



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.05.15.07-TDI

DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUDESTE DE RORAIMA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Maristela Ramalho Xaud

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, aprovada em 26 de abril de 2013.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DRR8MH>>

INPE
São José dos Campos
2013

PUBLICADO POR:

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) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Luciana Manacero - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.05.15.07-TDI

DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUDESTE DE RORAIMA ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS

Maristela Ramalho Xaud

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, aprovada em 26 de abril de 2013.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DRR8MH>>

INPE
São José dos Campos
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

X17d Xaud, Maristela Ramalho.
Dinâmica do uso e cobertura da terra na região sudeste de Roraima através de técnicas de detecção de mudanças / Maristela Ramalho Xaud. – São José dos Campos : INPE, 2013.
xxvi + 107 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.05.15.07-TDI)

Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

Orientador : Dr. José Carlos Neves Epiphânio.

1. uso da terra. 2. detecção de mudança. 3. imagens-fração. 4. sensoriamento remoto. 5. Amazônia. I.Título.

CDU 528.88(814.4)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

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

Dr. Diógenes Salas Alves



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. José Carlos Neves Epiphânio



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Liana Oighenstein Anderson



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dra. Marisa Dantas Bitencourt Pereira



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Dr. Paulo Maurício Lima Alencastro
Graça



Convidado(a) / INPA / Manaus - AM

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Maristela Ramalho Xaud**

São José dos Campos, 26 de Abril de 2013

“A força não provém da capacidade física e sim de uma vontade indomável”.

Mahatma Gandhi

*Dedico a minha família,
especialmente a meus filhos Felipe,
Henrique e Pedro e a meu “tudo”
Haron, quem me levou para
Roraima, terra que aprendi a amar.*

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por mais uma oportunidade de aperfeiçoamento de qualidade e proveitosa convivência;

Ao meu orientador, Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, pela experiência trocada, pelos conselhos e pela amizade;

Ao Serviço de Pós-Graduação da Embrapa, por todo apoio dispensado durante o período de afastamento e pela prontidão no atendimento;

À equipe da Embrapa Roraima, na figura do Dr. Joaci Luz, que além de Chefe Geral, foi meu Conselheiro Acadêmico e sobretudo um grande amigo, pela força e compreensão durante o período da pós-graduação;

Aos colegas da Embrapa Roraima, em especial Luiz Vicente, Vitoriano e Otoniel Ribeiro, pela força e companheirismo durante minha missão em campo;

À Coordenação da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto e às secretárias Valéria e Vera, obrigada pela compreensão e prontidão;

Aos docentes do curso, agradeço especialmente, ao Dr. Camilo Rennó, sempre tão prestativo e salvador; ao Dr. João Roberto dos Santos, meu orientador eterno; ao Dr. Diógenes Alves, ao Dr. Antonio Formaggio e à Dra. Cláudia Almeida, pelas sugestões e experiências trocadas;

Aos colegas da OBT, em especial, Egídio Arai e Marcos Adami, pela ajuda nos processamentos, além da prontidão em compartilhar seus conhecimentos;

Aos colegas de turma e do Sigma, em especial Polyanna Bispo, Viviana Aguilar, Daniela França, Fabrício, Arnaldo, Fábio Breunig e Kléber por tornar nossos dias mais animados;

A minha família maravilhosa, em especial minha querida mãe, muito presente em todos os momentos, cujo apoio incondicional me mantém na luta;

Aos meus amigos-irmãos do mar “camarônico”, da velha e querida Rural, cuja amizade nos fortalece para cada novo amanhã.

RESUMO

O estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra tem relevante importância no entendimento dos processos que envolvem a ocupação e consolidação do território na região amazônica. O sensoriamento remoto e suas ferramentas de análise de dados, como as técnicas de detecção de mudanças, têm elevado potencial exploratório na quantificação e qualificação do uso e cobertura da terra, assim como dos seus processos de conversão e modificação. Com o objetivo geral de analisar a dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra presentes em áreas de colonização agrícola no sudeste do estado de Roraima, o presente trabalho buscou desenvolver um procedimento metodológico compatível, a partir da utilização da análise de vetor de mudança (AVM) e da subtração de imagens aplicadas às imagens-fração do modelo linear de mistura espectral, tendo como base imagens ópticas TM/Landsat. Foram testados diferentes algoritmos de classificação de imagens do tipo supervisionado e os resultados apontaram para um melhor desempenho do classificador por regiões Bhattacharyya na discriminação das conversões, tendo as imagens-diferença das frações do MLME como informação de entrada para o classificador. O agrupamento das conversões segundo as características de ganho e perda de biomassa proporcionou um melhor desempenho classificatório, que se constata pelo aumento significativo do índice *Kappa* (de 0,67 para 0,78). Dessa forma, a dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra em áreas já alteradas foi analisada através do estudo das conversões existentes nos períodos de 1997-2004 e 2004-2010. As conversões (agrupamentos) foram analisadas em função dos projetos de colonização e da distância às estradas (BR-210 e vicinais). Os resultados apontaram diferenças entre os períodos analisados em relação à presença das conversões, caracterizando o período de 1997-2004 como de intensa atividade de aberturas em áreas florestais em relação ao período seguinte, quando predominaram as conversões mais ligadas ao uso prévio do solo. Em relação à distância das estradas, os resultados mostraram uma concentração das conversões até 1500 metros das estradas, havendo diminuição da presença das conversões na faixa mais próxima às estradas (0-500m) e aumento nas faixas mais distantes entre um período e outro, sugerindo uma penetração das conversões no interior das propriedades, característica confirmada nas entrevistas de campo. De um período para outro, o aumento das conversões floresta-pasto em dois projetos (Entre Rios e Caroebe) pode significar uma tendência ao aumento na região da atividade pecuária.

LAND USE AND LAND COVER DYNAMICS IN THE SOUTHEASTERN REGION OF RORAIMA BY CHANGE DETECTION TECHNIQUES

ABSTRACT

The study of land use and land cover dynamics is relevant to understanding the processes involving territory occupation and consolidation in the Amazon region. Remote sensing and its tools for data analysis, such as change detection techniques, have high exploratory potential in quantifying and qualifying land use and land cover changes, as well as land conversion and modification processes. With the overall objective of analyzing land use and land cover change dynamics in altered areas, through the study of conversions presented in agricultural colonization areas in the southeastern region of Roraima, the present study attempted to develop a consistent methodological approach, based on the use of change vector analysis (CVA) and image subtraction techniques derived from linear spectral mixing modeling (LSMM), applied to Thematic Mapper/Landsat optical images. We tested different supervised classification algorithms and the results showed better conversion discrimination performances when the Bhattacharyya classifier by region was applied, with the use of difference images of LSMM fractions as input to the classifier. The clustering of conversions according to the characteristics of biomass gain and loss provided better classification performance, represented by the significant increase of Kappa. Thus, the land use and land cover change dynamics in altered areas was analyzed by a study of the existing conversions during the 1997-2004 and 2004-2010 periods. Conversions were analyzed in relation to colonization projects and distance to roads (BR-210 and vicinal roads). The results showed differences between the two periods, characterizing 1997-2004 as a period of intense clearing activity in forested areas in relation to the subsequent period, when conversions related to the previous land use prevailed. Regarding the distance to roads, the results showed a concentration of conversions up to 1500 meters from roads and, between one period and the another, a decreased presence of conversions in the range closest to roads (0-500m) and increased presence of conversions in more distant ranges, suggesting penetration of conversions within the properties, characteristics that was observed in the field interviews. From one period to another, increasing forest-pasture conversions in two projects (Entre Rios and Caroebe) may indicate a rising trend in the region's cattle activity.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Exemplos de padrões espaciais em áreas de colonização no Acre: (1) geométrica (2) “espinha-de-peixe”; (3) pequena “espinha-de-peixe”; (4) sistema radial (multidirecional).....	9
Figura 2.2 - Monumento dos pioneiros, do artista local Canará, retrata a diversidade de influências presentes no processo de colonização de Roraima.....	10
Figura 2.3 - Gráfico do crescimento populacional de Roraima, de acordo com os Censos Demográficos de 1980, 1991, 1996, 2000 e 2010.....	11
Figura 2.4 - Mapa da área desflorestada na região sul e sudeste do Estado em 2005.	13
Figura 2.5 - Representação do vetor de mudança, com seus componentes (μ : magnitude, α : ângulo alfa e β : ângulo beta) em um sistema de coordenadas esféricas.	27
Figura 3.1 - Localização da área de estudo no sudeste do Estado de Roraima, com a informação das glebas (banco de dados ZEE/RR). Composição colorida: banda 3-azul; banda 4-verde; banda 5-vermelho, da imagem TM/Landsat, órbita-ponto 231/59, de 28/08/2010.	32
Figura 3.2 - Desmatamento observado no período de 2000-2011: (a) por estado; (b) por município. (Continua).....	35
Figura 3.3 - Dados sobre os estabelecimentos agrícolas no estado de Roraima, de acordo com os resultados dos Censos Agropecuários de 1985, 1995/1996 e 2006.	37
Figura 3.4 - Fluxograma da metodologia do trabalho.....	42
Figura 3.5 - Representação esquemática do cálculo do ângulo alfa de acordo com o quadrante.	44
Figura 3.6 – Mapas de distâncias, relacionadas a: (a) todas as estradas; (b) BR-210.....	48
Figura 4.1 - Aspectos das classes de uso e cobertura da terra na região de estudo: (a) classe floresta; (b) classe capoeira; (c) classe agricultura; (d) classe pasto. (Continua).....	51
Figura 4.2 - <i>Boxplots</i> dos valores médios das amostras nas imagens de mudança provenientes da análise do vetor de mudança: (a) magnitude, (b) alfa, (c) beta. Conversões (eixo horizontal) = AC:	

	agricultura-capoeira; AP: agricultura-pasto; CA: capoeira-agricultura; CP: capoeira-pasto; FA: floresta-agricultura; FC: floresta-capoeira; FP: floresta-pasto; PC: pasto-capoeira. (Continua)	54
Figura 4.3 -	<i>Boxplots</i> dos valores médios das amostras nas imagens de mudança provenientes da subtração das imagens-fração: (a) solo, (b) sombra e (c) vegetação. Conversões (eixo horizontal) = AC: agricultura-capoeira; AP: agricultura-pasto; CA: capoeira-agricultura; CP: capoeira-pasto; FA: floresta-agricultura; FC: floresta-capoeira; FP: floresta-pasto; PC: pasto-capoeira. (Continua)	56
Figura 4.4 –	Curvas espectrais dos alvos: (a) vegetação; (b) solo; (c) água, em reflectância aparente (antes da correção) e reflectância de superfície (depois da correção), extraídos da TM Landsat de 2004.	58
Figura 4.5 -	Curvas de reflectância de superfície para os componentes puros do MLME.....	60
Figura 4.6 -	Imagens-fração da área de estudo (2010): (a) imagem solo; (b) imagem sombra; (c) imagem vegetação. (Continua).....	61
Figura 4.7 -	Exemplos das conversões nas imagens 2004 e 2010 (composição colorida 3B4G5R) e na imagem magnitude. (Continua).....	63
Figura 4.8 –	Bananal característico da região de estudo.	65
Figura 4.9 –	Resultados da subtração das imagens-fração no período de 2004 a 2010 para amostras das conversões (polígonos vermelhos). Tons de cinza claro e escuro representam valores positivos e negativos, respectivamente (alta intensidade de mudanças). Tons de cinza médio representam pouca ou nenhuma mudança. (Continua)	67
Figura 4.10 -	Classificação temática das conversões pelo método <i>Bhattacharyya</i> com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; TAPB: conversões de alta perda de biomassa; TMPB: conversões de média perda de biomassa; TBPB: conversões de baixa perda de biomassa; e TBGB: conversões de baixo ganho de biomassa.	75
Figura 4.11 -	Classificação temática das conversões pelo método <i>Bhattacharyya</i> com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 1997/2004. Classes da legenda: não mudança; TAPB: conversões de alta perda de biomassa; TMPB: conversões de média perda de biomassa; TBPB: conversões de baixa perda de biomassa; e TBGB: conversões de baixo ganho de biomassa.	76

Figura 4.12 - Distribuição dos tipos de conversões nos projetos de colonização: (a) e (c) por área ocupada; (b) e (d) contribuição relativa.	79
Figura 4.13 – Distribuição das conversões por faixas de distância a partir de todas as estradas presentes na área de estudo (BR-210 e vicinais): (a) e (c) área ocupada; (b) e (d) contribuição relativa. .	80
Figura 4.14 - Comparação entre os diferentes projetos de colonização quanto às conversões presentes em relação a distância às estradas (BR-210 e vicinais) nos períodos: (a) 1997-2004; (b) 2004-2010.....	81
Figura 4.15 - Distribuição das conversões em faixas de distância a partir da BR-210: (a) e (c) área ocupada; (b) e (d) contribuição relativa.	82
Figura 4.16 - Comparação entre os diferentes projetos de colonização quanto às conversões presentes em relação a distância à estrada principal (BR-210) nos períodos: (a) 1997-2004; (b) 2004-2010.	83
Figura B.1 - Classificação temática das conversões pelo método <i>Bhattacharyya</i> com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; agrupamento 2.	103
Figura B.2 - Classificação temática das conversões pelo método <i>Bhattacharyya</i> com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; todas as conversões.	104
Figura B.3 - Classificação temática das conversões pelo método <i>Bhattacharyya</i> com as imagens AVM (magnitude, alfa e beta), no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; agrupamento 1.	105
Figura B.4 - Classificação temática das conversões pelo método <i>Bhattacharyya</i> com as imagens AVM (magnitude, alfa e beta) e as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; agrupamento 1.	106
Figura B.5 - Classificação temática das conversões pelo método <i>Support Vector Machine</i> (SVM) com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança;agrupamento 1.	107

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 – Calendário das principais práticas culturais agrícolas na região de estudo.	38
Tabela 4.1 - Classes de uso e cobertura da terra, conversões e áreas de não-mudança encontradas na área de estudo.	50
Tabela 4.2 - Caracterização das conversões identificadas.	53
Tabela 4.3 - Relatório gerado pelo algoritmo iMAD, implementado no ENVI ...	59
Tabela 4.4 - Características dos testes utilizados e classes relacionadas.	69
Tabela 4.5 - Amostragem para cada conversão.....	70
Tabela 4.6 - Valores dos índices <i>Kappa</i> e exatidão global da classificação <i>Bhattacharyya</i> , tendo como entrada: as imagens da análise de vetor de mudança (AVM) – magnitude, alfa e beta; as subtrações entre imagens-fração (solo, sombra e vegetação); todas (AVM e subtrações).	71
Tabela 4.7 - Valores dos índices <i>Kappa</i> e exatidão global da classificação SVM (<i>Support Vector Machine</i>) ¹ , tendo como entrada: as imagens da análise de vetor de mudança (AVM) – magnitude, alfa e beta; as subtrações entre imagens-fração (solo, sombra e vegetação); todas (AVM e subtrações).	71
Tabela 4.8 - Matrizes de confusão derivadas das classificações selecionadas, correspondentes a classificações com o algoritmo <i>Bhattacharyya</i> , tendo como classes: (a) todas as conversões; (b) agrupamento 1; (c) agrupamento 2.	73
Tabela 4.9. Valores de <i>Kappa</i> condicional* para cada classe derivada dos agrupamento 1 e 2, nas classificações com o algoritmo <i>Bhattacharyya</i>	74

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADERR	Agência de Defesa Vegetal e Animal de Roraima
AVM	Análise por vetor de mudança
DEGRAD	Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER	Detecção de Desmatamento em Tempo Real
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FLAASH	<i>Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	<i>Instantaneous Field of View</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MAD	<i>Multivariate Alteration Detection</i>
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
PPI	Índice de Pureza de Pixel (<i>Pixel Purity Index</i>)
PRODES	Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
RMS	Erro médio quadrático (<i>Root Mean Squared Error</i>)
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Magnitude do vetor
α	Ângulo alfa
β	Ângulo beta
R_i	Reflectância na banda i
n	Número de componentes de mistura
f_k	Fração do componente puro k na banda i
R_{ik}	Reflectância do componente puro k na banda i
ε_i	Termo residual do MLME

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1	INTRODUÇÃO 1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 7
2.1.	Colonização agrícola: aspectos conceituais..... 7
2.2.	Colonização em Roraima: rumo ao sudeste..... 9
2.3.	Mudanças de uso e de cobertura da terra 13
2.4.	Sensoriamento remoto na detecção das mudanças de uso e cobertura da terra 15
2.5.	Processamento digital de imagens..... 17
2.5.1.	Pré-processamento de imagens de sensoriamento remoto 17
2.5.1.1.	Calibração radiométrica..... 18
2.5.1.2.	Correção atmosférica 18
2.5.1.3.	Retificação radiométrica 19
2.5.2.	Modelo linear de mistura espectral..... 20
2.5.3.	Técnicas digitais de detecção de mudanças 23
2.5.3.1.	Análise por vetor de mudança 26
2.5.3.2.	Subtração de imagens..... 28
2.5.4.	Segmentação 28
2.5.5.	Classificação supervisionada 29
3	MATERIAL E MÉTODOS 31
3.1.	Área de estudo 31
3.2.	Descrição física da área de estudo 32
3.3.	Histórico da colonização da área de estudo..... 33
3.4.	Situação atual: desflorestamento e atividades produtivas 35
3.5.	Materiais e equipamentos 38
3.5.1.	Produtos em formato digital..... 38
3.5.2.	Aplicativos computacionais 39
3.6.	Metodologia 39
3.6.1.	Pré-processamento 39
3.6.2.	Processamento digital para detecção de mudanças 40
3.6.2.1.	Modelo linear de mistura espectral..... 40
3.6.2.2.	Análise do vetor de mudança 43

3.6.2.3.	Subtração de imagens.....	44
3.6.3.	Levantamento de campo.....	45
3.6.4.	Extração e análise das conversões nas imagens detecção de mudanças.....	46
3.6.5.	Avaliação das conversões nas imagens detecção de mudanças: desempenho dos classificadores	47
3.6.6.	Identificação e análise dos processos	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1.	Caracterização das conversões de uso e cobertura da terra	49
4.2.	Análise exploratória das conversões.....	54
4.3.	Pré-processamento e processamento digital de imagens	57
4.3.1.	Correção atmosférica	57
4.3.2.	Retificação radiométrica	58
4.3.3.	Modelo linear de mistura espectral.....	59
4.3.4.	Análise do vetor de mudança	62
4.3.5.	Subtração das imagens-fração.....	66
4.4.	Avaliação das classificações das conversões de uso e cobertura da terra	68
4.5.	Análise da dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra	77
5	CONCLUSÕES	85
5.1.	Caracterização das conversões de uso e cobertura da terra	85
5.2.	Análise da metodologia para utilização das técnicas digitais de detecção de mudanças no estudo das conversões de uso e cobertura da terra	85
5.3.	Avaliação das classificações das conversões de uso e cobertura da terra	87
5.4.	Análise da dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra	88
5.5.	Conclusões finais	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO EM CAMPO.....	101
	APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÕES TEMÁTICAS DAS CONVERSÕES – Período 2004-2010.....	103

1 INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e cobertura da terra vêm alterando os ciclos biogeoquímicos, o balanço de radiação e o sistema climático terrestre, tendo relação direta com as emissões de gases do efeito estufa. Estima-se que algo em torno de um quinto das emissões globais de carbono seja derivado de atividades relacionadas ao uso da terra, como desmatamento e queimadas. Existem evidências de intensas mudanças em biodiversidade e perda de espécies oriundas da modificação humana de paisagens naturais, principalmente a conversão de florestas e savanas em usos agropecuários (IPCC, 2007).

