgressão ao CFB segundo confiabilidade para Primavera do Leste.

Com o objetivo de fazer uma análise mais detalhada da transgressão ao CFB, foi comprovado para todos os anos que 98% ou mais das áreas de transgressão corresponderam à classe Outros-usos de solo. Nesta classe foram agrupadas áreas de pousio, solo gradeado, pastagens naturais, Cerrado com alto grau de degradação e outras culturas. É importante notar que o algodão foi responsável por baixas porcentagens de transgressão, sendo o máximo de 1,17 % correspondente ao ano 2001, no município de Campo Verde. No entanto, é mesmo de esperar que a classe Outros-usos seja a maior responsável pela maioria das transgressões ao código, visto que representa a maior parte dos municípios (ver Figura 5.12). Por isso, foi calculada a porcentagem que representam as áreas de transgressão para cada classe temática em relação ao total de superfície da

classe em todos os anos considerados. Para a classe Outros-usos a porcentagem máxima foi de 7,8% no ano 2006. Para o algodão a porcentagem máxima foi de 0,17% em Campo Verde e 0,14% em Primavera do Leste, no ano 2001 em ambos os casos. Esses valores confirmam que o algodão não é uma cultura de importância no que se relaciona à transgressão ao CFB nos anos analisados, e que as áreas de transgressão atribuídas ao algodão representam uma porcentagem mínima do total cultivado com esta cultura.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os dados de sensoriamento remotos aliados com SIG permitiram identificar e mapear a cultura do algodão, sendo possível definir uma metodologia simples para avaliar a evolução espaço-temporal da cotonicultura nos municípios de Campo Verde e Primavera do Leste no período 1985-2006.

A análise espectro-temporal do algodão e culturas de inverno permitiu determinar as principais confusões espectrais entre as culturas de interesse. Deste modo foram identificados os meses de abril e maio (máximo desenvolvimento vegetativo) como os mais adequados para discriminar o algodão.

A classificação por regiões supervisionada da imagem do mês de abril foi o método mais simples e de exatidão equivalente aos demais. Técnicas mais complexas não apresentaram um aumento significativo na exatidão devido ao comportamento espectral destacado de classes como algodão, mata e cerrado no mês de abril.

A análise multitemporal interanual permitiu modelar a dinâmica do algodão no período 1996-2006. Foi constatado que os talhões de algodão estão localizados em áreas de boa aptidão agrícola. Também foi observado que uma porcentagem importante dos talhões de algodão, principalmente no município de Campo Verde, são cultivados com algodão em anos sucessivos.

No que respeita às classes Mata e Cerrado, foi detectado espacialmente e numericamente o desmatamento correspondente ao período 1985-2006. A maior taxa de desmatamento correspondeu ao sub-período de 1985-1996. As áreas menos afetadas pelo desmatamento se concentram no norte dos municípios onde os solos têm menor aptidão agrícola.

A utilização de dados de sensoriamento remoto associado a um ambiente SIG permitiu avaliar a adequação da agricultura em relação ao Código Florestal Brasileiro – Lei nº 4771.

O algodão não é uma cultura de importância quanto à transgressão ao CFB nos anos analisados. As áreas de transgressão representam uma porcentagem mínima do total cultivado com esta cultura.

Levando em consideração o sistema de produção extensivo do algodão, é recomendado testar o uso de dados de sensoriamento remoto de maior resolução temporal (ex: sensor MODIS) que permitam a obtenção de imagens dos meses de janeiro e fevereiro livres de cobertura de nuvens. Desse modo, poderia ser analisado se nesses meses as confusões com milheto ou milho safrinha são minimizadas, pois estas culturas ainda não teriam sido semeadas ou estariam em um estágio fenológico pouco desenvolvido.

Baseado nas mudanças espectrais que acontecem no período de pré e pós-colheita é sugerido, em trabalhos futuros, testar técnicas que permitam identificar a data de colheita do algodão utilizando como base dados de sensoriamento remoto de maior resolução temporal. Deste modo, a partir desses dados seria possível realizar um seguimento estratégico da colheita do algodão nas principais áreas produtoras.

Para minimizar as confusões entre o Cerrado e outros usos de solo como pastagens ou áreas de pousio é recomendado fazer uma amostragem dirigida que permita analisar espectralmente as diferenças encontradas entre esses usos de solo. Por outro lado, para o Cerrado é sugerido selecionar amostras com diferentes graus de degradação, sendo recomendado anexar a fotografia correspondente para facilitar a interpretação em gabinete.

Finalmente, em relação à determinação da adequação da agricultura ao Código Florestal Brasileiro é recomendada a utilização de um mapa de usos de solo em uma escala mais detalhada. Em relação à demarcação da rede hidrográfica é aconselhado o emprego de imagens de enchente que permitam definir com maior precisão as margens dos rios com o intuito de demarcar as APPs com maior precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aptidão ecológica da cultura do sorgo granífero. Disponível em: <<http://200.136.175.11/zoneamento/sorgo.htm>>. Acesso em: jan. 2006.
- ANTUNES, M.A.H.; FREIRE, R.M.B.; BOTELHO, A.S.; TONIOLLI, L.H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o Modelo 6S. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 11., 2003. Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria E Sensoriamento Remoto. 2003.
- BAZZO, R. Cresce produção brasileira de algodão. **Algodão via e-mail**. Ano I, n.30, 16 de fevereiro de 2007. Disponível em: <<http://www.algodao.agr.br/zip/i070117.htm>>. Acesso em: 15 jan 2007.
- BRANCALIÃO, S.R. O milheto no sistema plantio direto. **O Agrônomo**, Campinas, v. 56, n. 2, p. 28-30, 2004. Disponível em < <http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/Milheto/Milheto.htm>>. Acesso em: 15 nov 2005.
- CÂMARA G.; SOUZA R. C. M.; FREITAS U. M.; GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p 395-403, maio-jun 1996.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (ED). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344p. (INPE-10506-RPI/249). Disponível em: <sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43> . Acesso em: 22 abr. 2005.
- CANAVESI, V.; COSTA, S. M.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; QUIRINO, V. F. Dinâmica espectro-temporal MODIS em região de cerrados e intenso uso agropecuário. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1435-1442. 1 CD-ROM.
- CANTY, M. J.; NIELSEN, A. A.; SCHMIDT, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, n. 4, p. 441-451, June 2004.
- CARREIRAS, J. M.; PEREIRA, J. M. C.; CAMPAGNOLO, M. L.; SHIMABUKURO, Y. B. Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in Brazil Legal Amazon using SPOT VEGETATION data. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, n. 3, p. 283-298, April 2006.
- CARRILHO, J. M. Z. **Deteção de mudanças da cobertura do terreno em uma região de cerrado**. 1996. 110 p. (INPE-5979-TDI/575). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos 1996.

CASANOVAS, J. A. M.; MONTERO, A. M.; CASTERAD, M. A. Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. **Remote Sensing of Environment**, v. 23, n. 2, p. 159-169, nov 2005.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. Basic Analysis Techniques. In: CONGALTON, R. G.; GREEN, K (Ed). **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Lewis Publishers, 1999. Cap 5, p. 43-63.

CORRÊA, S.T.; COUTO, E. P. A história do algodão no Brasil e seu desenvolvimento no estado de Mato Grosso, o atual maior produtor do país. **Anuário Brasileiro do Algodão**, 2001. Disponível em: < http://www.propp.ufu.br/revistaeletronica/humanas2003/a_historia.pdf>. Acesso em: jan. 2006.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, B.; MUYS, B. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v 25, n° 9, p 1565-1596, May 2004.

COSTA, T. G. C.; MARCO, P.; BRITES, R. S. Métodos para redução do espaço n-dimensional de imagens orbitais. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 1, p. 27-35, abr 2006.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Cultura do Algodão no Cerrado**. 2003. Disponível em: < <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoCerrado/index.htm>>. Acesso em: jan. 2006.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Cultivo do Milho**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/index.htm>>. Acesso em: jan. 2006.

Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER). **Calendário agrícola**. Disponível em: <www.empaer.mt.gov.br/Aplicativos/Autoweb/empaer.nsf/ViewWeb/43B654A61E8C3BC304256C31004E6AA3?OpenDocument>. Acesso em: 12 jan. 2006.

Fundação Getulio Vargas (FGV). **Agroanalysis**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/ipeaweb.dll/ipeadata?495643390>>. Acesso em: jan 2007.

GARCÍA, E. A. C. Desenvolvimento econômico sustentável do cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.30, n.6, p.759-774, jun 1995.

GIANNOTTI, M.; LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Segmentação multitemporal de imagens em áreas agrícolas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz de Iguaçu. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 23-25. 1CD-ROM.

Global Land Cover Facility. **Landsat Geo Cover**. Disponível em: <<http://glcfapp.umiacs.umd.edu>>. Acesso em: jun. 2006.

GRIDI-PAPP, I. L.; CIA, E.; FUZATTO, M. G. **Manual do produtor do algodão**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias Futuros, 1992. 126 p.

GÜRTLER, S.; LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. Uniformização de imagens Landsat para previsão de safras agrícolas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 109-116. 1 CD-ROM.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Multiple Discriminant Analysis and Logic Regression. In: HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. (Ed). **Multivariate data analysis**. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 1998. Cap 5, p. 239-258.

HALL, F. G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n. 1, p. 11-27, jan 1991.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: jan. 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: jan. 2006.

Infoagro. **El cultivo del algodón**. España, 2007. Disponível em <<http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/algodon.asp>>. Acesso em: jan. 2007.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Observação da Terra. (OBT). Projeto Prodes. **Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite**. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: jan 2007.

IPPOLITTI-RAMILO, G. A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão**. 1999. 182 p. (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1999.

JENSEN, J. R. Image Preprocessing: Radiometric and Geometric Correction. In: JENSEN, J. R. (Ed). **An Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. London: Prentice-Hall, 1986. Cap 6, p. 234-252.

JENSEN, J. R. Remote Sensing of Vegetation. In: JENSEN, J. R. (Ed). **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. London: Prentice-Hall, 2000. Cap 10, p. 333-377.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. Uso do milho como planta forrageira. **EMBRAPA-Gado de Corte**, n°46, 2000.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIOS, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2407, June 2004.

LUIZ, A. J. B.; GÜRTLER, S.; GLERIANI, J. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; CAMPOS, R.C. Reflectância a partir do número digital de imagens ETM⁺. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2071-2078. 1 CD-ROM.

LUIZ, A. J. B. **Sensoriamento remoto agrícola**. São José dos Campos: INPE, 2000. 102 p. (INPE-8858-PUD/111). Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep-/dpi.inpe.br/lise/2002/06.26.18.13>>. Acesso em: 15 jan. 2006.

MAIA, J. S.; VALERIANO, D. M. Transgressão do código florestal no município de Piquete-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz de Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 611-616. 1 CD-ROM.

MALDONADO, F. D.; DOS SANTOS, J. R.; CARVALHO, V. C. Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Queixaba, PE): characterization by principal component analysis (PCA). **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 23, p. 5005-2013, december 2002.

MARTÍNEZ ORTEGA, M. J. **Optimización del análisis de pesticidas limitados por la ECOETIQUETA Europea sobre algodón crudo. 2001. 253 p. B-(52027-2002/84-688-0577-7)**. Tese Doutoral (Enginyeria Tèxtil i Paperera) – Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2001.

MATHER, P. M. Pre-Processing of Remote-Sensed Data. In: MATHER, P. M. (Ed). **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. Chichester: Lewis Publishers, 2° ed 1999. Cap 4, p. 67-96.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 1, p. 139-152, Jan 1999.

NASCIMENTO, P.S.R. **Avaliação de técnicas de segmentação e classificação por regiões em imagens Landsat-TM visando o mapeamento de unidades de paisagem na Amazônia**. 1997.120 p. (INPE-6391-TDI/607). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

NIEL, T. G.; MC VICAR, T. R. Determining temporal windows for crop discrimination with remote sensing: a case study in south-eastern Australia. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 45, n. 1-3, p. 91-108, Dec 2004.