Com a maior porção remanescente contínua de floresta tropical mundial, a Amazônia é vista como importante fronteira do capital natural, tendo como grande desafio científico-tecnológico a compatibilização do crescimento econômico com a conservação dos recursos naturais e a inclusão social (BECKER, 2005).

Em sua história de ocupação e consolidação do território, a região amazônica apresenta propriedades dinâmicas quanto ao uso da terra, uma vez que o movimento da população rural e suas atividades não cessam após sua ocupação inicial, estando também em constante avanço sobre novas áreas não-ocupadas (CAMPARI, 2005).

Dessa forma, diversos processos de transformação da paisagem são observados ao longo de toda a região amazônica, o que estabelece diferentes padrões de uso da terra, analisados tanto na dimensão espaço-temporal, como em relação às características sociais, econômicas, políticas e do ambiente biofísico envolvido (AGUIAR et al., 2007; SOLER et al., 2009).

Os estudos sobre as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas em localidades do sul e do leste da região amazônica, principalmente no chamado “arco do desflorestamento”, mostram padrões de alteração florestal envolvendo

extração da madeira e agricultura de subsistência, seguidas da atividade pecuária, ou processo de abandono e regeneração florestal (MORAN et al., 1994; McCRAKEN et al., 1999; ALVES et al., 2003; ESCADA, 2003). Recentemente, com a expansão da agricultura mecanizada em larga escala, foi introduzido novo padrão de transformação da paisagem, resultado do uso intensivo de áreas anteriormente abertas para a pecuária ou de novas aberturas florestais (MORTON et al., 2006).

A investigação dos processos de ocupação em outras sub-regiões amazônicas pode permitir a compreensão de diferentes padrões existentes considerando características distintas, como a influência da produção agrícola voltada ao mercado regional, a proximidade da expansão da fronteira com terras indígenas e o princípio histórico-estratégico da abertura de estradas para a ocupação da Amazônia (BARROS, 1995; MOURÃO, 2003; BARNI et al., 2011). O entendimento das trajetórias de uso e cobertura da terra em região de expansão da fronteira agrícola em Roraima tem relevante importância no ordenamento territorial do Estado e na construção de propostas sustentáveis de uso do solo na região. Nesse contexto, são sugeridos estudos dessa natureza no extremo norte da região, mais especificamente no sudeste do Estado de Roraima (XAUD et al., 2009; XAUD et al., 2011).

O sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta crucial para análise das mudanças de uso e cobertura da terra. Para a região amazônica, o acervo de imagens de satélite (a partir dos anos 1980) possibilita a disponibilização de dados consistentes para essa extensa cobertura espacial, abrangendo o período caracterizado na região por elevadas taxas de alteração demográfica e ambiental.

A característica sinóptica dos dados orbitais tem se mostrado valiosa na possibilidade de observação e compreensão dos fenômenos dinâmicos, como as conversões de uso e cobertura da terra. Como parte integrante da análise de dados orbitais, processamento digital de imagens apresenta diversas

ferramentas que buscam otimizar a extração da informação desejada (JENSEN, 2009).

Entre os processamentos digitais para tratamento das imagens ópticas, relacionados à identificação e à quantificação de mudanças na Amazônia, destaca-se o modelo linear de mistura espectral (MLME). O MLME além de permitir a extração repetitiva e quantitativa de informação ao nível do subpixel (SMITH et al., 1990; ROBERTS et al., 1998), origina imagens-fração, com significado físico dos alvos e da cobertura terrestre, uma vez que representa a proporção de cada elemento considerado puro no interior de um pixel. O MLME foi aplicado na classificação da cobertura da terra e monitoramento do desmatamento na região amazônica, sendo considerado eficaz na discriminação das classes de interesse (ADAMS et al., 1995; SHIMABUKURO et al., 1998; LU et al., 2003).

Atualmente, várias aplicações no monitoramento do desmatamento, de áreas degradadas e na classificação do uso e cobertura da terra na Amazônia brasileira têm incluído o MLME na metodologia de extração de informações dos alvos. Destacam-se o projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite), que promove o levantamento anual do desflorestamento (caracterizado pelo corte raso), o sistema DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real) e o projeto DEGRAD (Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira), com mapeamentos relacionados às áreas degradadas (INPE, 2008).

A proposta de “desmatamento zero” como meta brasileira nos acordos internacionais vem se consolidando e o conhecimento do uso histórico das áreas já desflorestadas, assim como as mudanças sofridas ao longo do tempo, tornam-se importantes ferramentas para a construção de políticas estratégicas para a região. Neste sentido, diferentes abordagens metodológicas se complementam, visando ampliar a compreensão da dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra na região amazônica. O entendimento de outros

processos de mudança, que envolvam conversões e modificações de uso e cobertura da terra, necessita ser explorado, como propõe o projeto TERRACLASS, que qualifica o uso da terra nas áreas desflorestadas identificadas pelo PRODES (INPE, 2011).

Diante desse contexto, as técnicas de detecção de mudanças apresentam elevado potencial exploratório no estudo das conversões de uso e cobertura da terra na Amazônia, entre elas a análise por vetor de mudança (AVM), técnica multivariada que trabalha com a total dimensionalidade (espectral e temporal) dos dados das imagens (MALILA, 1980; LAMBIN; STRAHLER, 1994; JOHNSON; KASISCHKE, 1998). No ambiente amazônico, a capacidade da AVM foi testada na estratificação das conversões e modificações relacionadas ao uso e cobertura da terra e na detecção da exploração madeireira (SILVA et al., 2003; GRAÇA, 2004; LORENA et al., 2004).

A subtração de imagens é outra técnica de detecção de mudanças que apresenta bons resultados na análise multitemporal de mudanças da cobertura vegetal, sendo testada também na região amazônica (ROGAN et al., 2002; HAERTEL et al., 2004; LU et al., 2005).

O presente estudo pretende contribuir no desenvolvimento de um procedimento metodológico compatível, a partir da utilização de técnicas digitais de detecção de mudanças, para caracterizar as diferentes conversões de uso e cobertura da terra que ocorrem em região de colonização no sudeste de Roraima. É esperado que a metodologia desenvolvida nesta tese permita caracterizar e entender a dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra.

Desta maneira foram formuladas as seguintes perguntas:

- a) As técnicas digitais de detecção de mudanças, utilizando dados multitemporais, possibilitam identificar e espacializar as conversões entre classes de cobertura e uso da terra?

b) A metodologia aplicada neste estudo promove avanços no entendimento da dinâmica das conversões ocorridas na região de estudo no período de 1997 a 2010?

1.1. Objetivo geral:

O principal objetivo deste trabalho foi analisar a dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra presentes em áreas de colonização agrícola no sudeste do estado de Roraima, através da avaliação de produtos oriundos de técnicas de detecção de mudanças aplicadas às imagens-fração do MLME, tendo como base imagens ópticas TM/Landsat.

1.2. Objetivos específicos:

Visando alcançar o objetivo principal, o trabalho formulou os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e caracterizar as conversões de uso e cobertura da terra, presentes em área de colonização agrícola na região sudeste de Roraima, através da análise multitemporal de imagens de satélite e dados de campo;
- Desenvolver um procedimento metodológico para avaliar os produtos de detecção de mudanças (análise de vetor de mudança e subtração de imagens), a partir de imagens-fração derivadas das imagens ópticas TM/Landsat, para o estudo das conversões de uso e cobertura da terra presentes na área de estudo;
- Avaliar a dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra, decorrentes das atividades agropecuárias na área de estudo, no período de 1997 a 2010.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Colonização agrícola: aspectos conceituais

O universo agrário é extremamente complexo, tanto em função da grande diversidade da paisagem agrária (meio físico, ambiente, variáveis econômicas etc.), como em virtude da existência de diferentes tipos de atores que o formam, os quais têm interesses particulares, estratégias próprias de sobrevivência e de produção e que, portanto, respondem de maneira diferenciada a desafios e restrições semelhantes.

A paisagem é um elemento fundamental na observação de regiões de fronteira, frentes e zonas pioneiras. Diferente do processo de colonização com intuito somente de expandir e ocupar o território, caracterizado por grandes latifúndios, o movimento considerado pioneiro está relacionado com a construção de vias de circulação, o aparecimento de pequenos centros urbanos, o loteamento das terras rurais e urbanas e o surgimento de sistemas de comercialização (MACHADO, 1995).

O termo fronteira indica as partes de um território que estão em imediato processo de povoamento pela sociedade envolvente (BARROS, 1995). A fronteira de expansão, segundo Waibel (1979), pode ser dividida em duas no Brasil: uma demográfica, efetivamente pioneira no sentido de conquista de área virgem; outra econômica, em que se verificava uma progressiva integração da área já conquistada às áreas mais desenvolvidas. Muitas vezes acontece da fronteira ser aberta por razões geopolíticas, e se mover com fins mercantis também, havendo uma coincidência de atribuições (demográfica e econômica). Foi o que aconteceu em muitas regiões da Amazônia, dentre elas o sudeste de Roraima.

Segundo Machado (1995), as características principais das fronteiras consideradas agrícolas são: a agricultura como principal atividade econômica,

a relativa disponibilidade de terras e a presença maciça de imigrantes. Em função da variedade de possibilidades, a fronteira agrícola pode ser vista como um processo, que cria a expectativa ou a possibilidade de melhor padrão de qualidade de vida para uma população rural constituída, em sua maioria, de migrantes, marginalizados e sem possibilidade de ascensão social em suas regiões de origem. Como esses imigrantes possuem diferentes origens culturais e sociais e têm expectativas muito heterogêneas, a sociedade pioneira é mutável e tensa.

O termo paisagem cultural tem estreita relação com a ação do pioneiro, que só está na fronteira porque pensa em negócios, segundo Barros (1995). Se há negócios de gado e a cobertura é florestal e não aberta, substitui-se a floresta por pastos, o mesmo acontece com as demais modificações.

A velocidade com que a agricultura se expande é considerada outro elemento identificador de uma frente pioneira, determinado pelo que Waibel (1979) denomina “rush” (causa), que pode ser estradas vicinais sendo abertas em continuação à construção de rodovias, ampliando a área de exploração e apropriação de terras anteriormente virgens.

O padrão de povoamento das regiões de fronteira geralmente difere consideravelmente daquele idealizado no modelo de Thünen, no qual várias zonas concêntricas a um mercado-cidade são imaginadas, tendo cada uma destas zonas um uso do solo relacionado por efeitos de distância-custo. As regiões de fronteira apresentam grandes irregularidades na dinâmica de ocupação, tendo áreas extremas exploradas e áreas mais próximas a vias de transporte e centros populacionais inexploradas. Isso porque são vários os fatores que influenciam essa ocupação, podendo estar relacionados a aspectos físicos (drenagem, cobertura vegetal, topografia), a explorações extrativistas (madeira e garimpo), a questões políticas (gasto público e concentração de eleitores), entre outros (BARROS, 1995).

Dessa forma, na Amazônia existe uma grande variedade de padrões de ocupação que originaram diferentes situações espaciais nas áreas de colonização, assentamentos e complexos fundiários (Figura 2.1), incluindo as famosas “espinhas de peixe”, áreas de colonização espontânea ou desordenada, grandes projetos agropecuários, assentamentos com desenho baseado na topografia, sistemas radiais, entre outros (BATISTELLA e MORAN, 2005).

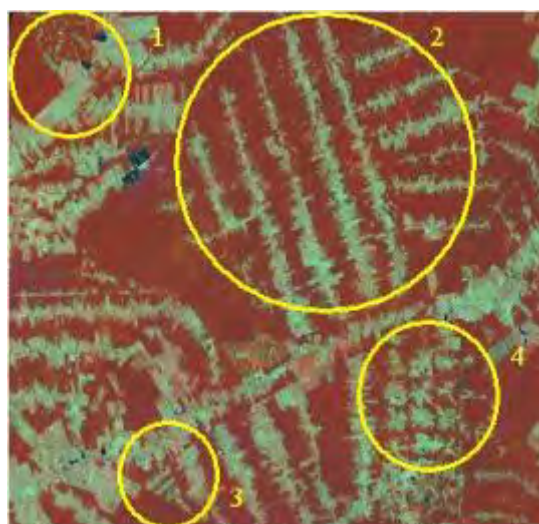


Figura 2.1 - Exemplos de padrões espaciais em áreas de colonização no Acre: (1) geométrica (2) “espinha-de-peixe”; (3) pequena “espinha-de-peixe”; (4) sistema radial (multidirecional).

Fonte: Adaptado de Lorena (2008)

2.2. Colonização em Roraima: rumo ao sudeste

No histórico da colonização de Roraima, podemos observar que a ocupação visando à expansão e garantia do território esteve presente até o início do século XX (Figura 2.2).

“Os primeiros produtos de interesse para a exploração das terras de Roraima foram as drogas do sertão¹ exploradas no baixo curso do rio Branco e afluentes, onde se tem a zona da floresta. O povoamento seria a única alternativa para a ocupação definitiva desses espaços,

¹ Referiam-se aos produtos não-madeireiros da floresta, coletados por extrativismo vegetal.

de forma a garantir sua posse para a Coroa Portuguesa e, dada as características particulares dessa região da Amazônia, onde além da floresta, se desenvolvem as diferentes fisionomias do cerrado, principalmente a dos campos limpos, optou-se nestes campos pela criação de gado, constituindo assim a primeira ação civilizatória que iria implantar as fazendas, origem das futuras vilas e depois cidades do Estado, juntamente com as missões religiosas, que tinham por objetivo aldear os indígenas.

A partir do século XIX a pecuária extensiva de corte é a base da economia, utilizando a mão-de-obra indígena. Essa situação perdurou por todo o século XIX, mantendo as mesmas condições de uso da terra, de ocupação tênue, que poucas marcas deixaram na atual formação social e econômica do Estado. No início do século XX essas características se modificam com a migração nordestina, como consequência do segundo ciclo da borracha. Por volta de 1930, o garimpo em Roraima incentiva a fixação do homem na região e a migração.” (IBGE, 2005c)

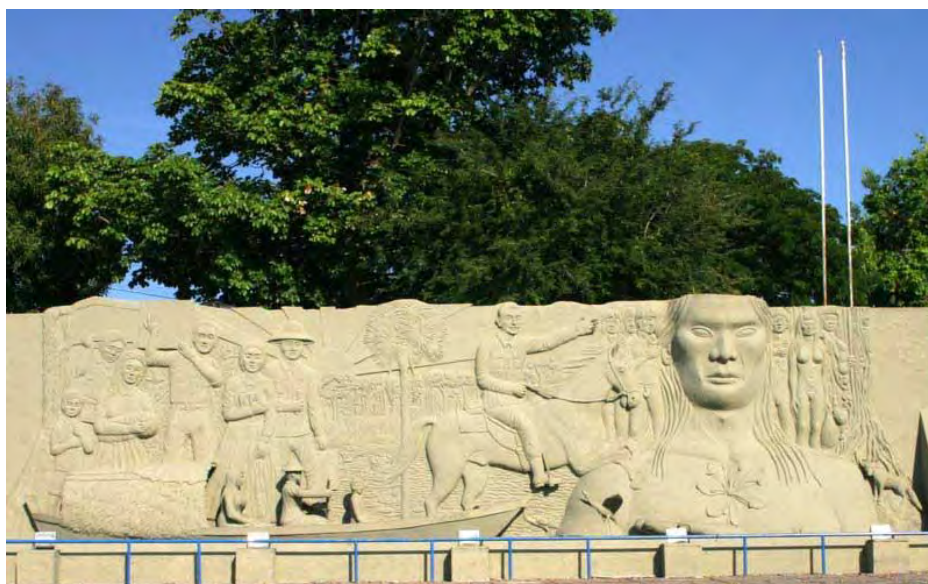


Figura 2.2 - Monumento dos pioneiros, do artista local Canará, retrata a diversidade de influências presentes no processo de colonização de Roraima.

Com a chegada de migrantes, a princípio por conta do garimpo, mas posteriormente em função da colonização da região de fronteira, observou-se um expressivo crescimento populacional. As transformações no Estado de Roraima podem ser analisadas a partir da dinâmica populacional ocorrida nas décadas de 1980 e 1990, acentuando-se na década de 1990, depois da criação do Estado. Essa acentuada aceleração no crescimento populacional foi de

309,80%, o equivalente a um crescimento de 15,49% ao ano, no período 1980/2000. A densidade demográfica do Estado passou de 0,37 hab/km² para 1,45 hab/km², no mesmo período (IBGE, 2005c). O censo demográfico de 2010 apresenta uma população de 450.479 habitantes, com densidade demográfica de 2,01 hab/km².

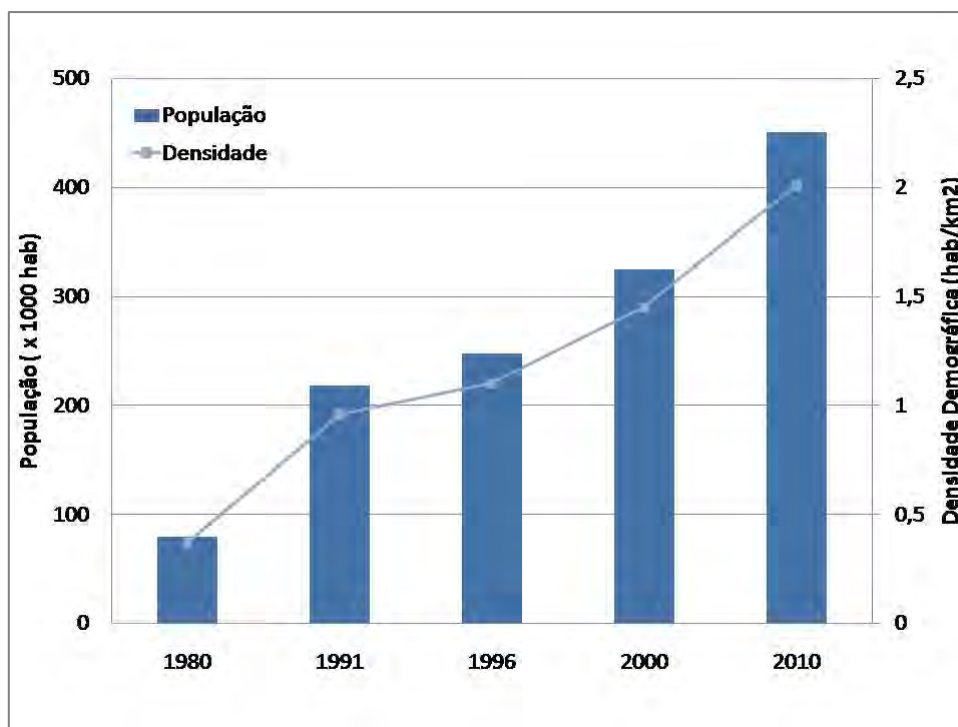


Figura 2.3 - Gráfico do crescimento populacional de Roraima, de acordo com os Censos Demográficos de 1980, 1991, 1996, 2000 e 2010.

De acordo com IBGE (2005c), a estrutura fundiária e os modelos de produção de Roraima mantiveram-se intactos por cerca de dois séculos até a criação do Território (1943) e, posteriormente, do Estado (1988). Eram terras situadas no extremo norte do país, onde grandes fazendas de gado, latifúndios, conviviam nas áreas de campos e cerrados com as populações indígenas, que não tinham propriedade legalmente definida. Poucos núcleos garimpeiros isolados situavam-se nas regiões de serras. Ao longo dos rios, de forma esparsa, vivia a população ribeirinha, que se utilizava da produção extrativista, na zona da floresta, e da atividade pesqueira. A maioria da área florestal do Estado não era

explorada, ali habitavam outras tantas populações indígenas, algumas já contactadas, outras ainda não conhecidas.

Nessa estrutura, aparentemente estável, vários atores passaram a interagir, formal ou informalmente. Correntes migratórias vieram estabelecer garimpos, que foram abertos de forma generalizada na área florestal, desalojando as populações indígenas e causando vários conflitos sociais e ambientais, até que a atividade do garimpo foi proibida (1992), sendo criadas algumas reservas indígenas e ambientais.

A colonização dirigida, ou espontânea e depois regularizada por projetos governamentais, concentrou-se principalmente em duas regiões de colonização na área florestal. Uma mais próxima de Boa Vista (60 a 100 quilômetros), onde os colonos podiam se deslocar com menor custo e maior frequência, servindo de principal mercado para os produtos. Outra bem mais distante, no sul e sudeste do Estado, com mais de 300 quilômetros do mercado de Boa Vista, cujos produtos oscilam entre o mercado de Boa Vista e Manaus (BARROS, 1995).

Assim, a colonização do sul e sudeste de Roraima é caracterizada por estar cercada por reservas indígenas (Terras Indígenas Wai-Wai, Waimiri-Atroari e Trombetas-Mapuera) e também por estar situada ao longo das rodovias BR-174 e BR-210, vias construídas com fins estratégicos e militares, distantes dos mercados consumidores (Figura 2.4). Essas características, aliadas à extraordinária riqueza de paisagens e as condições do meio natural (floresta tropical densa, potencial madeireiro, presença de riquezas minerais), conferem à região uma fragilidade peculiar (MOURÃO, 2003).

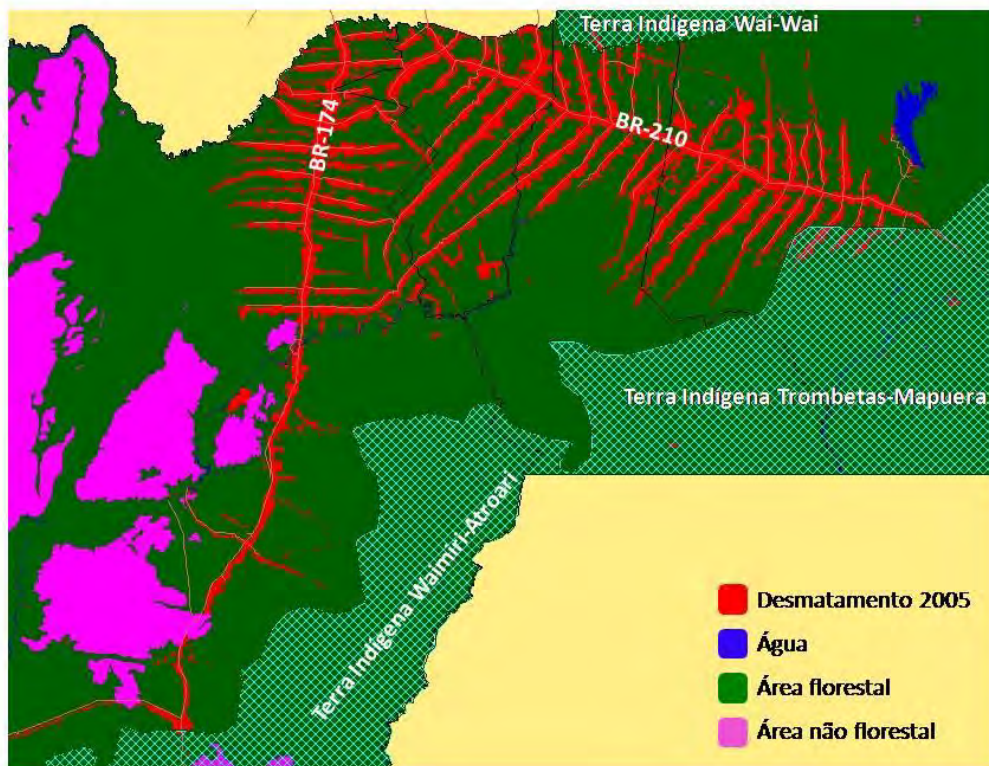


Figura 2.4 - Mapa da área desflorestada na região sul e sudeste do Estado em 2005.

Fonte: Adaptado de Xaud et al. (2009)

2.3. Mudanças de uso e de cobertura da terra

As transformações ocasionadas pelo processo de colonização agrícola podem ser divididas em: mudanças de uso e mudanças de cobertura da terra. Mudanças de uso da terra estão relacionadas às atividades realizadas pelo homem no emprego da terra e envolvem classes como, por exemplo, agricultura, pecuária, reserva indígena. As mudanças de cobertura da terra referem-se a alterações no estado físico, químico e biológico da superfície da Terra, tendo classes como floresta, capoeira, gramínea etc.

Tendo em vista as mudanças de uso e de cobertura da terra, dois conceitos recebem destaque: conversão e modificação. Conversão refere-se à mudança de classe (por exemplo, floresta para cultura agrícola) e modificação refere-se

à mudança na condição de uma classe (por exemplo, floresta para floresta degradada).

As mudanças no uso da terra ocorrem em vários níveis espaciais e em diferentes períodos, denotando a dinâmica humana e ambiental sobre a paisagem. Através do levantamento de vários estudos na região da fronteira amazônica, analisaram-se alguns processos que envolvem as mudanças no uso da terra na região (ALMEIDA e CAMPARI, 1995; CAMPARI, 2002; LUDEWIGS et al., 2009):

- a) Intensificação: processo de elevar as entradas em sistemas agrícolas (trabalho, fertilizantes, inseticidas e herbicidas) ou de encurtar o tempo de pousio para aumentar o rendimento da área produtiva. BOSERUP (1965) conceitua intensificação como sendo a maximização da produção por área, com o aumento da frequência de uso do mesmo solo, através de investimento tecnológico;
- b) Extensificação: há o aporte sistemático de novas áreas ao processo produtivo, ocorrendo diminuição da produção por área;
- c) Desintensificação: há uma redução no processo produtivo outrora intensificado, podendo chegar ao abandono;
- d) Turnover: transferência, através de venda, troca ou outras transações, do lote de uma família para outra. Nos assentamentos, isso envolve concessão de direito de uso, mediante recibo de compra e venda.
- e) Consolidação: agregação via turnover de vários lotes vizinhos, formando uma grande propriedade;
- f) Concentração: agregação via turnover de vários lotes, não necessariamente vizinhos;
- g) Reconcentração: termo utilizado quando o processo de reforma agrária vem da desapropriação de uma grande propriedade, que é dividida em lotes, para depois ser novamente concentrada;

- h) Fragmentação: subdivisão dos lotes para divisão dentro da família ou comercialização de pequenas parcelas para migrantes recém-chegados;
- i) Abandono: saída temporária ou permanente da propriedade;
- j) Migração interregional: movimento de migrantes de uma região para outra, predominou na Amazônia desde os anos 60 até meados dos anos 80, diminuindo no período de 1986 a 2000;
- k) Migração intrarregional: movimento de migrantes dentro da mesma região, ocorreu uma vez que havia estoque de população rural dentro da Amazônia;
- l) Coorte: efeito relacionado ao uso da unidade doméstica, em função do ciclo entre migrantes;
- m) Fronteira urbana: processo de urbanização que atinge a região da fronteira, com o crescimento dos pequenos núcleos urbanos.

2.4. Sensoriamento remoto na detecção das mudanças de uso e cobertura da terra

Com sua capacidade de representar a realidade de diversas formas, o sensoriamento remoto é uma ferramenta que privilegia aspectos particulares da cobertura da terra. Das imagens de alta resolução temporal do sensor AVHRR, através do imageamento na região termal, são detectados focos de calor desde os anos 80, que auxiliam no monitoramento de queimadas e incêndios florestais no Brasil e atualmente na América Latina (INPE, 2008).

Através de imagens LANDSAT, é realizada a detecção do desflorestamento na Amazônia desde a década de 1970 (TARDIN, 1980) e de maneira sistemática, a partir da década de 1980, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais realiza monitoramento anual do desflorestamento (PRODES), anunciando as taxas oficiais do Governo brasileiro quanto às áreas florestais totalmente convertidas (corte raso) na Amazônia brasileira.

A partir de 2004, o sistema DETER (Detecção de Desmatamento em tempo quase real) utiliza mensalmente imagens dos sensores MODIS (Terra/Aqua) e WFI (CBERS), para detectar diversos tipos de alterações da cobertura florestal, de tamanho acima de 25 hectares, visando subsidiar os órgãos de fiscalização com dados atualizados. Mais recentemente, foi implantado o DEGRAD (Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira), que utiliza imagens dos satélites LANDSAT e CBERS, tendo foco nos processos de degradação florestal, geralmente precedentes dos processos de desflorestamento e ligados à exploração madeireira (INPE, 2008).

Apesar de suas vantagens, os dados de sensoriamento remoto podem apresentar limitações significativas na detecção de atividades relacionadas à análise do uso e cobertura da terra. Essas limitações incluem desde problemas relacionados à presença de nuvens a problemas relacionados à resolução temporal no sentido de capturar mudanças interanuais no uso da terra e problemas relacionados a resoluções espaciais e espectrais, não permitindo a diferenciação sutil entre classes de cobertura da terra, que são cruciais para a interpretação do uso da terra (ESCADA, 2003; BRONDIZIO, 2009).

Escada (2003) realizou análises de processos como indicadores de mudanças no uso e cobertura da terra (desflorestamento, sucessão secundária/abandono e alteração fundiária), associados a diferentes padrões de ocupação da terra observados por sensoriamento remoto. Trabalhos que analisam o desflorestamento como um processo na região amazônica evidenciam que, através da análise de padrões, é possível entender o comportamento concentrado e agregado do desflorestamento ao longo das principais rodovias. Cerca de 90% das áreas desflorestadas no período de 1991 a 1997 ocorreram dentro de 100 km de distância das principais rodovias da região (ALVES et al., 1999; ALVES, 2002; ALVES et al., 2003).

Alves et al. (2003) concluiu que a concentração de desflorestamento e o aumento da atividade pecuária levam a um processo de intensificação do uso

da terra baseado no desenvolvimento de pastagens, com diminuição das áreas de vegetação secundária. Por outro lado, o abandono traz como consequência o desenvolvimento da sucessão secundária (formação das capoeiras) e pode estar associado a diferentes quadros de degradação do solo (ESCADA, 2003; ALVES, 2007).

Um aspecto fundamental da análise espacial de mudanças de cobertura da terra é o processo por meio do qual as ações humanas são associadas às transformações da paisagem. Tal associação pode ser implementada em vários níveis, como os de unidades domésticas, comunidades, municípios ou regiões, indicando diferentes escalas de análise (BRONDIZIO, 2009).

2.5. Processamento digital de imagens

O processamento digital de imagens consiste em técnicas de manipulação numérica de dados contidos em imagens digitais, nas quais as imagens originais são processadas com a finalidade de produzir outras imagens de forma a facilitar a identificação e a extração de informações (CRÓSTA, 1992; NOVO, 2008). Atualmente, vários são os sistemas computacionais dedicados às atividades interativas de análise e manipulação das imagens digitais de sensoriamento remoto, onde o processamento digital tem diferentes formas de atuação, seja em um estágio preparatório (quase sempre obrigatório) ou posteriormente como ferramenta de análise. Nesse contexto, as atividades de processamento digital de imagens podem ser organizadas em três etapas independentes: pré-processamento, realce e classificação (NOVO, 2008).

2.5.1. Pré-processamento de imagens de sensoriamento remoto

A etapa de pré-processamento é fundamental na análise multitemporal e na detecção de mudanças, quando se têm a necessidade de comparar e realçar a diferença entre duas ou mais imagens, com manipulação dos dados digitais.

Dessa forma, o pré-processamento procura minimizar algumas características das imagens digitais que não pertencem à cena imageada, mas são inerentes ao processo de aquisição dos dados, como as produzidas pela natureza do sensor, atmosfera, nuvens, etc.

2.5.1.1. Calibração radiométrica

A correção radiométrica realizada como etapa do pré-processamento consiste na conversão dos números digitais originais das imagens para valores com significado físico (radiância ou reflectância), permitindo a comparação quantitativa dos valores e conseqüentemente das assinaturas específicas dos alvos, mantendo a consistência entre dados multitemporais (HILL; STURM, 1991; CHEN et al., 2005).

Os valores de radiância e reflectância da cena são obtidos utilizando parâmetros de ajuste referentes ao sensor, disponíveis desde o lançamento do satélite e passíveis de atualizações ao longo de sua vida útil, visando melhorar a precisão da transformação radiométrica (MARKHAM; BARKER, 1987; CHANDER; MARKHAM, 2003; CHANDER et al., 2007).

2.5.1.2. Correção atmosférica

O objetivo da correção atmosférica consiste na minimização dos efeitos causados por gases e aerossóis presentes na atmosfera a fim de possibilitar a restauração da reflectância da superfície das imagens. Dessa forma, a correção dos efeitos atmosféricos de forma completa carece de informações que permitam estimar os processos de espalhamento e absorção pela camada atmosférica nos diferentes comprimentos de onda.

As imagens TM-Landsat podem ser corrigidas por modelos baseados no cálculo da transferência radiativa na atmosfera. Este processamento não só corrige os efeitos de espalhamento e absorção atmosférica, como também normaliza as variações sazonais na irradiância solar, garantindo que as modificações detectadas entre datas diferentes sejam relativas a variações no comportamento dos objetos da cena imageada (NOVO, 2008).

2.5.1.3. Retificação radiométrica

A retificação radiométrica é considerada uma calibração relativa dos dados entre imagens de diferentes datas e é utilizada para remover distorções inerentes às condições diversas de aquisição das imagens (condição de iluminação, propagação atmosférica, resposta do sensor), o que possibilita a comparação entre os dados. Geralmente a retificação radiométrica é integrada à correção atmosférica (calibração absoluta), aplicada à imagem referência da série temporal (HALL et al., 1991; CANTY et al., 2004).

Vários métodos de normalização radiométrica relativa foram desenvolvidos, tendo pressuposto da homogeneidade na variação da reflectância em toda a cena, com ajuste realizado por funções lineares (HALL et al., 1991; DU et al., 2002). A determinação de objetos invariantes no tempo é a etapa mais difícil e demorada em todos os métodos. Dessa forma, o método desenvolvido por Canty et al. (2004) propõe um processo automático de seleção dos objetos invariantes, utilizando a técnica de detecção de mudanças (MAD - Multivariate Alteration Detection), desenvolvida e aperfeiçoada por Nielsen et al. (1998; 2002). Com a seleção de uma grande quantidade de pixels invariantes para a determinação da regressão linear, é possível a seleção de alguns deles para teste, possibilitando a aferição estatística do procedimento.

2.5.2 Modelo linear de mistura espectral

O uso de transformações espectrais em dados de sensoriamento remoto é normalmente utilizado quando se pretende realçar alguma feição não evidente nos dados originais. Estas transformações podem tornar o produto final mais apropriado para análises posteriores, como no caso do modelo linear de mistura espectral (MLME), que permite extrair a informação com significado físico dos alvos.

O MLME é uma transformação espectral com o princípio de que a reflectância medida pelo sensor em um ponto é composta pela integração das respostas de cada um dos componentes de um pixel. Geralmente, em função da resolução espacial do sensor, o pixel é composto por mais de um tipo de objeto. Assim, o MLME tem a finalidade de identificar a proporção do padrão de resposta espectral de diferentes alvos que compõem um elemento de cena, assumindo que o espectro medido por um sensor é uma combinação linear do espectro de todos os componentes dentro do pixel (ADAMS et al., 1986; SHIMABUKURO; SMITH, 1991).

No caso do modelo linear, considera-se que cada fóton interage com um único tipo de material dentro do campo de visada (IFOV – “*Instantaneous Field of View*”), de forma que a mistura espectral pode ser modelada como a soma do espectro puro dentro do IFOV medido pela fração da área de cada material. O modelo matemático do modelo linear pode ser expresso pela Equação 2.1.

$$R_i = \sum_{k=1}^n f_k R_{ik} + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

Onde,

R_i - Reflectância de um dado pixel na banda espectral i ;

n - Número de componentes de mistura;

f_k - Fração de cada componente puro k dentro do pixel;

R_{ik} - Reflectância do componente puro k na banda espectral i ;

ε_i - Termo residual que expressa a diferença entre a reflectância do pixel observado R_i e a reflectância do pixel computado a partir do modelo.

A suposição que a reflectância de um pixel misturado é composto de uma soma linear ponderada de um conjunto de reflectâncias de componentes puros pode ser considerada, de forma que uma fração individual não exceda a faixa entre 0 e 1 e que a soma de todas as frações seja igual a um, através da aplicação das restrições presentes nas Equações 2.2 e 2.3, respectivamente.

$$0 \leq f_k \leq 1 \quad (2.2)$$

$$\sum_{k=1}^n f_k = 1 \quad (2.3)$$

Uma vez que a principal suposição do MLME é que a maior variabilidade nos dados observados esteja presente nas frações f_k , o número de componentes puros utilizados como entrada do modelo não pode ser maior que a quantidade de bandas espectrais (BOARDMAN, 1989).

Vários métodos foram desenvolvidos para a seleção dos componentes puros: a partir de uma biblioteca espectral, valores de reflectância medidos em laboratório ou campo ou da própria imagem, pixels espectralmente puros identificados a partir do algoritmo PPI (*Pixel Purity Index*) (BOARDMAN et al., 1995), seleção manual, ou ainda a combinação de vários métodos (SMITH et al., 1990).

Grande parte das aplicações em sensoriamento remoto utiliza métodos baseados em estimativas de mínimos quadrados (SMITH et al., 1990) e na separação de valores únicos (BOARDMAN, 1989), para modelar a mistura espectral de forma linear através de amostras de treinamento de componentes puros representativos de alvos presentes na cena.