NOGUEIRA, S. J.; BARBOSA, M. Z. O papel da pesquisa e a importância do cerrado para a reorganização da cotonicultura brasileira. **Agricultura em São Paulo**, v.52, n.2, p.87-98, dez 2005.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

OLIVEIRA, J. C. **Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura**. 2002. 162 p. (INPE-9554-TDI/830). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

ORTIZ, M J.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Classificationn of croplands throught integration of remote sensing, GIS and historical database. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 1, p. 95-105, Jan 1997.

OETTER, R.D.; COHEN, W.B.; BERTERRETCHÉ, M.; MAIERSPERGER, R. E.; KENNEDY. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v. 76, n. 2, p. 139-155, May 2000.

PALIWAL, R. L.; GRANADOS, G.; LAFFITE, H. R. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. **Colección FAO: Producción y protección vegetal**, n° 28, 2001.

PANIGRAHY, S.; SHARMA, S. A. Mapping of crop rotation using multidade Indian Remote Sensing Satellite digital data. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 85-91, Apr 1997.

PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C. E.; COLLINS, J. B.; HAMDI, H. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, v. 56, n. 1, p. 8-20, Apr 1996.

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. 2, p. 522-529, Mar 1997.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M.; NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J.; JUNIOR, L. G. F.; GALVÃO, L. S. (Ed). **Sensoriamento remoto. reflectância dos alvos naturais**. Editora UNB Embrapa, 2001. Cap 5, p. 157-199.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n° 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L4771compilado.htm>>. Acesso em: jan 2006.

RICHARD, A.J.; XIUPING, J. **Remote sensing digital image analysis: an Introduction**. 3 ed. New York: Springer-Verlag, 1999. 363 p.

Agricultura – grãos e cereais – milho. Disponível em:
<<http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=284>> Acesso em: jan. 2006.

Agricultura – grãos e cereais – sorgo. Disponível em:
<<http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=266>> Acesso em: jan. 2006.

SANCHES, I. A.; LUIZ, A. J. B.; EPIPHANIO, J. C. N. **Análise do comportamento espectro-temporal de culturas agrícolas com o uso de imagens ETM⁺ / Landsat-7 e software spring.** São José dos Campos: INPE, 2003. 6 p. (INPE-10466-PRE/5948). Disponível em: <sid.inpe.br/jeferson/2004/01.13.13.55> Acesso em: 12 jan 2006.

SCHROEDER, T. A.; COHEN, W. B.; SONG, C.; CANTY, M. J.; YANG, Z. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, n. 1, p. 16-26, July 2006.

Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária (SEAGRI). **Algodão.** Brasil, 2006. Disponível em : < <http://www.seagri.ba.gov.br/Algodao.htm>>. Acesso em: 14 fev. 2006.

Secretaria do Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN). **Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso (PRODEAGRO).** Mato Grosso, 2001. 5 Mapas Temáticos. Escala 1: 1.500.000.

SILVA, P. G.; GRAÇA P. M.; 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.

StatSoft, Inc. STATISTICA (data analysis software), version 6. **Electronic textbook StatSoft.** Disponível em: <http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>. Acesso em: 23 oct 2006.

United State Geological Survey (USGS). **shuttle radar topography mission.** Disponível em: < <http://srtm.usgs.gov>> Acesso em: jan. 2007.

VALERIANO, M. M.; MORAES, J. .F. L. Extração de rede de drenagem e divisores por processamento digital de dados topográficos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz de Iguaçu. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 517-524. 1 CD-ROM

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigeagem.** São José dos Campos: INPE, 2002. 56 p. (INPE-9364-RPQ/736).

VERMOTE, E.F.; TANRÉ, D.; DEUZÉ, J.L.; HERMAN, M.; MORCRETE J.J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 35, n° 3, p 675– 686, May 1997.

XAVIER, A. J.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugar cane crop. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p. 755-768, Febr 2006.

Apêndice A

j = colunas
(referência)

		1	2	k	n_{i+}
i = linhas (classificação)	1	n_{11}	n_{12}	n_{1k}	n_{1+}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{2k}	n_{2+}
	k	n_{k1}	n_{k2}	n_{kk}	n_{k+}
	n_{+j}	n_{+1}	n_{+2}	n_{+k}	n

Figura A.1 – Exemplo matemático de uma matriz de erro.

Fonte: Adaptado Congalton (1999, p. 47).

Tabela A.1 – Lista de fórmulas para alguns dos parâmetros obtidos a partir de uma matriz de confusão.

Exatidão Global	$\frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n}$
Coefficiente Kappa	$\frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$
Coefficiente Kappa condicional	$\frac{nn_{ii} - n_{i+} n_{+i}}{nn_{i+} - n_{i+} n_{+i}}$
Coefficiente Kappa condicional modificado	$\frac{nn_{ii} - n_{i+} n_{+i}}{nn_{+i} - n_{i+} n_{+i}}$
Valor estatístico Z	$\frac{ k_1 - k_2 }{\sqrt{\hat{var}(K_1) + \hat{var}(K_2)}}$

Fonte: Adaptado Congalton (1999).

Apêndice B

Planilha de Campo

Data.....
 Amostra nº:.....
 Cultura:.....
 Variedade:..... Data semeadura.....
 Data Colheita:.....
 Densidade de plantio:.....
 Orientação das fileiras:.....
 Período fenológico:.....
 Estádio vegetativo:.....
 Estado sanitário: Bom.....Regular.....Mau.....
 Utiliza defoliante: Sim.....Não.....
 Colheitadeira utilizada:.....
 Produtividade estimada:.....
 Perda estimada:.....
 Quando Cultivou algodão neste talhão pela 1º vez?:.....
 Cultura Anterior:.....Semeadura:...../...../.....Colheita:...../...../.....
 Tipo de solo / cor:.....
 Observações.....

Nº	%	Peso (g)	Nº foto	Nº	%	Peso (g)	Nº foto

Nº	%	Peso (g)	Nº foto	Nº	%	Peso (g)	Nº foto

Apêndice C

Formulário de entrevista com fazendeiros

Data.....

Nome da Fazenda:.....

Município:.....

Ponto GPS:.....

Quando começou a atividade Agrícola-Pecuária nesta fazenda?

.....

.....

.....