O erro estimado para verificar o ajuste do modelo pode ser calculado através do erro médio quadrático (RMS), cujos pixels não modelados podem ser descritos pela soma dos quadrados de todos os termos residuais para um dado pixel em relação ao número de bandas espectrais m , conforme a Equação 2.4:

$$\text{RMS} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^m \varepsilon_i^2\right)/m} \quad (2.4)$$

O RMS é calculado para todos os pixels da imagem. Quanto maior o RMS pior é o ajuste do modelo (MATHER, 1999). Assim, a imagem de erro pode ser utilizada para avaliar se os componentes puros foram selecionados corretamente e se o número de componentes puros é suficiente. Conforme Smith et al. (1990), o erro é considerado pequeno quando ele é comparável ao ruído do sensor (<2 níveis de cinza, no caso do TM /Landsat).

Em suma, a aplicação do MLME tem como objetivo a geração de imagens de proporção ou imagens-fração, representativas dos principais elementos de ocorrência das imagens analisadas. O número de bandas originais é reduzido para o número de componentes do modelo de mistura, auxiliando a extração de informações dos diferentes tipos de uso do solo e dinâmica de regeneração da vegetação. A identificação e seleção dos componentes puros ou “pixels” puros, correspondentes aos “pixels” da imagem original compostos por apenas um tipo de alvo, pode ser realizada diretamente na imagem. A análise das curvas espectrais dos “pixels puros”, aliada ao cálculo do erro médio e à geração de imagens de erro são indicadores da adequação dos componentes selecionados e de suas assinaturas.

O MLME foi aplicado na classificação da cobertura da terra e monitoramento do desmatamento na região amazônica, sendo considerado eficaz na discriminação das classes de interesse (ADAMS et al., 1995; SHIMABUKURO

et al., 1998; LU et al., 2003). Haertel et al. (2004) aplicaram o MLME para detecção de mudanças entre duas datas utilizando dados Landsat-TM. A metodologia proposta por esses autores permitiu avaliar as mudanças através da análise do aumento ou decréscimo de cada imagem fração gerada. Trabalhos realizados em Roraima utilizando esses componentes do MLME apresentaram resultados positivos na diferenciação das fisionomias florestais (XAUD, 1998a; XAUD, 1998b; ARAÚJO, 1999).

2.5.3. Técnicas digitais de detecção de mudanças

Detecção de mudanças pode ser definida como o processo de identificação de diferenças no estado de um objeto ou fenômeno através da observação do mesmo em diferentes datas ou épocas. Dessa forma, as técnicas geralmente envolvem a análise quantitativa de dados multitemporais, visando o entendimento dos efeitos temporais referentes ao fenômeno (LU et al., 2003). Devido às vantagens de aquisição repetitiva de dados, visão sinóptica e formato compatível, os dados de sensoriamento remoto têm sido importantes fontes de dados para diferentes aplicações para a detecção de mudanças do uso e cobertura da terra nos últimos anos (LU et al., 2004). Estas técnicas utilizam métodos de processamento digital, tais como, subtração de imagens, razão entre bandas e componentes principais, pós-classificação e análise do vetor de mudança (GRAÇA, 2004).

Segundo Pacifici et al. (2007), as técnicas de detecção de mudanças podem ser agrupadas em duas abordagens principais: supervisionadas e não supervisionadas. A primeira é baseada nos métodos de classificação supervisionados e requer a disponibilidade de dados de treinamento apropriados para os classificadores; a segunda executa a detecção de mudanças ao transformar duas imagens multiespectrais em uma ou várias

imagens, onde as áreas de mudança de uso e cobertura do solo podem ser detectadas.

Os algoritmos de detecção de mudança não supervisionados processam imagens multitemporais para gerar outra imagem. Por exemplo, a diferença de imagens faz uma subtração (pixel a pixel) das imagens multitemporais para produzir uma nova imagem. A imagem de diferença obtida fornece valores significativamente diferentes entre os pixels associados a mudanças de uso e cobertura da terra, e os pixels associados a não mudança. As mudanças são depois identificadas a partir da análise (i.e. limiares) da imagem de diferença. Esses algoritmos não permitem de forma explícita identificar que tipos de transições ocorreram numa determinada área. Para isso, é necessário reconhecer os tipos de mudanças ocorridos na área de estudo. A análise de vetor de mudança, por exemplo, permite distinguir entre diferentes direções de mudança, mas por não ser supervisionada, não permite identificar explicitamente as tipologias das transições (CASTILLO, 2011).

A mudança pode estar relacionada a uma variável categórica (classe) ou contínua, dependendo do tipo de mudança (abrupto ou gradual), relativo a processos de conversão (total alteração da classe de cobertura) ou modificação (parcial alteração) da cobertura do solo. No contexto espacial, os processos de mudança agem de várias maneiras sobre os objetos ou fenômenos, podendo: 1) transformar em outra categoria, 2) expandir, diminuir ou alterar a forma; 3) mudar de posição ou 4) fragmentar ou unir (COPPIN et al., 2004).

Os principais desafios das técnicas de detecção de mudanças têm sido a capacidade de detectar os processos de modificação em adição aos de conversão; a capacidade de monitorar mudanças rápidas e abruptas em tempo hábil; a capacidade de separar a variabilidade interanual dos fenômenos de tendências seculares e o conhecimento e a correção dos dados quanto à

dependência escalar de acordo com a resolução espacial empregada (COPPIN et al., 2004).

Muitas técnicas de detecção de mudanças vêm sendo desenvolvidas e aplicadas em mudanças de uso e cobertura da terra. Entretanto diferentes conclusões sobre a viabilidade e utilidade dos métodos persistem, influenciados principalmente pela complexidade das paisagens das áreas de estudo e pelos dados usados para análise (LU et al., 2005). No ambiente amazônico, várias abordagens foram usadas e algumas delas serão comentadas a seguir.

Lu et al. (2005) comparou dez técnicas de detecção de mudanças em região florestal da Amazônia (Rondônia), enfocando a informação binária (mudança ou não-mudança). Os resultados apontaram que os melhores métodos de detecção de mudanças para a área estudada foram aqueles baseados em subtração de uma data pela outra.

Lorena (2003) utilizou a análise por vetor de mudança como técnica da detecção de mudança, e em contrapartida, a técnica tradicional de classificação por regiões *Bhattacharyya*, como elemento comparativo em estudo da dinâmica do uso e da cobertura da terra da região do Peixoto, Estado do Acre, utilizando-se dados multitemporais e multiespectrais do TM/Landsat, atualizados e adicionados a informações coletadas em trabalho de campo. Os resultados demonstraram a capacidade da técnica vetor de mudança em estratificar diferentes tipos de modificações relacionadas ao uso da terra e a cobertura vegetal da região.

Silva (2003) aplicou a técnica análise por vetor de mudança para detectar, caracterizar e quantificar as mudanças ocorridas na cobertura vegetal e uso da terra, em áreas de florestas tropicais sob exploração madeireira, no norte do Estado do Mato Grosso. Foram utilizadas imagens fração de solo, vegetação e sombra, originárias do modelo linear de mistura espectral para duas datas. Através da diferença entre as imagens fração multitemporais, foram geradas a

imagem magnitude do vetor de mudança e duas matrizes angulares. A partir destas, foi possível detectar a intensidade e a natureza da mudança ocorrida na cobertura vegetal e uso da terra. A análise por vetor de mudança demonstrou ser eficiente na detecção dos níveis de grande mudança, mudança sutil e na detecção das áreas que não tiveram mudanças significativas entre os anos 2001 e 2002.

Graça (2004) utilizou as técnicas digitais de detecção de mudanças entre elas, subtração de imagens e análise do vetor de mudança, aplicadas às imagens ETM e TM/Landsat, para mapear, monitorar e quantificar as áreas submetidas à exploração madeireira em região florestal do norte do Mato Grosso, obtendo resultados positivos para a análise do vetor de mudanças, com suporte do classificador por crescimento de regiões.

2.5.3.1. Análise por vetor de mudança

A AVM é uma técnica utilizada para detectar e caracterizar mudanças radiométricas em um conjunto de imagens multitemporais obtidas a partir de sensores remotos. A sua principal vantagem é a habilidade de processar n componentes de entrada, produzir informação detalhada da detecção de mudança e ter uma menor necessidade de intervenção humana quando comparada à técnica de pós-classificação (LU et al., 2004). A diferença na resposta espectral de um mesmo pixel em momentos diferentes de sua trajetória forma um espaço vetorial, definindo um vetor de mudança (MICHALEK et al., 1993).

Esta técnica foi proposta inicialmente por Malila (1980) que, a partir de pares de imagens multiespectrais de datas diferentes, caracteriza as mudanças através de vetores que possuem magnitude e direção em um espaço multiespectral (MICHALEK et al., 1993).

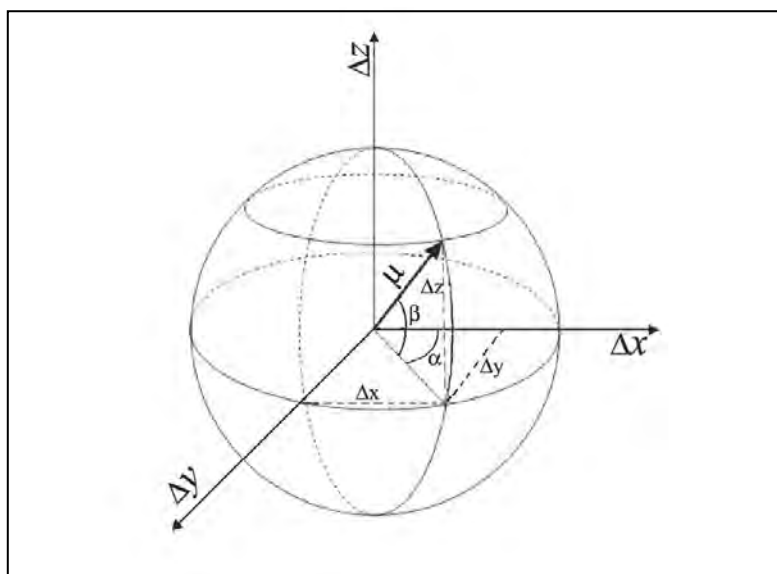


Figura 2.5 - Representação do vetor de mudança, com seus componentes (μ : magnitude, α : ângulo alfa e β : ângulo beta) em um sistema de coordenadas esféricas.
Fonte: Graça (2004)

A magnitude do vetor de mudança fornece a medida da intensidade de mudança entre as posições dos pixels de datas sucessivas e é calculada através da distância euclidiana (Equação 2.5) entre a posição de dois pontos que representam o mesmo pixel no espaço de atributos (Figura 2.1).

$$\mu = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (2.5)$$

Onde,

μ - representa a magnitude do vetor;

$(x_2 - x_1), (y_2 - y_1), (z_2 - z_1)$ - representam a diferença entre os valores dos pixels entre t_1 e t_2 .

As direções dos vetores de mudança são determinadas por ângulos que variam de acordo com o número de bandas (isto é, faixas espectrais). Os vetores de mudança podem ser positivos ou negativos, o que possibilita distinguir 2^n tipos de mudanças, ou seja, a utilização de três bandas para gerar um vetor,

possibilitaria a identificação de oito direções de vetores (MICHALEK et al., 1993).

De forma geral, as direções dos vetores são expressas pelas Equações 2.6 e 2.7.

$$\alpha = \arctg \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2.6)$$

$$\beta = \arcsen \left(\frac{(z_2 - z_1)}{\mu} \right) \quad (2.7)$$

Segundo Lambin e Strahler (1994), o espaço multidimensional pode ser segmentado em conjuntos de direções básicas do vetor, para indicar a natureza das mudanças em termos de classes temáticas, referentes à cobertura vegetal e uso da terra (GRAÇA, 2004).

2.5.3.2. Subtração de imagens

Esta técnica envolve a álgebra de imagens cujas operações aritméticas são aplicadas aos pixels em cada imagem, obtendo-se a partir dos valores resultantes a imagem de mudança. Desta maneira, a imagem diferença (ou imagem mudança) é simplesmente uma operação de subtração, geralmente, realizada em um par de imagens co-registradas de uma mesma área adquirida em datas diferentes (MATHER, 1999). As duas imagens são comparadas pixel a pixel para gerar uma terceira imagem composta da diferença numérica entre os pixels pareados das duas imagens (GRAÇA, 2004).

2.5.4. Segmentação

A segmentação é o procedimento automático realizado com a finalidade de gerar regiões homogêneas, que facilita o processo de mapeamento de áreas

de interesse da imagem, uma vez que transforma o espaço de atributos da imagem de um conjunto de pixels com informações espectrais para objetos (polígonos) onde a informação espectral do valor médio dos pixels, sua variância e outros atributos espaciais como área, perímetro e forma podem também ser utilizados.

Existem vários métodos de segmentação de uma imagem, dentre as quais, a mais utilizada é a segmentação por crescimento de regiões (NOVO, 2008), que é uma técnica de agrupamento de dados que permite a agregação de regiões uniformes adjacentes de acordo com os limiares escolhidos, similaridade (baseada na distância euclidiana entre os valores médios de cada região) e área (tamanho mínimo, em pixels, para a região ser agregada). O limiar de similaridade representa a menor diferença aceita entre o valor médio de dois pixels ou conjunto de pixels, para que sejam alocados a segmento distintos. O limiar de área representa o tamanho mínimo do segmento definido pelo analista. Esse tamanho depende do tipo de alvo, da resolução espacial do sensor, e da aplicação dos dados. Geralmente, a definição da melhor combinação de limiares é definida empiricamente.

2.5.5. Classificação supervisionada

Entende-se por técnicas de classificação, os procedimentos utilizados para produzir mapas temáticos a partir da separabilidade de todos os pixels da imagem digital em classes ou temas (LILLESAND et al., 2004).

Os métodos de classificação supervisionados se baseiam em algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais de cada pixel é feito com base em amostras de treinamento, selecionadas pelo usuário, a fim de que sejam reconhecidos nas imagens diferentes tipos de cobertura da terra (TSO e MATHER, 2001). Um requisito básico para o bom desempenho dos classificadores supervisionados é que o usuário conheça bem a imagem a ser

classificada, para que as amostras utilizadas para treinar o algoritmo de classificação sejam representativas das classes que se deseja mapear (CRÓSTA, 1992; MATHER, 1999).

A diferença entre classificadores “pixel a pixel” e por regiões está na unidade a ser classificada, no caso da primeira são pixels individuais e na segunda são regiões geradas por uma prévia segmentação da imagem, o que considera a informação contextual presente nas imagens (RICHARDS e JIA, 2006). Nesse caso, a segmentação e seus limiares (similaridade e área) são importantes componentes no delineamento e reconhecimento espectral da região e da posterior classificação (SCHOENMAKERS et al., 1991).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O Estado de Roraima é composto majoritariamente de áreas florestais, que representam mais de 70% de sua extensão. O restante do Estado é formado por savanas ou campos cerrados (parte leste e centro-nordeste) e formações pioneiras (campinas e campinaranas) em regiões localizadas (sudoeste do Estado). A região florestal apresenta características fisionômicas distintas entre si, relacionadas principalmente a índices pluviométricos variados ao longo do ano. No sul, no noroeste e no limite norte do Estado, há o predomínio de florestas mais úmidas (floresta ombrófila densa) em função de influências climáticas e de altitude. À medida que se aproximam das áreas não-florestais, as florestas apresentam-se mais abertas e menos úmidas (floresta estacional semidecidual), devido a variações adaptativas ao maior período de seca (4 a 6 meses) a que está submetida essa região durante parte do ano (BRASIL, 1975; IBGE, 2005).

A área de estudo está situada na porção sudeste do Estado de Roraima, correspondendo a quatro glebas de colonização (Colônias de São João da Baliza, São Luizão, Caroebe e Entre Rios) localizados nos municípios de São João da Baliza e Caroebe, com extensão total de 2653 km² (Figura 3.1).

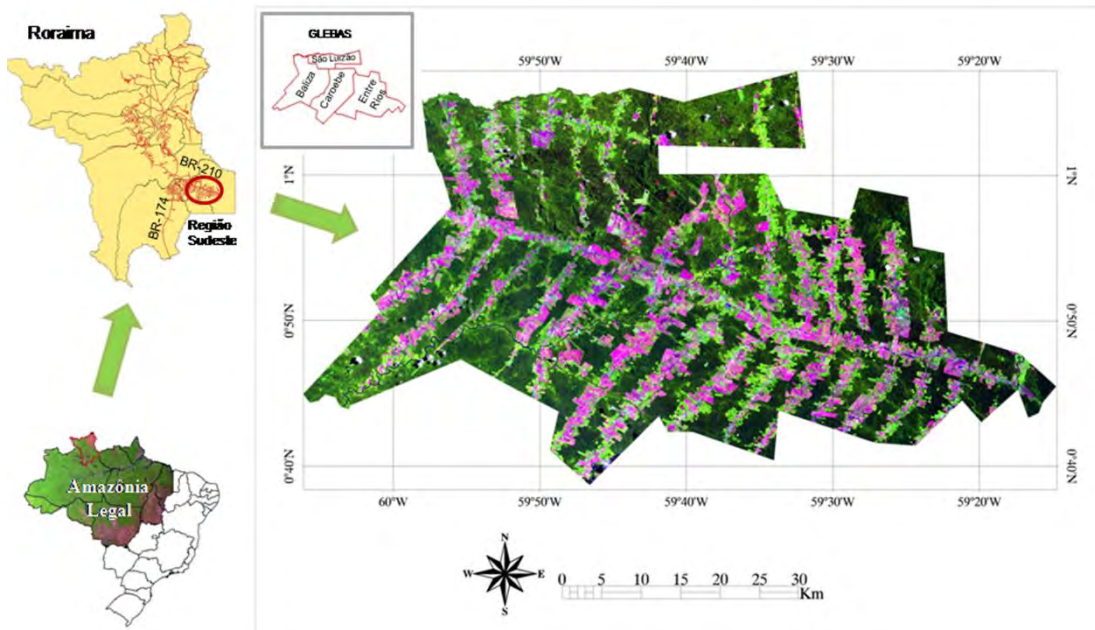


Figura 3.1 - Localização da área de estudo no sudeste do Estado de Roraima, com a informação das glebas (banco de dados ZEE/RR). Composição colorida: banda 3-azul; banda 4-verde; banda 5-vermelho, da imagem TM/Landsat, órbita-ponto 231/59, de 28/08/2010.

3.2. Descrição física da área de estudo

A região apresenta contatos entre cinco grandes grupos de solo: Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, Latossolo Amarelo distrófico, Argissolo Amarelo distrófico plíntico, Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e Neossolo lítico distrófico com Afloramentos Rochosos (IBGE, 2005).

A vegetação predominante nesta área é representada pela Floresta Ombrófila Densa Submontana. Esse tipo de floresta ocupa a área do embasamento fortemente dissecado do Complexo Guianense (Domínio Estrutural Anauá-Jatapu). O relevo da área varia de plano a ondulado, predominando as áreas suaves onduladas (IBGE, 2005).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Am e caracteriza-se por uma estação seca definida, correspondendo ao período de

dezembro a março. O índice pluviométrico médio anual varia de 1700 a 2000 mm, ocorrendo o máximo (40% das chuvas) no período de maio a julho (BARBOSA, 1997).