Quando cultivou algodão pela primeira vez nesta fazenda/talhão?

.....

.....

.....

Quais são as práticas culturais aplicadas no algodão?

.....

.....

.....

.....

Qual é o esquema de rotação utilizado na Fazenda?

.....

.....

.....

.....

Nos anos passados este tipo de rotação era diferente?

.....

.....

.....

.....

Apêndice D

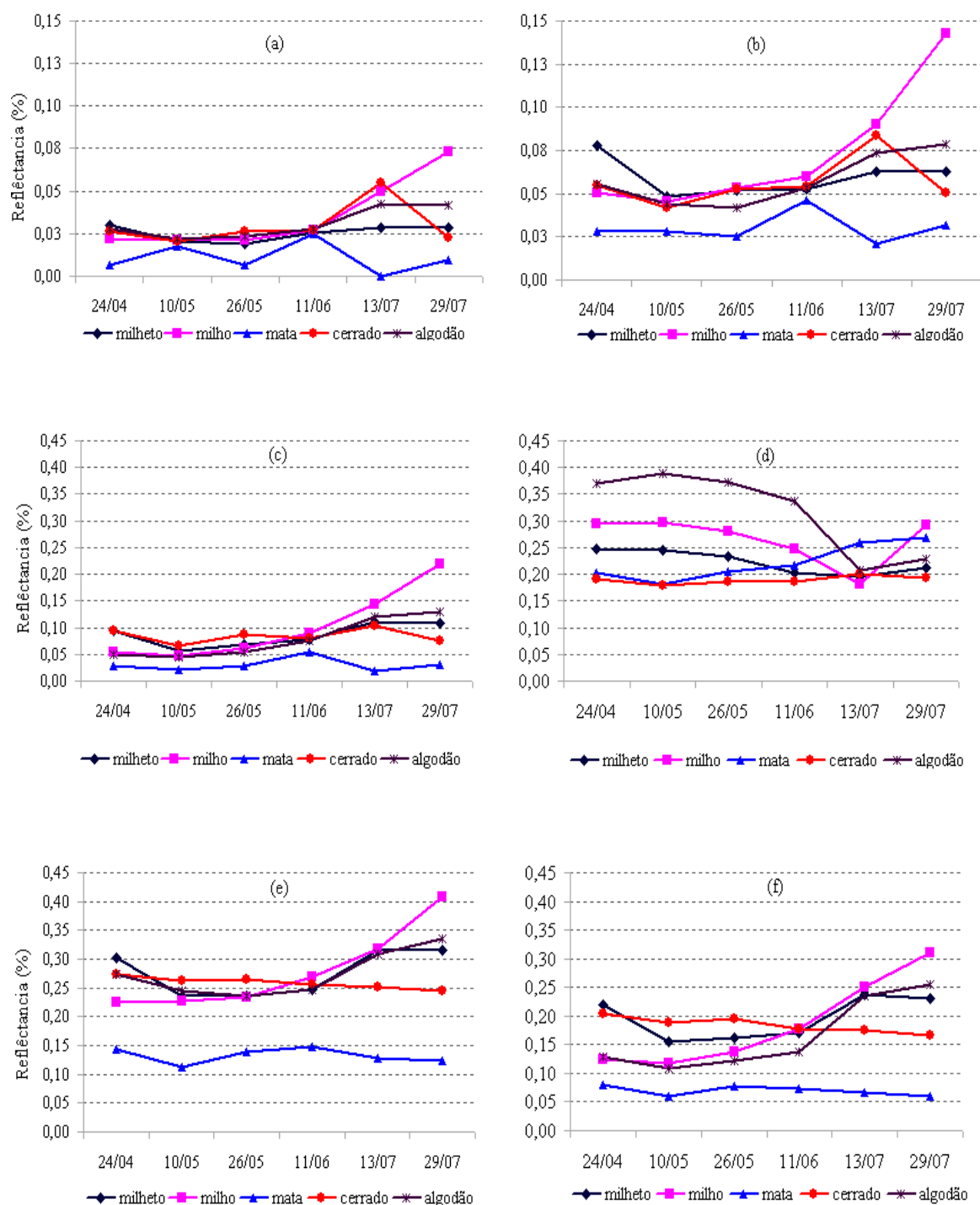


Figura C.1 - Curva de evolução espectral: (a) banda 1, (b) banda 2, (c) banda 3, (d) banda 4, (e) banda 5, (f) banda 7.

Apêndice E

Tabela D.1 – Matriz de confusão da técnica de pós-classificação.

		Referência						Ex.Usuario
		Algodão	Milho	Milheto	Mata	Cerrado	Outros_usos	
Classificação	Algodão	28						1,00
	Milho		21	3				0,88
	Milheto	1		1			3	0,20
	Mata				11			1,00
	Cerrado					10	1	0,91
	Outros_usos	3	5	7	1	2	15	0,45
	Ex.Produutor	0,88	0,81	0,09	0,92	0,83	0,79	0,77

Tabela D.2 – Matriz de confusão da técnica de pós-classificação com incorporação de classes que não cumpriram com a regra de decisão.

		Referência						Ex.Usuario
		Algodão	Milho	Milheto	Mata	Cerrado	Outros_usos	
Classificação	Algodão	30						1,00
	Milho		22	3				0,88
	Milheto	1		3			4	0,38
	Mata				12			1,00
	Cerrado					10	1	0,91
	Outros_usos	1	4	5		2	14	0,54
	Ex.Produutor	0,94	0,85	0,27	1,00	0,83	0,74	0,81

Apêndice F

Tabela E.1 – Matriz de confusão da técnica de classificação por iterações.

		Referência						Ex.Usuário
		Algodão	Milho	Milheto	Mata	Cerrado	Outros_usos	
Classificação	Algodão	30	0	0	0	0	1	0,97
	Milho	0	23	5	0	0	3	0,74
	Milheto	1	2	3	0	0	2	0,38
	Mata	0	0	0	12	0	1	0,92
	Cerrado	0	0	0	0	11	0	1,00
	Outros_usos	1	1	3	0	1	12	0,67
	Ex.Produutor	0,94	0,88	0,27	1,00	0,92	0,63	0,81

Tabela E.2 – Matriz de confusão da Classificação de 24 de abril de 2006.

		Referência						Ex.Usuário
		Algodão	Milho	Milheto	Mata	Cerrado	Outros_usos	
Classificação	Algodão	30	0	0	0	0	1	0,97
	Milho	0	23	5	0	0	3	0,74
	Milheto	1	0	2	0	0	2	0,40
	Mata	0	0	0	12	0	1	0,92
	Cerrado	0	0	0	0	11	0	1,00
	Outros_usos	1	3	4	0	1	12	0,57
	Ex.Produutor	0,94	0,88	0,18	1,00	0,92	0,63	0,80

Apêndice G

Tabela F1 - Função discriminante para 1 variável

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	2,59	1,37	1,52	1,90	1,93	1,59
Constante	-123,50	-36,14	-43,60	-67,37	-69,67	-47,64

Tabela F2 - Função discriminante para 2 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	2,52	1,33	1,49	1,83	1,84	1,52
29072006-B5	0,74	0,51	0,28	0,72	0,95	0,81
Constante	-151,07	-49,06	-47,46	-93,13	-114,94	-80,74

Tabela F3 - Função discriminante para 3 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	2,73	1,51	1,64	2,04	1,99	1,88
29072006-B5	0,56	0,35	0,15	0,55	0,83	0,51
26052006-B3	0,90	0,78	0,62	0,86	0,63	1,51
Constante	-160,14	-55,89	-51,71	-101,48	-119,40	-106,13

Tabela F4 - Função discriminante para 4 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	2,76	1,54	1,70	2,05	2,02	1,91
29072006-B5	0,34	0,07	-0,43	0,39	0,60	0,25
26052006-B3	0,98	0,89	0,84	0,92	0,72	1,61
29072006-B4	0,41	0,53	1,09	0,30	0,42	0,49
Constante	-164,50	-62,95	-82,16	-103,71	-123,83	-112,34

Tabela F5 - Função discriminante para 5 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	2,87	1,60	1,74	2,18	2,10	2,01
29072006-B5	0,41	0,10	-0,40	0,46	0,65	0,31
26052006-B3	0,38	0,60	0,60	0,20	0,27	1,04
29072006-B4	0,32	0,48	1,06	0,19	0,35	0,41
24042006-B2	1,59	0,77	0,62	1,90	1,17	1,48
Constante	-176,99	-65,85	-84,04	-121,42	-130,57	-123,18

Tabela F6 - Função discriminante para 6 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	2,88	1,56	1,76	2,18	2,10	1,97
29072006-B5	0,20	0,62	-0,64	0,52	0,61	0,85
26052006-B3	0,30	0,79	0,51	0,22	0,25	1,25
29072006-B4	0,37	0,35	1,12	0,17	0,36	0,27
24042006-B2	1,60	0,75	0,63	1,90	1,17	1,46
29072006-B7	0,23	-0,57	0,26	-0,06	0,05	-0,59
Constante	-177,29	-67,74	-84,45	-121,44	-130,58	-125,24

Tabela F7 - Função discriminante para 7 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	3,52	1,95	2,07	2,62	2,56	2,42
29072006-B5	0,31	0,69	-0,59	0,59	0,69	0,93
26052006-B3	-0,14	0,52	0,30	-0,08	-0,06	0,94
29072006-B4	0,20	0,24	1,03	0,06	0,24	0,15
24042006-B2	-1,65	-1,24	-0,96	-0,34	-1,18	-0,82
29072006-B7	0,30	-0,52	0,30	0,00	0,10	-0,54
24042006-B5	1,19	0,73	0,58	0,82	0,86	0,83
Constante	-225,43	-85,63	-95,94	-144,11	-155,73	-148,92

Tabela F8 - Função discriminante para 8 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	3,54	1,97	2,10	2,64	2,57	2,44
29072006-B5	0,50	0,90	-0,31	0,77	0,78	1,10
26052006-B3	-0,08	0,60	0,40	-0,02	-0,03	1,00
29072006-B4	0,73	0,83	1,82	0,57	0,49	0,62
24042006-B2	-1,89	-1,50	-1,31	-0,56	-1,29	-1,03
29072006-B7	0,51	-0,29	0,61	0,19	0,20	-0,36
24042006-B5	1,19	0,73	0,58	0,82	0,86	0,84
29072006-B2	-1,82	-2,03	-2,71	-1,75	-0,88	-1,63
Constante	-235,86	-98,55	-118,95	-153,75	-158,16	-157,30

Tabela F9 - Função discriminante para 9 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	3,58	1,94	2,01	2,72	2,59	2,47
29072006-B5	0,56	0,85	-0,44	0,89	0,81	1,15
26052006-B3	0,22	0,35	-0,24	0,57	0,12	1,26
29072006-B4	0,71	0,86	1,88	0,51	0,48	0,60
24042006-B2	-1,92	-1,47	-1,24	-0,63	-1,31	-1,06
29072006-B7	0,48	-0,27	0,67	0,14	0,19	-0,38
24042006-B5	1,26	0,67	0,45	0,95	0,89	0,89
29072006-B2	-1,83	-2,03	-2,70	-1,76	-0,88	-1,64
26052006-B5	-0,21	0,17	0,44	-0,41	-0,11	-0,18
Constante	-236,23	-98,81	-120,65	-155,24	-158,26	-157,60

Tabela F10 - Função discriminante para 10 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	3,65	1,99	2,05	2,77	2,65	2,58
29072006-B5	0,60	0,88	-0,42	0,92	0,84	1,21
26052006-B3	0,13	0,29	-0,27	0,51	0,06	1,13
29072006-B4	0,68	0,83	1,87	0,49	0,46	0,56
24042006-B2	-2,10	-1,60	-1,32	-0,76	-1,44	-1,32
29072006-B7	0,42	-0,31	0,64	0,09	0,14	-0,47
24042006-B5	1,27	0,68	0,45	0,96	0,90	0,91
29072006-B2	-1,80	-2,00	-2,68	-1,74	-0,86	-1,59
26052006-B5	-0,26	0,13	0,42	-0,45	-0,14	-0,26
10052006-B3	0,44	0,31	0,19	0,32	0,32	0,62
Constante	-238,35	-99,86	-121,04	-156,36	-159,35	-161,83