3.3. Histórico da colonização da área de estudo

A área de estudo está localizada ao longo da BR-210, sendo distante aproximadamente 300 km da capital Boa Vista na direção sudeste do Estado. A BR-210, conhecida como Perimetral Norte, foi construída em meados da década de 1970 com objetivo inicial de cunho geopolítico que era de estabelecer uma estrada ao longo da fronteira norte do Brasil, fazendo parte do Plano de Integração Nacional (PIN). Porém, só foram implantados os trechos de Roraima e do Amapá, não havendo continuidade nos Estados do Amazonas e Pará.

O processo de colonização na região sudeste de Roraima tem significativa importância para os estudos dos assentamentos rurais na Amazônia pela particularidade da localização dessa região, cercada de terras indígenas, demarcadas e/ou homologadas (Trombetas-Mapuera, Waimiri-Atroari e Wai-Wai) e por se caracterizar em um processo de colonização espontânea e dirigida² concomitantemente, chegando muitas vezes a se confundir devido à intervenção do Estado em ambos os processos, seja do âmbito local, como estadual e federal (abertura de vias de acesso, apoio a migrantes, etc.).

Com a construção da estrada, houve progressivo avanço da fronteira agrícola na região da área de estudo, com a distribuição de terras e organização das primeiras colônias, a princípio administrada pela prefeitura do município de

² A colonização espontânea é resultado da migração espontânea e a colonização dirigida é a colonização oficial, desenhada pelo Estado como um paliativo dos conflitos sociais no campo e para as vítimas da seca do Nordeste do Brasil (MOURÃO, 2003).

Caracará (na época englobava todo sul de Roraima), posteriormente assumida pelo Governo Federal (anos 1980), através do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), que passa atuar tanto na regularização fundiária como na criação e expansão de projetos de colonização (BARROS, 1995; MOURÃO, 2003).

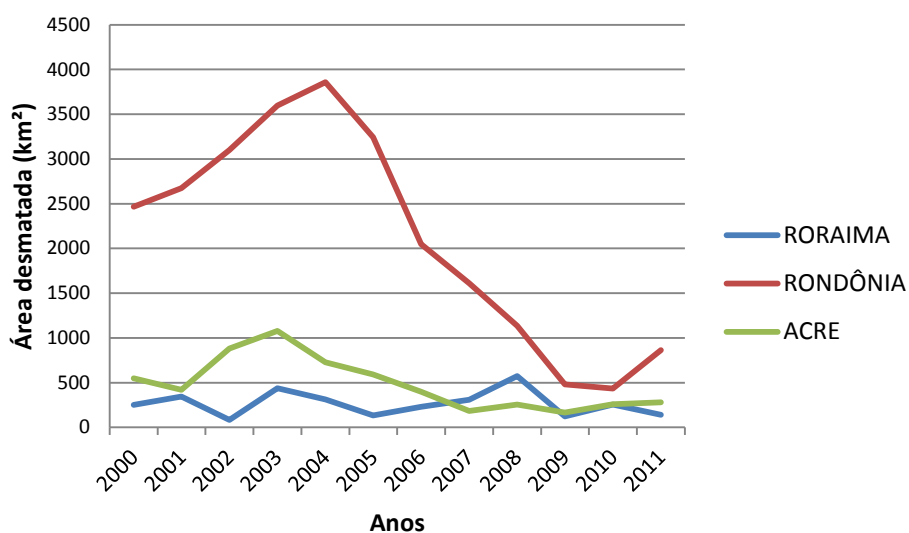
Grande parte dos colonos foi constituída por migrantes rurais pobres da região nordeste e excluídos das frentes de expansão do centro-oeste e do norte, mas também havia desempregados urbanos, funcionários públicos, comerciantes e proprietários de minifúndios consolidados na região sul e sudeste. O que se observou na região foi uma organização de estrutura diversa em relação à posse da terra, com a presença de pequenos, médios e grandes proprietários (MOURÃO, 2003). A atração para a ocupação dessa região, além dos efeitos do mercado de terras e da acumulação fundiária, foi motivada também pela relativa facilidade de escoamento da produção para o mercado de Manaus.

O extrativismo da castanha constituiu-se em uma fonte inicial de rendimentos para os colonos recém chegados, uma vez que a abertura da estrada (BR-210) tornou acessível à coleta áreas anteriormente de difícil acesso. Nos anos 1990, houve diminuição da atividade devido à prática de corte e queimada. A exploração madeireira foi outra atividade que cresceu no período do avanço da frente pioneira, em função da disponibilidade da matéria-prima dos lotes dos colonos e das propriedades maiores. No começo da colonização, o colono combinava a formação de roças e expansão do pasto com a venda da madeira para as serrarias e coleta de castanha (BARROS, 1995).

Em seu histórico de colonização, essa região no auge da atividade produtiva chegou a responder por aproximadamente 44% da área agrícola cultivada em todo o Estado, segundo dados do Censo Agropecuário de 1985 (BARROS, 1995).

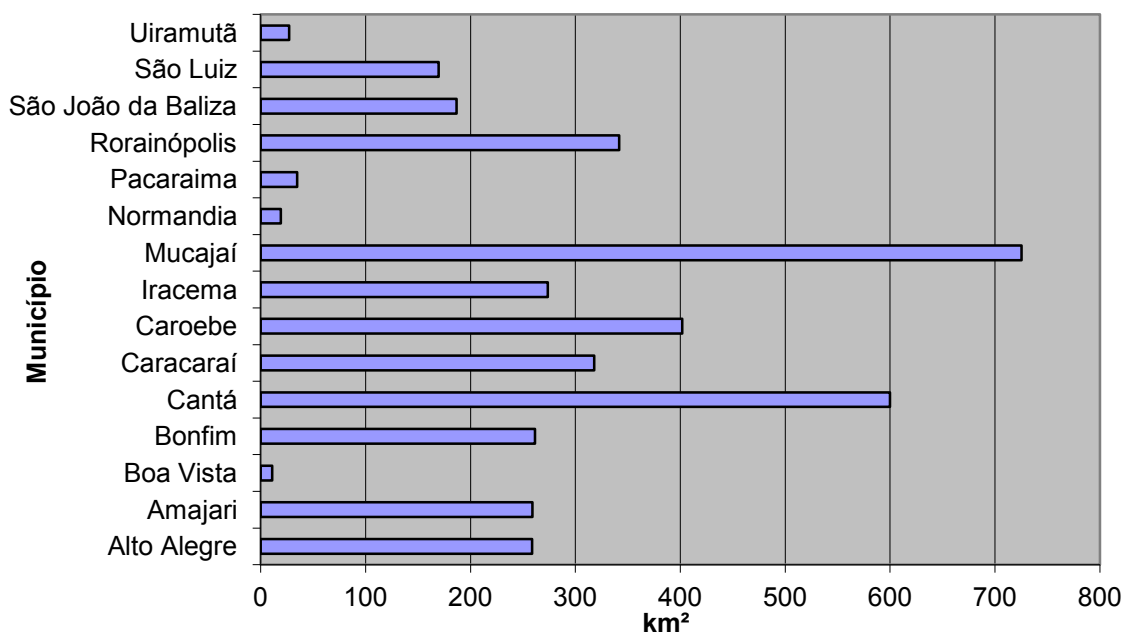
3.4. Situação atual: desflorestamento e atividades produtivas

Apesar dos números absolutos do desflorestamento em Roraima ainda serem pequenos quando comparados a outras sub-regiões da Amazônia (Figura 3.2a), a região sudeste de Roraima concentra alguns dos municípios que mais desmataram entre 2000 e 2011, como é o caso de Caroebe (Figura 3.2b), de acordo com os dados PRODES (INPE, 2013).



(a)

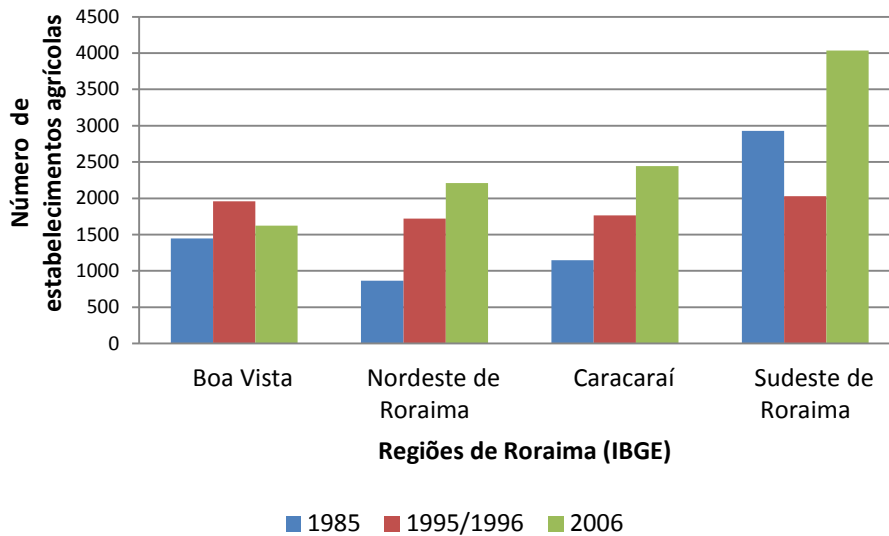
Figura 3.2 - Desmatamento observado no período de 2000-2011: (a) por estado; (b) por município. (Continua)
Fonte: INPE (2013)



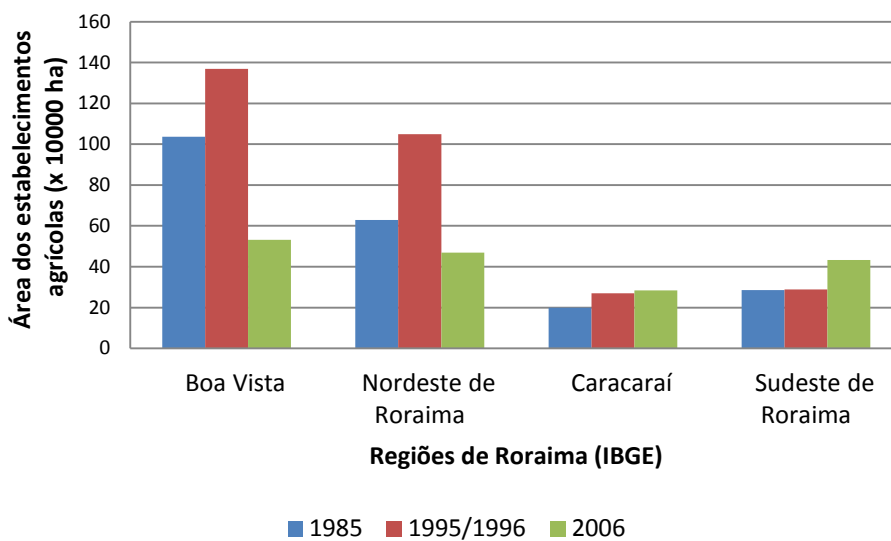
(b)

Figura 3.2 - Conclusão

Os dados dos Censos Agropecuários de 1985, 1995/1996 e 2006 revelam a característica da região sudeste quanto ao elevado número de pequenas propriedades (Figura 3.3a) e baixa área ocupada relativamente (Figura 3.3b). Do ponto de vista produtivo, atualmente a região sudeste se destaca no estado com a cultura da banana, produzida em pequenas propriedades, e com a pecuária, que se desenvolve em pequenas e médias propriedades.



(a)



(b)

Figura 3.3 - Dados sobre os estabelecimentos agrícolas no estado de Roraima, de acordo com os resultados dos Censos Agropecuários de 1985, 1995/1996 e 2006.

Fonte: Adaptado de IBGE (2012)

Quanto às principais práticas culturais da agricultura desenvolvida na região (culturas anuais e semiperenes), observa-se que as mesmas seguem calendário regional (sul do estado), em função do regime climático

característico, com a estação seca atuando de outubro a janeiro, permitindo as práticas de broca (corte raso da vegetação mais fina, do sub-bosque da floresta), derrubada (corte raso das árvores lenhosas) e queima (utilização de fogo para limpeza da área) nesse período. O plantio é realizado no começo da estação chuvosa, que na região começa em fevereiro e vai até abril. Posteriormente, ocorrem as capinas para manutenção dos plantios e a colheita começa em agosto, no caso das culturas anuais. Para a banana, a colheita ocorre de 8 a 12 meses após o plantio (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Calendário das principais práticas culturais agrícolas na região de estudo.

ATIVIDADES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
BROCA									■	■		
DERRUBADA										■	■	
QUEIMA	■										■	■
PLANTIO	■	■	■	■								
CAPINA					■	■	■					
COLHEITA								■	■	■	■	

Fonte: Adaptado de Barros (1995) e Alves et al. (2006)

3.5. Materiais e equipamentos

3.5.1. Produtos em formato digital

No presente estudo, foram utilizadas imagens digitais do sensor TM/Landsat-5, cena 231/59, dos anos de 1997 (27/10/1997), 2004 (14/10/2004) e 2010 (28/08/2010) com resolução de 30 metros e seis bandas espectrais (1, 2, 3, 4, 5 e 7), do acervo de cenas do *United States Geological Survey* (USGS), disponível de modo ortorretificado na plataforma GLOVIS (www.glovis.usgs.gov). A base cartográfica foi composta por dados oficiais da malha municipal do IBGE e dados complementares do Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Roraima (CPRM, 2003), no que se refere às glebas de colonização (plano de informação: projetos de assentamento).

3.5.2. Aplicativos computacionais

No processamento das imagens, foram utilizados os softwares ENVI/IDL e SPRING (Sistemas de Processamento de Informações Georreferenciadas).

3.6. Metodologia

O estudo foi dividido em três etapas distintas, de acordo com o fluxograma contido na Figura 3.4:

- Fase I: levantamento dos dados, pré-processamento e processamento das imagens multitemporais;
- Fase II: trabalho de campo;
- Fase III: avaliação das técnicas de detecção de mudanças, caracterização e análise das conversões de uso e cobertura da terra.

A Fase I foi realizada primeiramente nas imagens de 2004 e 2010, visando à avaliação das técnicas de detecção de mudanças e a determinação da melhor classificação supervisionada (Fase III). Uma vez determinados os melhores produtos que caracterizam as conversões de uso e cobertura da terra presentes na área de estudo, a imagem 1997 e conseqüentemente o período 1997-2004 foram incorporados, com os procedimentos de pré-processamento e processamento digital de imagens.

3.6.1. Pré-processamento

Inicialmente foram realizadas as etapas de calibração, correção atmosférica e normalização radiométrica, com o intuito de minimizar características que não pertenciam aos alvos das cenas imageadas (ruídos do sensor, atmosfera, nuvens, etc.) e tornar as imagens multitemporais radiometricamente comparáveis entre si (PONZONI et al., 2007).

Na calibração das imagens, foi realizada a correção radiométrica. Nesta operação, os valores dos pixels foram convertidos para reflectância exoatmosférica, levando em consideração os parâmetros de calibração para a data de aquisição, como o ângulo zenital solar e a irradiância solar normalizada.

Para a atenuação atmosférica, foi utilizado o método da transferência radiativa, que leva em conta os processos de absorção e espalhamento atmosféricos (MATTHEW et al., 2003). Utilizou-se o algoritmo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), implementado no ENVI, para a imagem de 2004, escolhida para ser a referência da série temporal, em função da menor cobertura de nuvens.

As imagens de 1997 e 2010 foram normalizadas radiometricamente em relação à referência, segundo um método proposto por Canty et al. (2004), o qual utiliza uma transformação multivariada de detecção de alterações (MAD), que 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 imagens. O procedimento é rápido e simples em comparação às técnicas manuais (SCHROEDER et al., 2006). Utilizou-se o algoritmo iMAD, desenvolvido e aperfeiçoado para utilização com o ENVI (CANTY e NIELSEN, 2008; NIELSEN, 2007).

3.6.2. Processamento digital para detecção de mudanças

3.6.2.1. Modelo linear de mistura espectral

As imagens corrigidas e calibradas foram decompostas em seus componentes puros usando um modelo linear de mistura espectral (MLME), que considera que a reflectância de cada pixel da imagem é uma combinação linear da reflectância de cada componente puro presente dentro do pixel

(SHIMABUKURO e SMITH, 1991). Foram considerados três componentes na aplicação do modelo: solo, sombra e vegetação. Os pixels puros candidatos foram obtidos na imagem referência (2004) utilizando o algoritmo de Índice de Pureza de Pixel – PPI (BOARDMAN et al., 1995), implementado no ENVI. Esses pixels foram inspecionados quanto à curva espectral e comparados aos espectros de amostras de solo exposto, água e vegetação verde, identificados na imagem 2004, gerando o MLME a ser aplicado a toda série temporal (1997, 2004 e 2010). A geração das imagens-fração foi realizada utilizando as seis bandas ópticas das imagens da série, formando um sistema de equações lineares, resolvido pelo método dos Mínimos Quadrados, com restrição (0-1). O valor do erro médio quadrático (RMS - Root Mean Squared “error”) e a sua distribuição foram utilizados para verificar o ajuste do modelo.

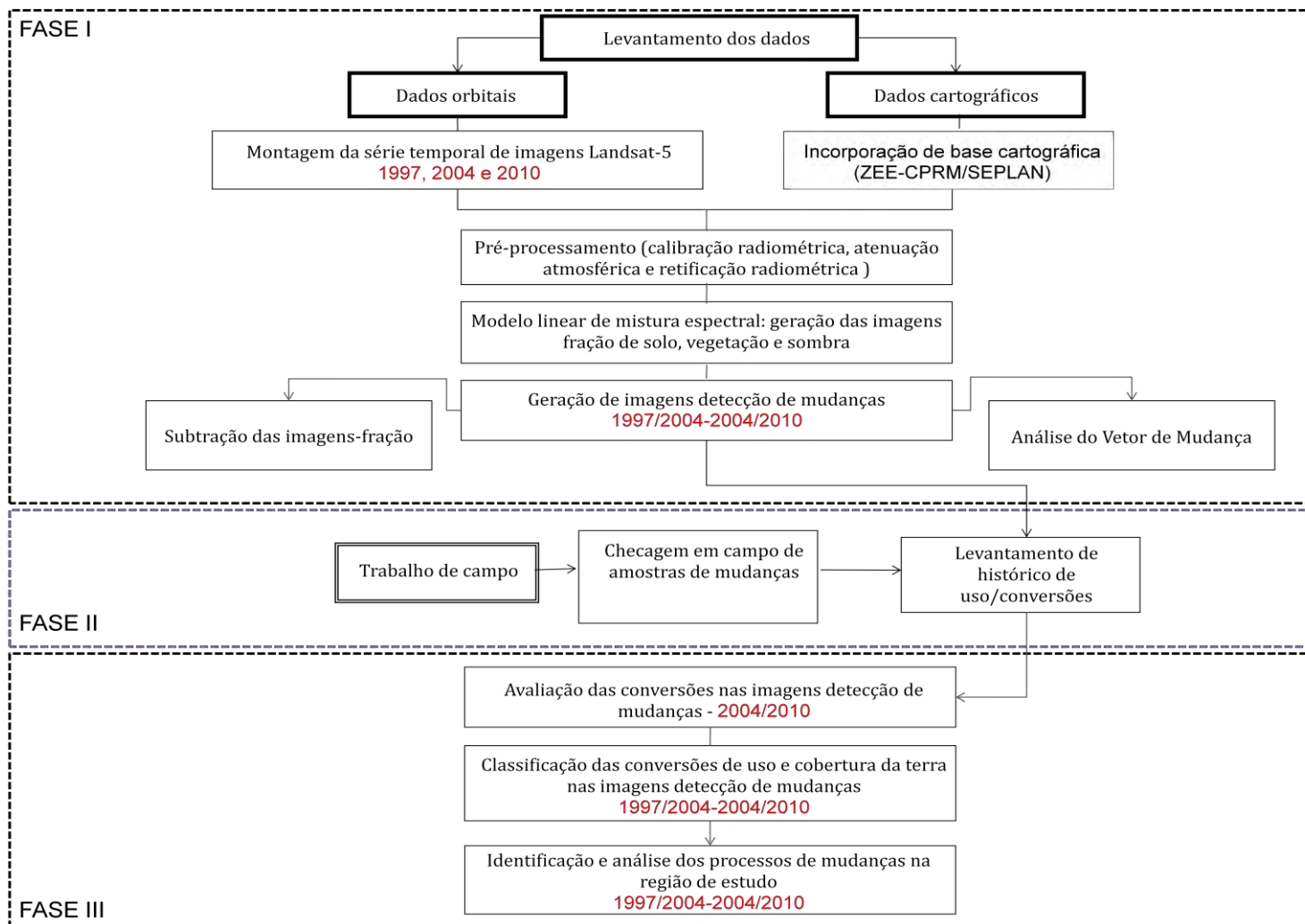


Figura 3.4 - Fluxograma da metodologia do trabalho.