Tabela F11 - Função discriminante para 11 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-usos
24042006-B4	3,69	2,01	2,08	2,82	2,67	2,61
29072006-B5	0,63	0,90	-0,39	0,96	0,87	1,24
26052006-B3	0,12	0,28	-0,28	0,49	0,05	1,12
29072006-B4	0,71	0,85	1,90	0,53	0,48	0,59
24042006-B2	-2,10	-1,60	-1,32	-0,76	-1,44	-1,31
29072006-B7	0,07	-0,50	0,35	-0,35	-0,10	-0,78
24042006-B5	1,31	0,71	0,49	1,01	0,93	0,95
29072006-B2	-1,70	-1,95	-2,61	-1,62	-0,79	-1,51
26052006-B5	-0,40	0,06	0,30	-0,62	-0,24	-0,38
10052006-B3	0,46	0,32	0,21	0,35	0,33	0,64
13072006-B7	0,37	0,20	0,31	0,46	0,26	0,33
Constante	-240,78	-100,56	-122,74	-160,08	-160,51	-163,72

Tabela F12 - Função discriminante para 12 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-us
24042006-B4	3,69	2,01	2,08	2,82	2,67	2,61
29072006-B5	0,63	0,90	-0,36	0,99	0,87	1,25
26052006-B3	0,10	0,28	-0,18	0,58	0,04	1,14
29072006-B4	0,70	0,85	1,95	0,58	0,48	0,60
24042006-B2	-2,10	-1,60	-1,30	-0,74	-1,44	-1,31
29072006-B7	0,09	-0,50	0,20	-0,47	-0,10	-0,81
24042006-B5	1,31	0,71	0,52	1,04	0,93	0,96
29072006-B2	-1,71	-1,95	-2,58	-1,60	-0,80	-1,51
26052006-B5	-0,39	0,06	0,25	-0,67	-0,24	-0,39
10052006-B3	0,47	0,32	0,15	0,30	0,33	0,63
13072006-B7	0,35	0,20	0,47	0,59	0,25	0,36
13072006-B2	0,05	0,00	-0,31	-0,27	0,00	-0,06
Constante	-240,80	-100,56	-123,85	-160,89	-160,51	-163,77

•

•

•

Tabela F25 - Função discriminante para 25 variáveis

	Algodão	Cerrado	Mata	Milheto	Milho	Outros-us
24042006-B4	4,43	2,84	2,73	3,70	3,72	3,65
29072006-B5	0,39	0,85	-0,22	0,84	0,71	0,96
26052006-B3	0,55	0,70	0,11	0,75	0,36	1,66
29072006-B4	0,96	0,91	2,20	0,62	0,53	0,65
24042006-B2	-3,27	-2,56	-2,40	-1,57	-2,32	-2,28
29072006-B7	0,75	-0,07	0,59	-0,06	0,29	-0,12
24042006-B5	0,61	0,29	0,13	0,23	0,00	0,38
29072006-B2	-1,17	-0,58	-0,65	-0,84	-0,19	-0,11
26052006-B5	-0,09	-0,33	0,45	-0,73	-0,41	-0,79
10052006-B3	-0,99	-1,88	-1,24	-1,79	-1,94	-1,54
13072006-B7	-0,25	-0,26	0,40	-0,13	-0,50	-0,37
13072006-B2	-2,21	-1,15	-1,98	-1,80	-1,78	-1,34
24042006-B7	-0,09	-0,14	-0,08	0,28	0,30	-0,02
13072006-B3	2,45	1,24	2,01	1,56	1,83	1,27
24042006-B3	2,30	1,57	1,52	1,50	1,69	1,75
13072006-B5	-0,02	0,14	-0,57	0,35	0,36	0,47
29072006-B3	-1,01	-1,20	-1,67	-0,69	-0,62	-1,22
26052006-B2	-1,16	-0,67	-0,67	-0,53	-0,63	-0,78
26052006-B4	0,39	0,37	0,23	0,23	0,38	0,38
10052006-B4	-0,51	-0,93	-0,48	-0,65	-0,93	-1,10
10052006-B2	2,11	3,99	2,57	3,76	3,97	3,96
10052006-B5	0,68	0,75	0,38	0,43	0,77	0,92
26052006-B7	-0,34	0,25	-0,13	0,08	0,07	0,14
29072006-B1	-0,15	-0,68	-1,61	-0,38	-0,27	-0,50
10052006-B7	-0,18	-0,18	-0,07	0,01	-0,15	-0,31
Constante	-277,14	-122,82	-146,85	-184,71	-190,78	-191,90

Apêndice H

Tabela G.1 – Matriz de confusão da análise discriminante.

		Referência						Ex.Usuario
		Algodão	Milho	Milheto	Mata	Cerrado	Outros_usos	
Classificação	Algodão	26	0	0	0	0	1	0,96
	Milho	0	12	1	0	0	1	0,86
	Milheto	0	0	11	0	1	0	0,92
	Mata	5	0	0	8	6	5	0,33
	Cerrado	0	0	0	1	18	0	0,95
	Outros_usos	1	0	0	2	1	12	0,75
	Ex.Produutor	0,81	1,00	0,92	0,73	0,69	0,63	0,78

Tabela G.2 – Matriz de confusão da análise discriminante com uso de filtro de moda 3x3.

		Referência						Ex.Usuario
		Algodão	Milho	Milheto	Mata	Cerrado	Outros_usos	
Classificação	Algodão	29	0	0	0	0	0	1,00
	Milho	0	12	1	0	0	1	0,86
	Milheto	0	0	11	0	1	0	0,92
	Mata	3	0	0	8	5	6	0,36
	Cerrado	0	0	0	1	19	0	0,95
	Outros_usos	0	0	0	2	1	12	0,80
	Ex.Produutor	0,91	1,00	0,92	0,73	0,73	0,63	0,81

Apêndice I

Tabela H.1 – Matriz de confusão da Classificação multidata.

		Referência						
		Algodão	Milho	Milheto	Mata	Cerrado	Outros_usos	Ex.Usuario
Classificação	Algodão	30	0	1	0	0	0	0,97
	Milho	0	21	3	0	0	2	0,81
	Milheto	1	1	0	0	0	0	0,00
	Mata	0	0	0	12	0	0	0,92
	Cerrado	0	0	0	0	11	1	1,00
	Outros_usos	1	4	7	0	1	16	0,55
	Ex.Produutor	0,94	0,81	0,00	1,00	0,92	0,84	0,80

Apêndice J

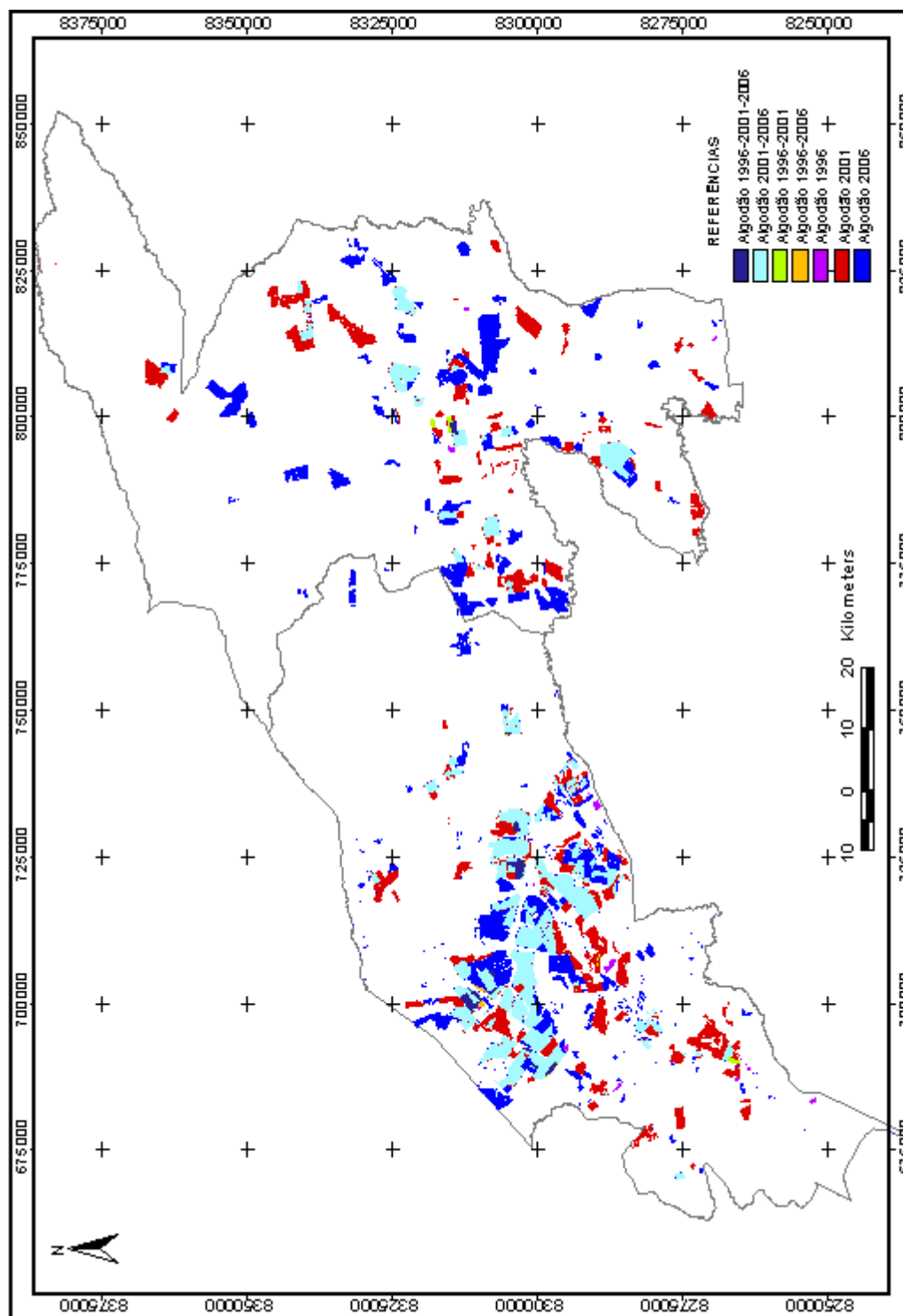


Figura I.1 – Mapa de evolução da cultura do algodão no período 1985-2006.