3.6.2.2. Análise do vetor de mudança

A análise do vetor de mudança (AVM) foi aplicada às imagens-fração com o intuito de caracterizar as mudanças ocorridas entre as imagens (SILVA, 2003; GRAÇA, 2004; CASTILLO, 2011). Um vetor de mudança é definido pela diferença na posição espectral de um mesmo pixel em tempos distintos de sua trajetória, descrito em termos de magnitude (Equação 3.1) e de ângulos (Equações 3.2 e 3.3) que indicam, respectivamente, a intensidade e a natureza (ou direção) de mudança na superfície da terra (COLWELL e WEBER, 1981; LAMBIN e STRAHLER, 1994; JOHNSON e KASISCHKE, 1998).

$$\mu = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (3.1)$$

$$\alpha = \arctg \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (3.2)$$

$$\beta = \arcsen \left(\frac{(z_2 - z_1)}{\mu} \right) \quad (3.3)$$

Onde,

μ - representa a magnitude do vetor;

α - é o ângulo alfa do vetor de mudança;

β - é o ângulo beta do vetor de mudança;

$(x_2 - x_1), (y_2 - y_1), (z_2 - z_1)$ - representam a diferença entre os valores dos pixels entre t_1 e t_2 para cada imagem-fração, sendo x correspondente ao componente solo, y ao componente vegetação e z ao componente sombra.

A formulação do ângulo alfa, conforme consta na Equação 3.2, retorna valores no intervalo de $-\pi/2$ a $+\pi/2$ radianos (correspondente ao 1º e 4º quadrante da esfera), o que limita a análise da imagem alfa, que tem variação angular correspondente a toda a esfera ($-\pi$ a $+\pi$ radianos). Para essa correção, são realizados ajustes atendendo às condições $(x_2 - x_1) < 0$ e $(y_2 - y_1) \geq 0$ (Equação 3.4) e $(x_2 - x_1) < 0$ e $(y_2 - y_1) < 0$ (Equação 3.5) e representados esquematicamente na Figura 3.5.

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) + \pi \quad (3.4)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) - \pi \quad (3.5)$$

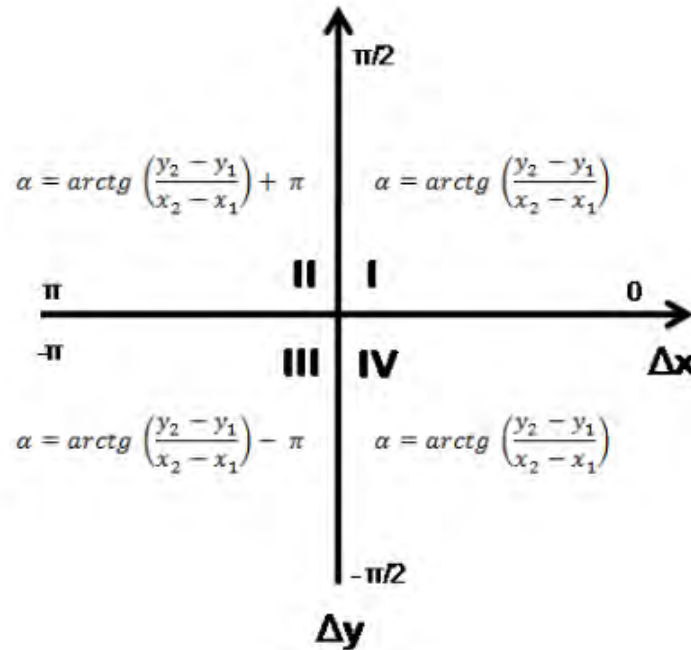


Figura 3.5 - Representação esquemática do cálculo do ângulo alfa de acordo com o quadrante.

Fonte: Adaptado de GRAÇA (2004)

3.6.2.3. Subtração de imagens

A subtração das imagens-fração também foi aplicada como técnica de detecção de mudança visando avaliar sua aplicabilidade na análise das conversões. A álgebra de imagens envolve operações aritméticas aplicadas aos pixels em cada imagem co-registrada, cujo resultado é a imagem diferença (no caso da subtração). Essa técnica é a mais amplamente utilizada entre os algoritmos de detecção de mudanças, podendo ser aplicada tanto nas bandas originais como nas bandas transformadas. Ela envolve a subtração da imagem de uma data pela imagem de uma segunda data, que deve estar precisamente registrada com a primeira, cujo resultado será uma imagem onde os valores

positivos e negativos representam as áreas de mudança e os valores mais próximos de zero representam áreas de não-mudança (COPPIN et al., 2004). LU et al. (2005) obtiveram bons resultados na detecção binária de mudança utilizando técnicas de subtração de imagens (originais e transformadas). ROGAN et al. (2002) e HAERTEL et al. (2004) utilizaram satisfatoriamente a subtração de imagens-fração como técnica de análise multitemporal de mudanças da cobertura vegetal.

3.6.3. Levantamento de campo

O trabalho de campo contou com duas etapas: a primeira, exploratória (janeiro de 2010), teve o objetivo de fazer uma caracterização das classes de uso e cobertura da terra; e a segunda, mais detalhada (novembro de 2010), procurou juntar à identificação de classes novas informações provenientes de questionários aplicados junto aos atores locais, visando ao resgate histórico das características das mudanças ocorridas na região (Apêndice A). Assim, foram identificadas as principais classes e conversões na área de estudo, bem como as áreas de não-mudança, onde não houve alteração de classe entre uma data e outra.

As classes de uso e cobertura da terra e as conversões identificadas foram caracterizadas quanto à sua dinâmica no processo de ocupação e uso da terra na região, de acordo com as entrevistas realizadas em campo e informações de trabalhos anteriores na região (BARROS, 1995; MOURÃO, 2003).

Tendo em vista a disponibilidade de acesso e a importância do domínio da cultura da banana na classe agricultura nas imagens estudadas, foram incorporados adicionalmente dados georreferenciados da cultura da banana, levantados junto a técnicos da Agência de Defesa Vegetal e Animal de Roraima (ADERR), com informações cadastrais das áreas plantadas (tamanho das áreas, idade dos bananais etc.).

3.6.4. Extração e análise das conversões nas imagens detecção de mudanças

O período 2004-2010 foi utilizado para avaliar o potencial dos produtos gerados pelas técnicas de detecção de mudanças utilizadas, para cada imagem de mudança (magnitude, alfa, beta e as imagens-diferença entre imagens-fração).

Para determinação do uso e cobertura anterior (2004), foram utilizados os dados levantados em campo (em pontos amostrais, através de entrevistas e no acesso aos dados cadastrais da cultura da banana - ADERR), além da interpretação visual das informações na imagem de 2004.

Dessa forma, foram extraídas as médias das amostras de cada uma das conversões identificadas, tendo como base as entrevistas realizadas, os pontos amostrais verificados em campo e as regiões homogêneas onde estavam inseridas.

Para determinação das regiões homogêneas e seleção das amostras, foi utilizada uma segmentação do tipo crescimento de regiões com limiares 15 e 30 (similaridade e área), realizada sobre as seis bandas originais da imagem de 2010.

As médias das amostras foram analisadas estatisticamente no R-Project (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011) de forma exploratória visando auxiliar as classificações posteriores realizadas para separar as principais conversões ocorridas na região no período 2004-2010. O comportamento de cada conversão foi analisado univariadamente para cada produto (AVM e subtração das imagens-fração).

3.6.5. Avaliação das conversões nas imagens detecção de mudanças: desempenho dos classificadores

Assim como a análise anterior (em 3.6.4), essa avaliação foi realizada utilizando o período 2004-2010, tendo em vista a maior proximidade com o levantamento de campo. O resultado do melhor classificador foi utilizado no período anterior (1997-2004), servindo de suporte para às análises subseqüentes.

Com enfoque de classificar as mudanças (conversões) e não classes de uso e cobertura da terra (abordagem mais convencional), foram utilizados dois diferentes algoritmos de classificação de imagens, do tipo supervisionado, visando avaliar o que melhor discriminasse as classes de interesse.

O primeiro denominado *Bhattacharyya*, baseado na classificação de regiões que permite associar cada região com uma das classes, utilizando-se o critério de distância mínima. Cada região e cada classe são descritas estatisticamente através dos vetores de médias e das matrizes de covariância calculados no espaço de atributos, onde é possível calcular a distância entre duas massas de dados (a região e a classe) através da distância de *Bhattacharyya* (MATHER, 1999; RICHARDS e JIA, 2006).

O segundo, *Support Vector Machine* (SVM), algoritmo baseado em treinamento de máquina, realiza a classificação pixel a pixel. O SVM constrói um hiperplano como superfície de decisão, maximizando a margem de separação entre as classes (SOUSA et al., 2010).

As diferentes áreas de não-mudança foram agrupadas em uma só classe. A validação do desempenho das classificações foi realizada através do grau de exatidão total e da exatidão por classes, decorrendo no índice de concordância *Kappa* (LANDIS e KOCH, 1977). A partir dos valores de *Kappa* encontrados para cada classificação, foi realizado um teste estatístico Z para verificar, dois a dois, se havia diferença significativa entre os resultados.

3.6.6. Identificação e análise dos processos

Tendo em vista o produto com o melhor desempenho classificatório, foram realizadas análises das conversões nos períodos 2004-2010 e 1997-2004, em função do projeto de colonização e da distância da rede viária. A informação da rede viária foi atualizada a partir da interpretação visual da imagem-solo mais recente (2010). Foram criados mapas de distância, levando em conta a distância para todas as estradas - BR-210 e vicinais (Figura 3.6a) e a distância para a estrada principal - BR-210 (Figura 3.6b), com intervalos que variaram de 500 e 2500 metros e distância máxima de 2500 e 30000 metros, respectivamente. As informações das conversões foram analisadas nas diferentes faixas de distância, assim como nos diferentes projetos de colonização.

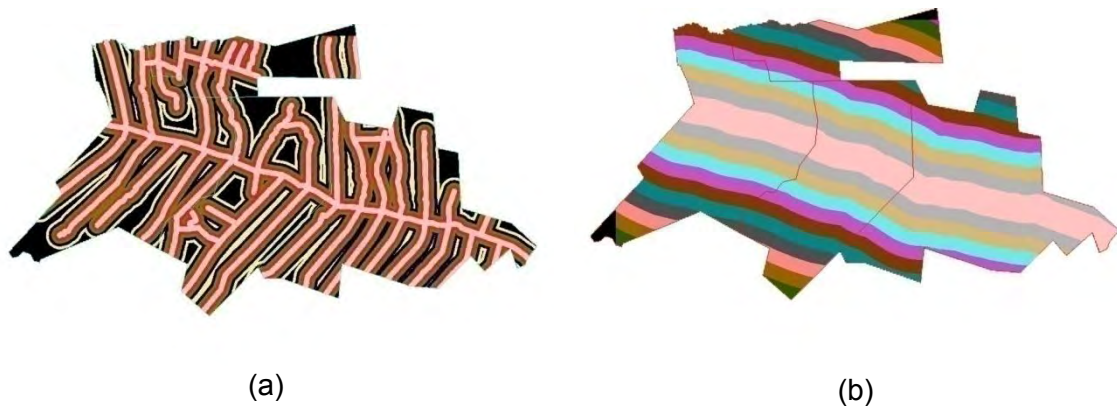


Figura 3.6 – Mapas de distâncias, relacionadas a: (a) todas as estradas; (b) BR-210.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão divididos de acordo com os principais objetivos do trabalho, que partem da caracterização das conversões de uso e cobertura da terra (4.1), visando ajustar uma metodologia compatível à utilização das técnicas de detecção de mudanças (4.2, 4.3 e 4.4), para então avaliar a dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra (4.5).

4.1. Caracterização das conversões de uso e cobertura da terra

Foram identificadas as principais classes e conversões de uso e cobertura da terra, assim como as áreas de não-mudança predominantes na área de estudo (Tabela 4.1 e Figura 4.1), através dos trabalhos de campo realizados (observação e checagem dos pontos, entrevistas) e da análise das imagens TM/Landsat. A conversão PA (pasto-agricultura) foi identificada na região, porém com incipiente expressão no período estudado. Em função disso, ela foi desconsiderada nas análises subsequentes. Em função do período observado relativo às mudanças de uso da terra (6-7 anos) e do trabalho de campo realizado, a classe capoeira foi caracterizada quando o período de regeneração natural, sem utilização ou manejo por parte do agricultor, ultrapassava três anos.

Tabela 4.1 - Classes de uso e cobertura da terra, conversões e áreas de não-mudança encontradas na área de estudo.

CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA	CARACTERÍSTICA DAS CLASSES	CONVERSÕES/ÁREAS DE NÃO-MUDANÇA IDENTIFICADAS
F: Floresta	Área com vegetação primária florestal não alterada	FC: floresta-capoeira FP: floresta-pasto
C: Capoeira	Área com vegetação primária florestal alterada em regeneração natural por mais de três anos	FA: floresta-agricultura CP: capoeira-pasto
A: Agricultura	Área coberta com cultivos agrícolas	CA: capoeira-agricultura PC: pasto-capoeira
P: Pasto	Área coberta com gramínea	PA: pasto-agricultura AP: agricultura-pasto
		AC: agricultura-capoeira FF: floresta-floresta CC: capoeira-capoeira AA: agricultura-agricultura PP: pasto-pasto



(a)



(b)

Figura 4.1 - Aspectos das classes de uso e cobertura da terra na região de estudo: (a) classe floresta; (b) classe capoeira; (c) classe agricultura; (d) classe pasto. (Continua)



(c)



(d)

Figura 4.1 - Conclusão

Através da análise dos questionários, levantamento dos dados sobre as atividades agropecuárias da região (ADERR) e observações em campo, foi possível caracterizar as principais conversões entre classes predominantes na área de estudo (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Caracterização das conversões identificadas.

CONVERSÕES IDENTIFICADAS	CARACTERÍSTICAS
FC: floresta-capoeira	Conversão com perda média de biomassa vegetal aérea, presente tanto no sistema produtivo agrícola como na atividade pecuária.
FP: floresta-pasto	Conversão com alta perda de biomassa vegetal aérea presente na atividade pecuária, vinculada a aberturas médias a grandes em áreas florestais (>10 ha anuais).
FA: floresta-agricultura	Conversão com perda média de biomassa vegetal aérea presente na atividade agrícola, vinculada a pequenas aberturas (3-6 ha anuais).
CP: capoeira-pasto	Conversão com baixa perda de biomassa vegetal aérea presente na atividade pecuária, podendo estar vinculada a agricultores familiares na diversificação da propriedade (pequenas áreas) ou a pecuaristas no manejo das pastagens (áreas médias a grandes).
CA: capoeira-agricultura	Conversão com baixa perda de biomassa vegetal aérea presente na atividade agrícola dos agricultores familiares na intensificação das atividades na propriedade, relacionada ao fim do pousio agrícola.
PC: pasto-capoeira	Conversão com baixo ganho de biomassa vegetal aérea presente na atividade pecuária, relacionada à diminuição da atividade, problemas de manejo de pastagens ou abandono da propriedade.
PA: pasto-agricultura	Conversão com baixo a médio ganho de biomassa vegetal aérea presente na atividade agropecuária, com necessidade de alto aporte de insumos e tecnologia.
AP: agricultura-pasto	Conversão com baixa perda de biomassa vegetal aérea presente na atividade agropecuária, com pouca necessidade de insumos e mão-de-obra, vinculada a agricultores familiares no manejo da propriedade.
AC: agricultura-capoeira	Conversão com baixo ganho de biomassa vegetal aérea presente na atividade agrícola, relacionada ao final do ciclo da cultura e início do período de pousio.

4.2. Análise exploratória das conversões

O comportamento de cada conversão nas imagens geradas pelas técnicas de detecção de mudanças (AVM e subtração de imagens) pode também ser observado através da análise exploratória dos gráficos do tipo *boxplot*, com as representações dos parâmetros descritivos do primeiro e terceiro quartil, além da mediana (Figuras 4.2 e 4.3). Cada imagem de mudança, de maneira individualizada, mostrou-se potencial em separar classes de conversão. Os pares de conversões FC (floresta-capoeira) e FA (floresta-agricultura); CP (capoeira-pasto) e AP (agricultura-pasto); e CA (capoeira-agricultura) e AC (agricultura-capoeira) mostram-se de mais difícil separabilidade entre si em todas as imagens analisadas. Os resultados detalhados do comportamento das conversões em cada imagem de mudança são apresentados em 4.3.4 e 4.3.5.

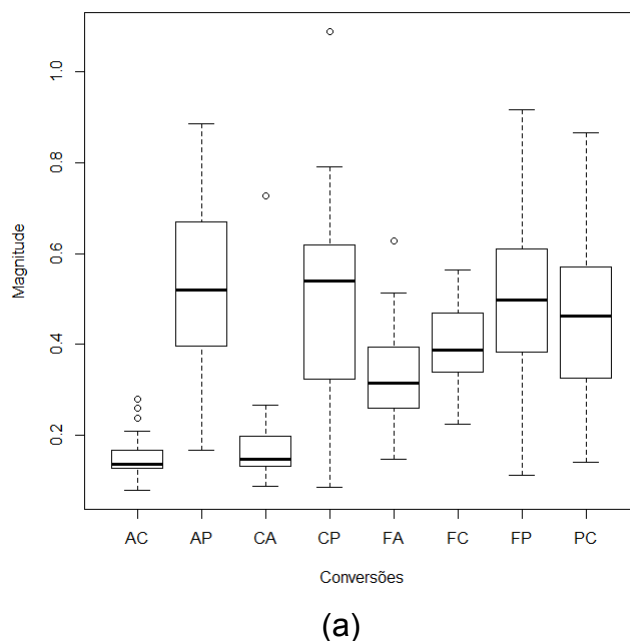
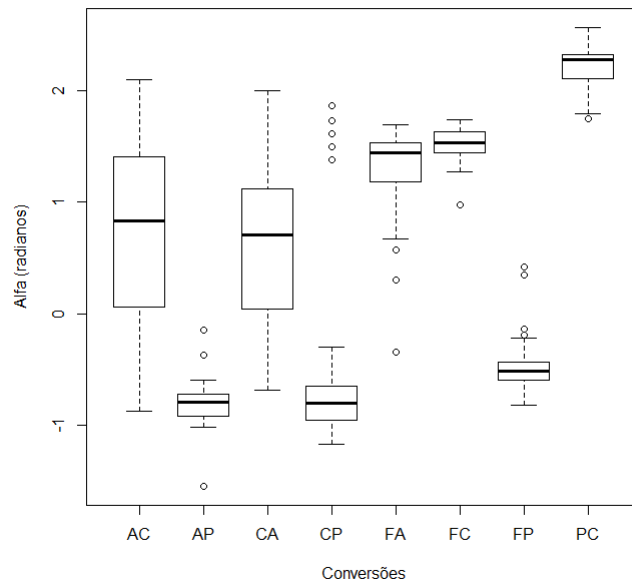
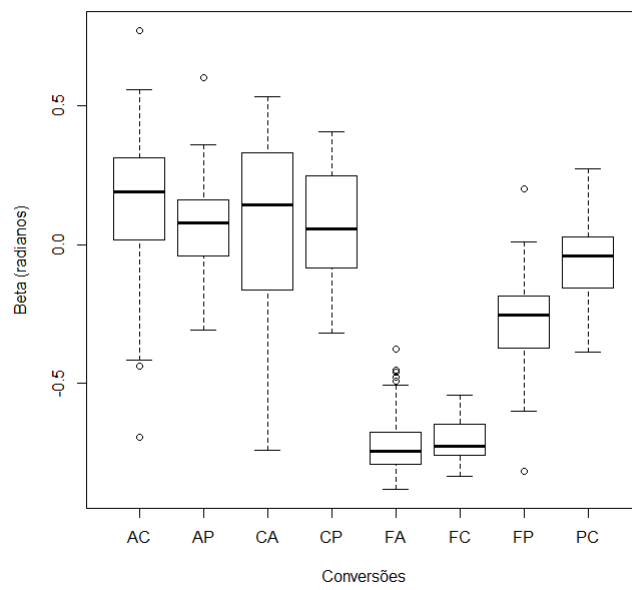


Figura 4.2 - *Boxplots* dos valores médios das amostras nas imagens de mudança provenientes da análise do vetor de mudança: (a) magnitude, (b) alfa, (c) beta. Conversões (eixo horizontal) = AC: agricultura-capoeira; AP: agricultura-pasto; CA: capoeira-agricultura; CP: capoeira-pasto; FA: floresta-agricultura; FC: floresta-capoeira; FP: floresta-pasto; PC: pasto-capoeira. (Continua)

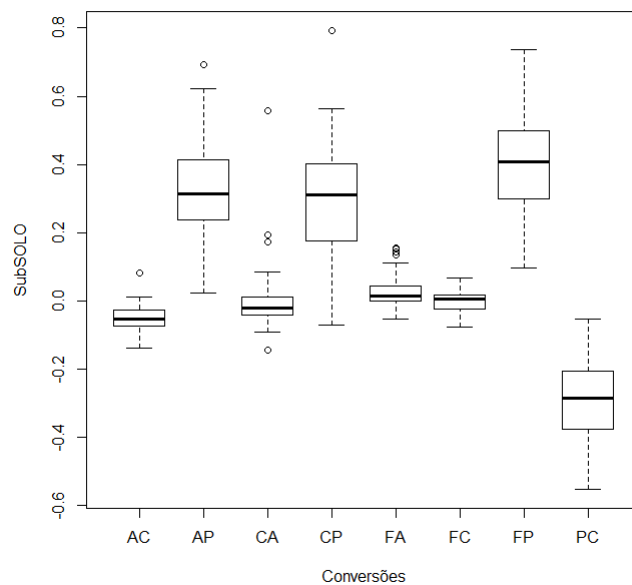


(b)

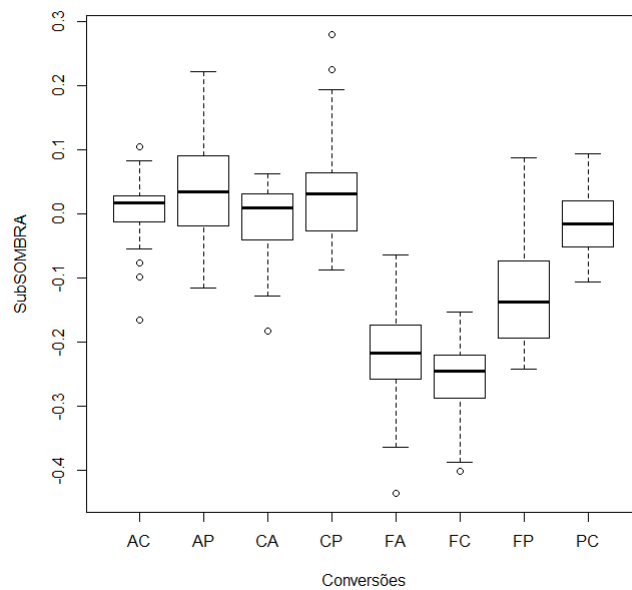


(c)

Figura 4.2 - Conclusão

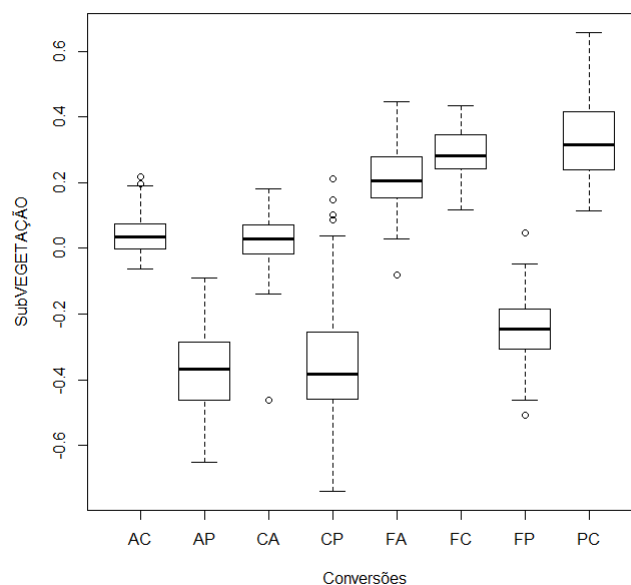


(a)



(b)

Figura 4.3 - *Boxplots* dos valores médios das amostras nas imagens de mudança provenientes da subtração das imagens-fração: (a) solo, (b) sombra e (c) vegetação. Conversões (eixo horizontal) = AC: agricultura-capoeira; AP: agricultura-pasto; CA: capoeira-agricultura; CP: capoeira-pasto; FA: floresta-agricultura; FC: floresta-capoeira; FP: floresta-pasto; PC: pasto-capoeira. (Continua)



(C)

Figura 4.3 - Conclusão

4.3. Pré-processamento e processamento digital de imagens

Os resultados da etapa de pré-processamento visando à atenuação atmosférica e ao devido ajuste radiométrico entre as imagens (2004 e 2010) foram considerados satisfatórios e estão detalhados abaixo.

4.3.1. Correção atmosférica

A correção atmosférica utilizando o algoritmo FLAASH, baseado no método de transferência radiativa, foi realizada para a imagem TM/Landsat de 2004 e apresentou resultado satisfatório para todas as bandas, uma vez que incorpora tanto os processos de espalhamento como os de absorção.

Observando as curvas espectrais características dos principais alvos da cena (vegetação verde, solo exposto e água), foi possível notar que a correção reduziu tanto o efeito do espalhamento atmosférico (mais evidente nas bandas

do visível), como foi capaz de atenuar os efeitos multiplicativos da absorção de gases na faixa do infravermelho próximo e médio (Figura 4.4).

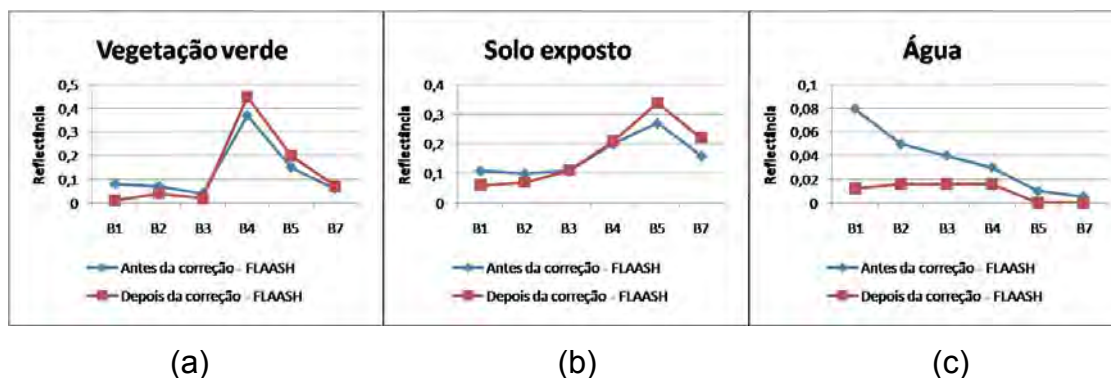


Figura 4.4 – Curvas espectrais dos alvos: (a) vegetação; (b) solo; (c) água, em reflectância aparente (antes da correção) e reflectância de superfície (depois da correção), extraídos da TM Landsat de 2004.

4.3.2. Retificação radiométrica

A normalização radiométrica foi obtida pela aplicação do algoritmo iMAD, implementado no ENVI. O procedimento a princípio gerou uma imagem de detecção de mudanças (MAD) e selecionou automaticamente um conjunto de pixels de não-mudança entre as imagens, que foram utilizados para estabelecer a função de normalização entre a referência e a imagem a ser ajustada.

A avaliação do desempenho da retificação radiométrica pelo método utilizado foi realizada através da observação do relatório gerado ao final do procedimento (Tabela 4.3). Os valores *p-value* maiores que 0,1, obtidos após aplicação do algoritmo iMAD, indicaram que as médias e as variâncias dos valores dos pixels invariantes da imagem referência (2004) e da imagem normalizada (2010) não apresentam diferenças significativas (CANTY et al., 2004).

Tabela 4.3 - Relatório gerado pelo algoritmo iMAD, implementado no ENVI

Relatório:	2269 pixels treinamento				1135 pixels teste		
Banda	intercepto	sigma	slope	sigma	r	RMSE	rho
TM1	-855,58	7,51	1,42	97,51	0,95	0,00	0,93
TM2	-531,72	4,31	3,38	68,90	0,98	0,00	0,91
TM3	-287,10	1,98	7,18	48,72	0,99	0,00	0,90
TM4	-242,66	10,91	0,46	45,30	0,99	0,00	0,98
TM5	-129,23	4,50	7,78	38,79	0,99	0,00	0,99
TM7	-30,77	1,83	2,79	43,50	0,99	0,00	0,97
Médias:							
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	
imagem-alvo	0,08	0,06	0,04	0,24	0,12	0,04	
referência	182,79	387,52	255,55	3172,74	1459,89	555,68	
normalizada	183,09	387,65	255,67	3172,22	1460,35	556,16	
t-stat	-1,08	-0,49	-0,70	0,41	-0,81	-1,58	
p-value*	0,28	0,63	0,49	0,68	0,42	0,11	
Variâncias:							
imagem-alvo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
referência	767,93	1549,96	824,14	86686,06	20318,89	4481,84	
normalizada	841,82	1613,69	897,16	89862,95	21094,35	4774,09	
F-stat	1,10	1,04	1,09	1,04	1,04	1,07	
p-value*	0,12	0,50	0,15	0,54	0,53	0,29	

*1% de significância

4.3.3. Modelo linear de mistura espectral

Os componentes puros selecionados para a geração das imagens fração sombra, solo e vegetação, derivadas do MLME, foram obtidos na imagem ajustada de 2004 e utilizados também na obtenção das imagens fração da imagem 2010. As curvas dos componentes puros são apresentadas na Figura 4.5.

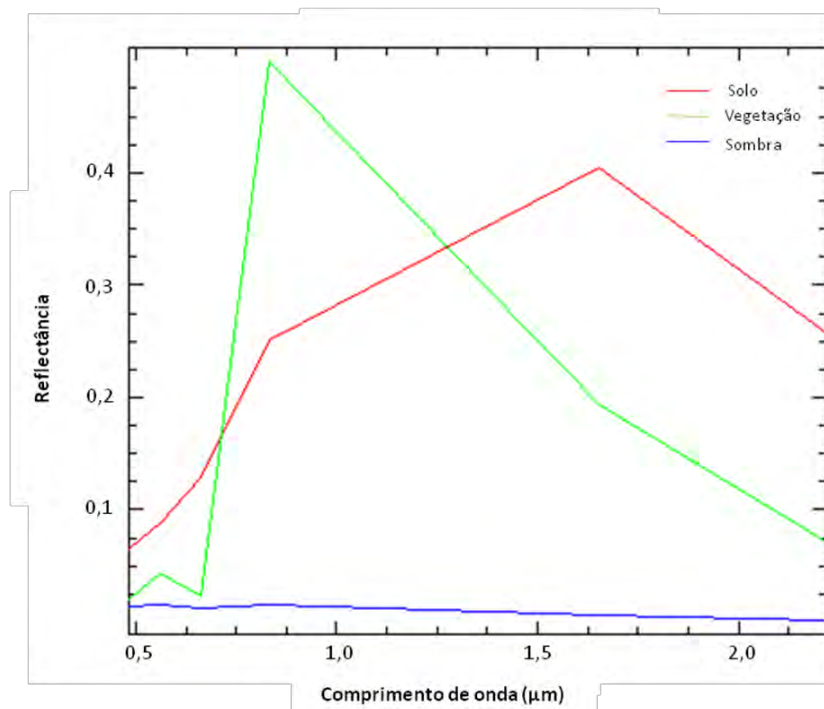
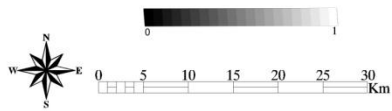
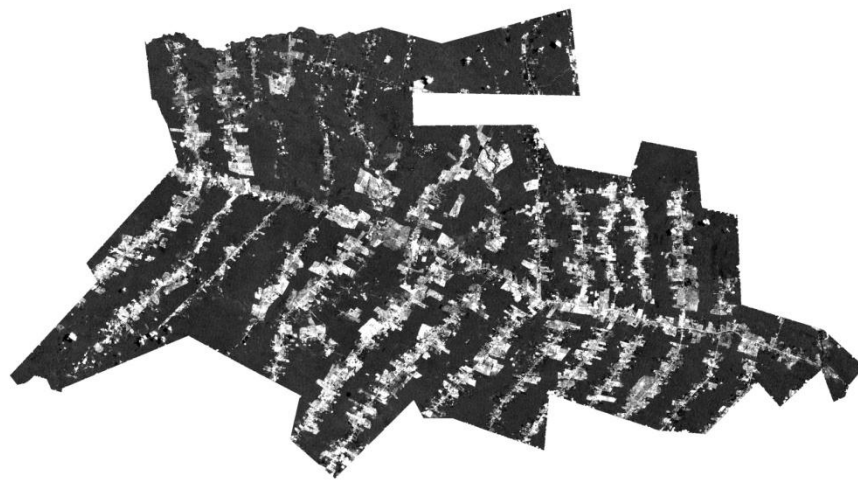
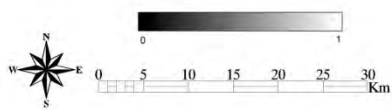
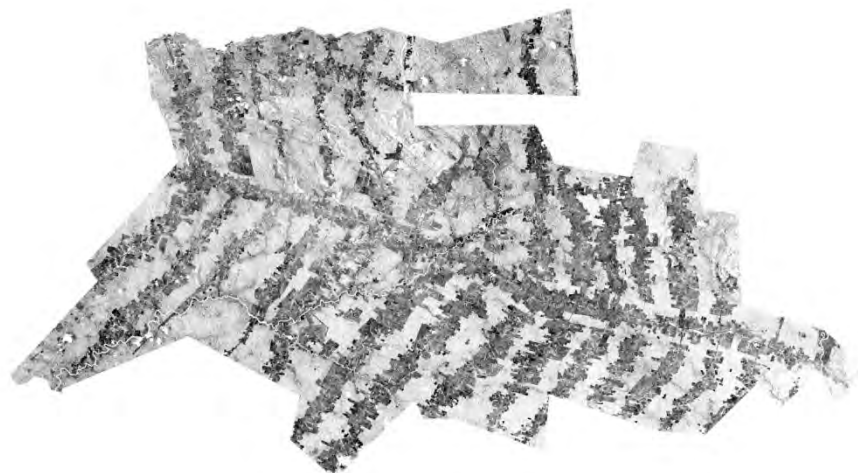


Figura 4.5 - Curvas de reflectância de superfície para os componentes puros do MLME.

Os valores dos erros médios quadráticos do modelo para as imagens de 2004 e de 2010 foram 1,6 e 1,9 respectivamente, correspondendo a menos de dois níveis de cinza das imagens, o que equivale ao ruído do sensor (SMITH et al., 1990). Observou-se também que os componentes puros selecionados foram capazes de modelar mais de 99% dos pixels dentro da amplitude de 0 a 1 para ambas as datas, mostrando-se eficiente na capacidade de atribuir significado físico aos alvos. A Figura 4.6 ilustra os resultados obtidos da aplicação do MLME para a data de 2010.



(a)



(b)

Figura 4.6 - Imagens-fração da área de estudo (2010): (a) imagem solo; (b) imagem sombra; (c) imagem vegetação. (Continua)

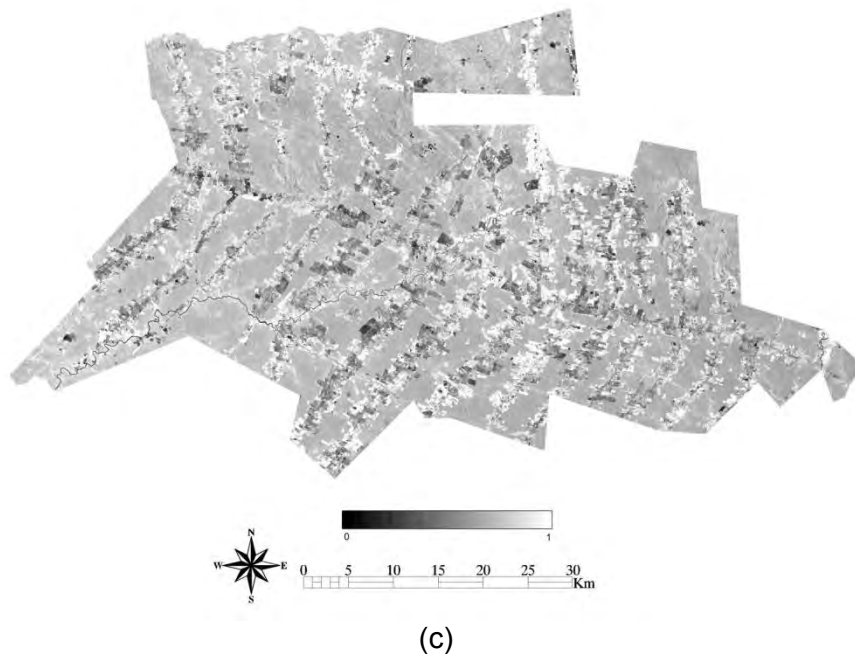


Figura 4.6 - Conclusão

4.3.4. Análise do vetor de mudança

As imagens resultantes da AVM aplicada às imagens-fração do MLME forneceram informações sobre a intensidade e a direção das mudanças de uso e cobertura da terra no período analisado.