Apêndice K

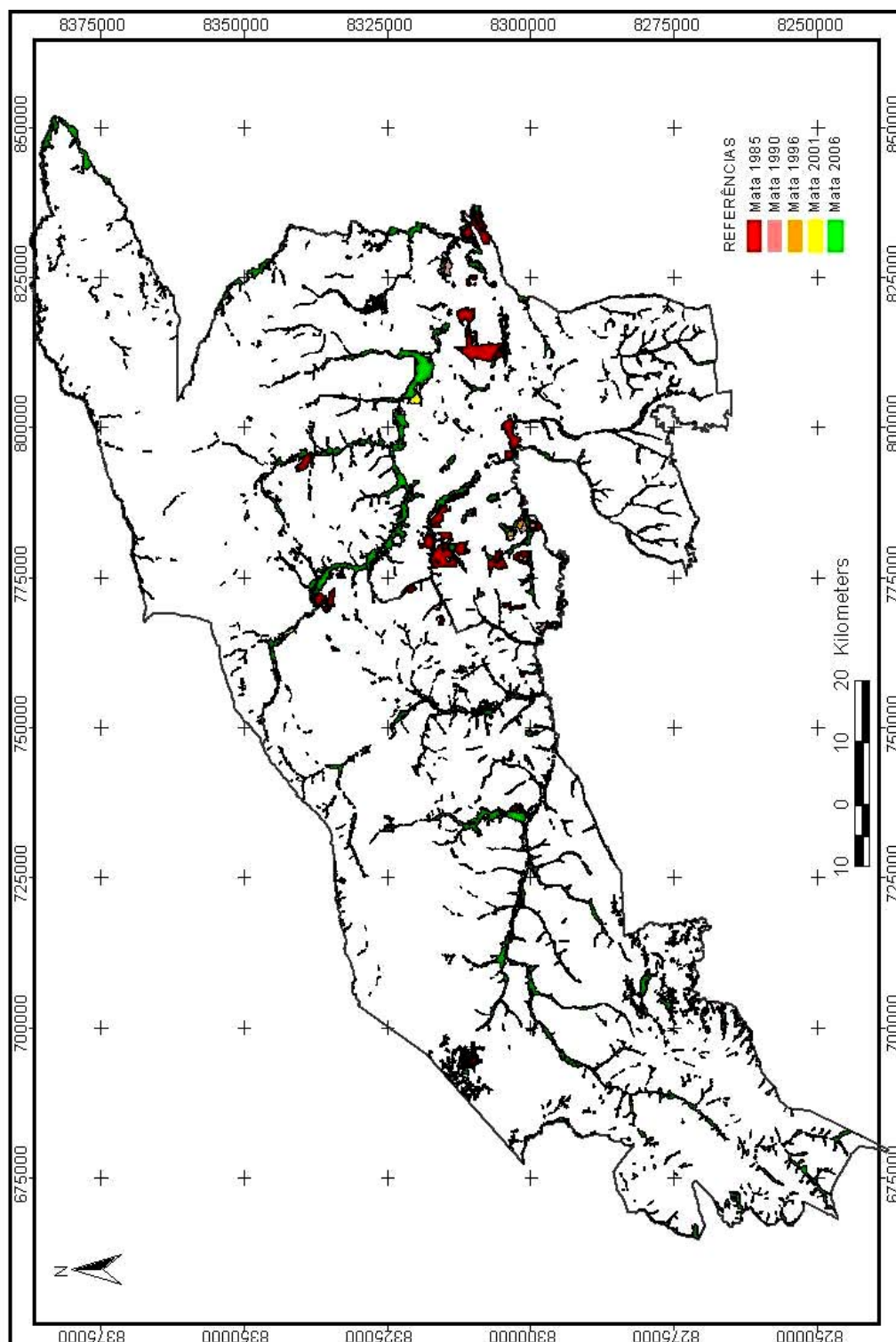


Figura J.1 – Mapa de evolução da mata no período 1985-2006

Apêndice L

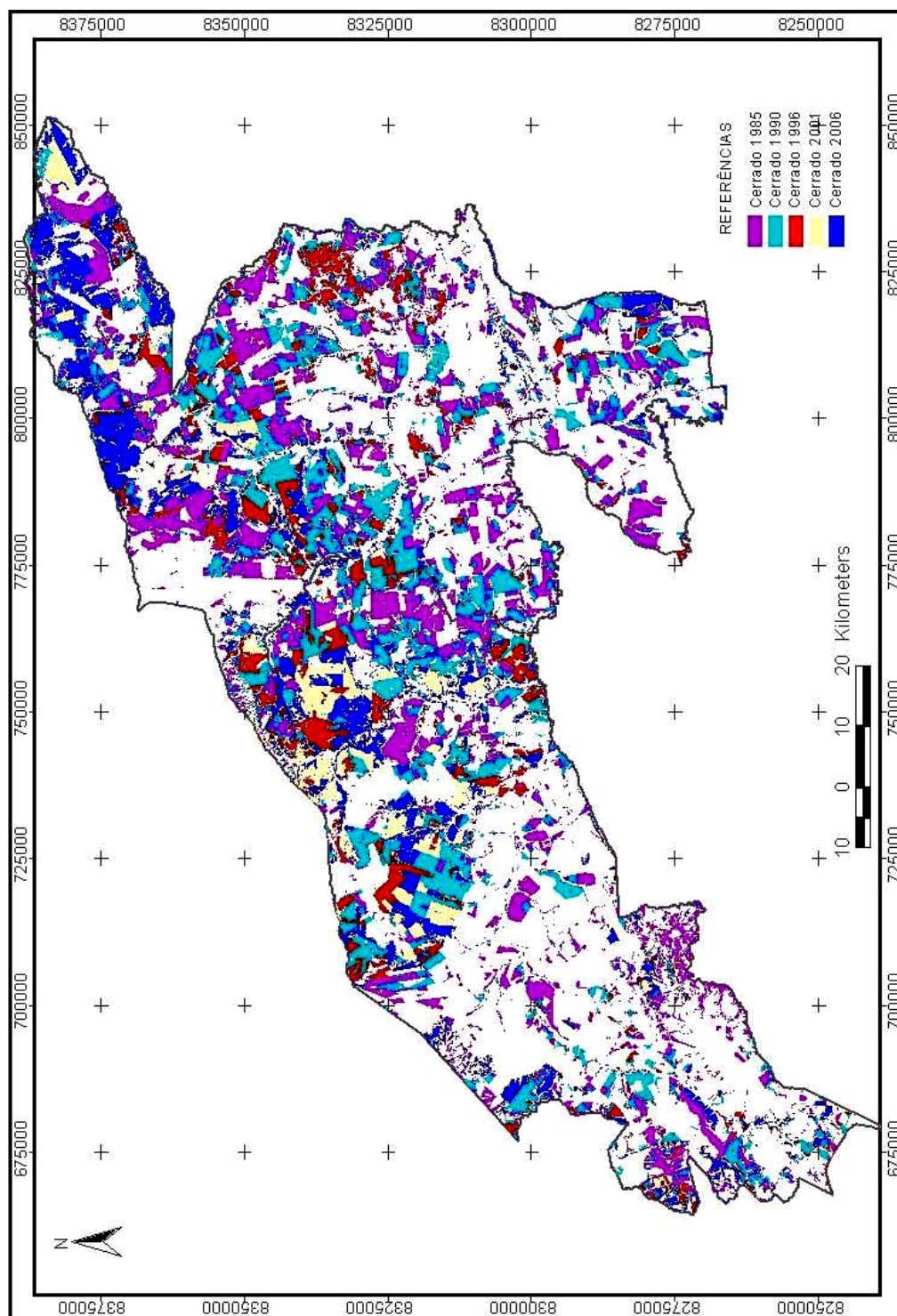


Figura K.1 – Mapa de evolução do Cerrado no período 1985-2006

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.