Os valores das conversões na imagem magnitude variaram de 0,08 a 1,09, indicando a intensidade das mudanças ocorridas. Os valores próximos a zero indicaram mudanças de baixa intensidade entre os alvos da superfície terrestre. No outro extremo, valores próximos de 1,0 representaram mudanças intensas ocorridas na cobertura da terra entre as datas analisadas. Os resultados assemelham-se a Graça (2004), que encontrou valores de magnitude próximos a 1,0 em pátios de estocagem de madeira, indicando forte mudança, e valores próximos a zero nas áreas de floresta primária (não mudança).

Os maiores valores de magnitude estiveram presentes nas conversões FP, CP, PC e AP (Figura 4.7). Esse comportamento se justifica pela característica das mudanças que derivam na classe pasto e também na conversão pasto-capoeira, no âmbito das imagens-fração. Há diferença mais acentuada principalmente nas frações solo (para FP, CP e AP) e na fração vegetação (para PC). Essa diferença é da ordem de 0,3, em média, nas conversões CP e AP (na subtração das imagens-solo) e PC (na subtração das imagens-vegetação) e 0,4 na conversão FP (na subtração das imagens-solo).












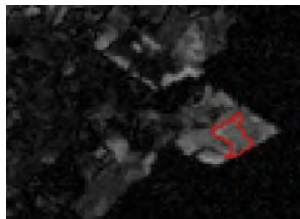
Conversão	Imagem 2004	Imagem 2010	Magnitude
FP			
CP			
PC			
AP			

Figura 4.7 - Exemplos das conversões nas imagens 2004 e 2010 (composição colorida 3B4G5R) e na imagem magnitude. (Continua)



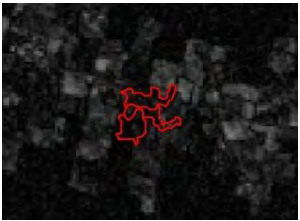



Conversão	Imagem 2004	Imagem 2010	Magnitude
CA			
AC			

Figura 4.7 - Conclusão

No caso da conversão floresta-pasto, há também diferença na fração sombra que, apesar de menor (média de 0,15), eleva ainda mais o valor da magnitude dessa conversão. Essa baixa diferença entre as frações sombra pode ter relação com o estado da classe pasto ao final da estação chuvosa (muita umidade e presença de indivíduos arbustivos típicos de estádios sucessionais), assim como com a possibilidade da classe pasto incorporar no espaço de atributos, áreas recém-colhidas das culturas anuais de similar característica espectral.

Os menores valores de magnitude foram das conversões CA e AC, nas quais as imagens-fração pouco variaram (diferença próxima a zero em todas as frações), em função das características da classe agricultura (dominada pela bananicultura) e da classe capoeira (vegetação em regeneração) na região nas datas estudadas (Figura 4.7). Conforme observado em trabalho de campo, essas conversões são sutis em relação às imagens-fração, uma vez que as áreas de cultura da banana apresentam características semelhantes às áreas de sucessão secundária na região, com estágio inicial a partir do abandono do bananal (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Bananal característico da região de estudo.

Fonte: Alves et al. (2006)

As imagens angulares, alfa e beta, forneceram informações sobre a direção das mudanças ocorridas. A imagem alfa variou no intervalo de $-\pi$ a π radianos, apresentando valores negativos nas conversões que derivaram na classe pasto (FP, CP e AP), indicando perda de biomassa. Os valores positivos de alfa variaram entre conversões com baixa variação de biomassa, ou seja, baixa perda de biomassa (FC e FA) ou com baixo ganho de biomassa (PC), segundo as características das conversões observadas em campo, uma vez que na classe agricultura predomina a bananicultura, com elevado valor de biomassa aérea em relação a outras culturas. A classe capoeira (sucessão secundária), derivada de antigos bananais hoje abandonados, também representa baixa perda de biomassa em relação às áreas florestais originais, quando comparadas às outras conversões presentes na área.

A indicação de perda ou ganho de biomassa está associada à formulação do ângulo alfa e ao sinal correspondente ao quadrante onde a conversão está posicionada. Quando a diferença entre os valores dos pixels na imagem-fração

de vegetação for menor que a diferença na imagem-fração solo indicará maiores valores de alfa.

A imagem beta, com valores variando entre $-\pi/2$ e $\pi/2$ radianos, indicou diminuição ou aumento do componente sombra nas conversões analisadas. De acordo com a formulação do ângulo beta, a perda de sombra está associada a valores negativos de beta, ou seja, quando a diferença entre os valores de um mesmo pixel na imagem final e inicial da fração sombra (Δz) foi menor que zero, já que o valor de magnitude é sempre positivo. Analogamente, o aumento de sombra está associado a valores de Δz maiores do que zero. As conversões FC, FP e FA apresentaram valores negativos de beta, ao passo que a conversão AC foi a que apresentou mais valores positivos de beta.

4.3.5. Subtração das imagens-fração

As imagens-diferença resultantes da subtração entre as duas datas forneceram informação sobre a variação de cada conversão nos componentes selecionados para o modelo, no caso solo, sombra e vegetação. Valores positivos indicaram aumento da influência do componente da primeira data em relação à segunda data. De forma análoga, valores negativos indicaram diminuição do componente e os valores próximos a zero indicaram pouca variação do componente no período estudado (Figura 4.9).

Na subtração das imagens-fração de solo, as conversões FP, CP e AP apresentaram valores positivos, enquanto que a conversão PC apresentou valor negativo. As demais permaneceram próximas a zero. Esse resultado evidencia a influência da classe pasto nesse componente.

Na subtração das imagens-fração de sombra, as conversões FC, FP e FA apresentaram valores negativos, enquanto que as demais ficaram próximas a zero. A fração sombra, muito presente na classe floresta, e a sucessiva conversão para outra classe foi determinante para esse resultado. Valores positivos foram observados nas conversões CP e AP, que podem ser

explicados por alguma presença de umidade ou restos culturais ou vegetativos na classe pasto, em função da época das imagens estudadas.

Na subtração das imagens-fração de vegetação, as conversões FC, FA e PC apresentaram valores positivos, ao passo que FP, CP e AP apresentaram valores negativos. Esse comportamento indica que a componente vegetação tem forte presença principalmente nas classes capoeira e agricultura, determinando diminuição dessa componente nas conversões em direção à classe pasto e aumento da mesma nas conversões direcionadas à regeneração vegetal e à agricultura.



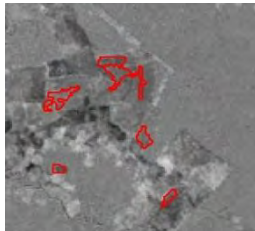


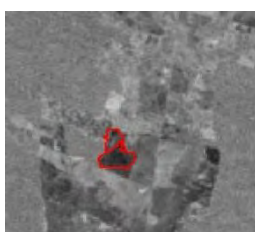

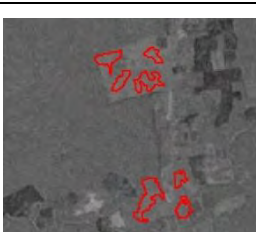

Conversão	Subtração solo	Subtração sombra	Subtração vegetação
FP			
CP			
AP			

Figura 4.9 – Resultados da subtração das imagens-fração no período de 2004 a 2010 para amostras das conversões (polígonos vermelhos). Tons de cinza claro e escuro representam valores positivos e negativos, respectivamente (alta intensidade de mudanças). Tons de cinza médio representam pouca ou nenhuma mudança. (Continua)



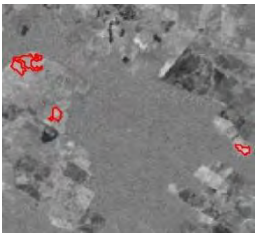
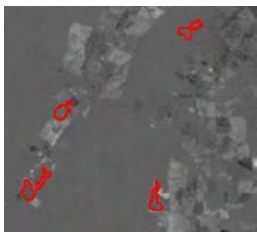
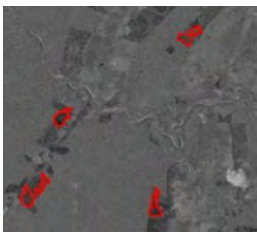
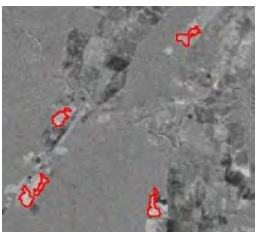


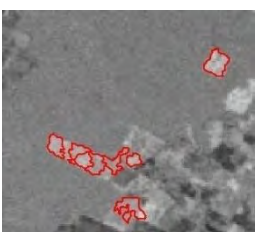
Conversão	Subtração solo	Subtração sombra	Subtração vegetação
PC			
FC			
FA			

Figura 4.9 – Conclusão

4.4. Avaliação das classificações das conversões de uso e cobertura da terra

Foram analisados os resultados das classificações *Bhattacharyya* e SVM tendo como base de entrada três combinações de produtos:

- (1) as três imagens do AVM (magnitude, alfa e beta);
- (2) as três imagens oriundas das subtrações de bandas do MLME (subtrações das imagens-solo, das imagens-sombra e das imagens-vegetação);
- (3) os seis produtos (AVM e subtrações do MLME).

Foram realizados testes utilizando todas as conversões identificadas e a classe reunida de não-mudança, além de agrupamentos de conversões, considerando as características das conversões da região de estudo, de acordo com a

Tabela 4.4. O agrupamento 1 reuniu as conversões em quatro classes: conversões de alta perda de biomassa (TAPB), conversões de média perda de biomassa (TMPB), conversões de baixa perda de biomassa (TBPB) e conversões de baixo ganho de biomassa (TBGB). O agrupamento 2 reuniu as conversões também em quatro classes: conversões de abertura para fins agrícolas – Grupo A; conversões influenciadas pela atividade pecuária – Grupo B; conversões relativas às atividades de pousio agrícola – Grupo C; e conversão relativa à diminuição da atividade pecuária – Grupo D.

Tabela 4.4 - Características dos testes utilizados e classes relacionadas.

TESTE	CARACTERÍSTICA	CLASSES		
Todas as conversões	Conversões levantadas	FP	CP	PC
		FC	CA	AC
		FA	AP	
		NM (não-mudança)		
Agrupamento 1	Perda e ganho de biomassa aérea	TAPB (FP)		
		TMPB (FC e FA)		
		TBPB (CP, CA e AP)		
		TBGB (PC e AC)		
		NM		
Agrupamento 2	Tipo de atividade	Grupo A (FC e FA)		
		Grupo B (FP, CP e AP)		
		Grupo C (CA e AC)		
		Grupo D (PC)		
		NM		

As amostras foram divididas em amostras de treinamento (50%) e amostras de teste (50%), de forma sistemática, sendo extraídas a partir do resultado da segmentação, tanto na forma de objetos para a classificação por região, como na forma de um conjunto de pixels representativos de cada classe (classificação pixel a pixel). O total de amostras e o número de pixels para cada conversão estão presentes na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Amostragem para cada conversão

CONVERSÕES	AMOSTRAGEM (amostras/pixels)
FC: floresta-capoeira	38/3551
FP: floresta-pasto	83/6657
FA: floresta-agricultura	98/8808
CP: capoeira-pasto	35/3715
CA: capoeira-agricultura	28/2133
PC: pasto-capoeira	33/2417
PA: pasto-agricultura	3/223
AP: agricultura-pasto	46/4700
AC: agricultura-capoeira	31/2635

As Tabelas 4.6 e 4.7 mostram os resultados das classificações realizadas pelo algoritmo *Bhattacharyya* e SVM, respectivamente. Os classificadores mostraram desempenhos diferentes, com superioridade nos valores *Kappa* para o classificador por regiões *Bhattacharyya*, segundo o teste estatístico Z. Esse resultado pode estar relacionado à característica do classificador por regiões, na qual cada região é descrita estatisticamente, assim como cada classe, de forma a definir se a região pertence àquela classe, dependendo de uma distância mínima estabelecida. Por outro lado, na classificação SVM as amostras compõem um aglomerado de pixels independentes no espaço de atributos, sem a informação da região. Essa informação de contexto ou vizinhança parece ser relevante na discriminação das conversões estudadas, principalmente aquelas com elevada confusão com a classe não-mudança (conversões CA e AC).

Tabela 4.6 - Valores dos índices *Kappa* e exatidão global da classificação *Bhattacharyya*, tendo como entrada: as imagens da análise de vetor de mudança (AVM) – magnitude, alfa e beta; as subtrações entre imagens-fração (solo, sombra e vegetação); todas (AVM e subtrações).

	AVM		Subtração das imagens-fração		AVM + Subtração	
	<i>Kappa</i>	Exatidão global (%)	<i>Kappa</i>	Exatidão global (%)	<i>Kappa</i>	Exatidão global (%)
Todas as conversões	0,5972 ^a	65,76	0,6674 ^{a*}	71,65	0,6137 ^a	67,19
Agrupamento 1	0,6529 ^a	72,69	0,7804 ^{b*}	82,76	0,732 ^b	79,05
Agrupamento 2	0,702 ^{ac}	77,69	0,8007 ^{b*}	85,06	0,7562 ^{bc}	81,82

^{a,b,c} : Valores com mesmo índice não diferem segundo o teste Z, a 5% de significância.

* Melhor desempenho classificatório

Tabela 4.7 - Valores dos índices *Kappa* e exatidão global da classificação SVM (*Support Vector Machine*)¹, tendo como entrada: as imagens da análise de vetor de mudança (AVM) – magnitude, alfa e beta; as subtrações entre imagens-fração (solo, sombra e vegetação); todas (AVM e subtrações).

	AVM		Subtração das imagens-fração		AVM + Subtração	
	<i>Kappa</i>	Exatidão global (%)	<i>Kappa</i>	Exatidão global (%)	<i>Kappa</i>	Exatidão global (%)
Todas as conversões	0,5358 ^d	71,12	0,5519 ^e	72,14	0,5405 ^d	71,59
Agrupamento 1	0,6482 ^f	78,39	0,6500 ^f	78,59	0,6513 ^f	78,69
Agrupamento 2	0,7027 ^g	82,08	0,7048 ^g	82,21	0,7012 ^g	82,09

¹ Função kernel de base radial

^{d,e,f,g} : Valores com mesmo índice segundo o teste Z, a 5% de significância.

De acordo com os resultados, apenas nas classificações *Bhattacharyya* com as imagens AVM os agrupamentos não proporcionaram melhoria significativa no índice *Kappa*. Em todas as outras classificações, houve diferença significativa em função do agrupamento das conversões.

Não houve diferença significativa entre os agrupamentos 1 e 2 nas classificações com o algoritmo *Bhattacharyya*. Já nas classificações AVM, os agrupamentos 1 e 2 apresentaram diferença significativa. Isso pode ser explicado pela fraca capacidade do algoritmo SVM em separar as classes CA e AC da classe da não-mudança, afetando conseqüentemente a classe “Grupo C” (agrupamento 2), o que não ocorreu na classificação por regiões.

A diferença entre os dados de entrada nos classificadores só foi significativa nas classificações SVM considerando todas as conversões, diferenciando positivamente a classificação que utilizava unicamente as imagens-diferença entre as bandas do MLME. Nas classificações *Bhattacharyya*, quando considerado o agrupamento 1, houve diferença significativa entre a que utilizava unicamente as bandas do AVM e as demais.

Foram selecionadas as classificações com melhor desempenho em relação aos índices *Kappa* e exatidão global (Tabela 4.6), para a análise das matrizes de confusão entre classes (Tabela 4.8), visando à melhor discriminação das conversões, de acordo com a metodologia estabelecida.

Tabela 4.8 - Matrizes de confusão derivadas das classificações selecionadas, correspondentes a classificações com o algoritmo *Bhattacharyya*, tendo como classes: (a) todas as conversões; (b) agrupamento 1; (c) agrupamento 2.

(a)

		Dados de referência									
		FC	FP	FA	CP	CA	PC	AP	AC	Não mudança	
Dados classificados	FC	55,00	0,00	7,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	FP	0,00	90,24	0,00	0,00	7,14	0,00	20,00	0,00	0,00	
	FA	45,00	0,00	90,91	0,00	14,29	0,00	0,00	0,00	0,00	
	CP	0,00	2,44	0,00	38,89	14,29	0,00	28,00	0,00	5,45	
	CA	0,00	0,00	0,00	0,00	42,86	5,88	0,00	6,25	1,82	
	PC	0,00	0,00	0,00	5,56	0,00	88,24	0,00	6,25	5,45	
	AP	0,00	4,88	0,00	38,89	0,00	0,00	44,00	0,00	5,45	
	AC	0,00	0,00	0,00	0,00	7,14	0,00	0,00	62,50	9,09	
	Não mudança	0,00	2,44	1,82	16,67	14,29	5,88	8,00	25,00	72,73	
		Exatidão global = 71,65%					Kappa = 0,6674 (Var = 1,02E-03)				

FC: floresta-capoeira; FP: floresta-pasto; FA: floresta-agricultura; CP: capoeira-pasto; CA: capoeira-agricultura; PC: pasto-capoeira; AP: agricultura-pasto; AC: agricultura-capoeira.

(b)

		Dados de referência					
		TAPB	TMPB	TBPB	TBGB	Não mudança	
Dados classificados	TAPB	90,24	0,00	10,53	0,00	0,00	
	TMPB	0,00	98,67	3,51	0,00	0,00	
	TBPB	7,32	0,00	70,18	6,06	12,73	
	TBGB	0,00	0,00	1,75	75,76	14,55	
	Não mudança	2,44	1,33	14,04	18,18	72,73	
		Exatidão global = 82,76%			Kappa = 0,7804 (Var = 8,68E-04)		

TAPB: conversão de alta perda de biomassa (FP); TMPB: conversões de média perda de biomassa (FC e FA); TBPB: conversões de baixa perda de biomassa (CP, CA e AP); TBGB: conversões de baixo ganho de biomassa (PC e AC).

(c)

		Dados de referência					
		GrupoA	GrupoB	GrupoC	GrupoD	Não mudança	
Dados classificados	GrupoA	98,67	0,00	6,67	0,00	0,00	
	GrupoB	0,00	91,67	10,00	0,00	10,91	
	GrupoC	0,00	0,00	53,33	5,88	12,73	
	GrupoD	0,00	1,19	3,33	88,24	3,64	
	Não mudança	1,33	7,14	26,67	5,88	72,73	
		Exatidão global = 85,06%			Kappa = 0,8007 (Var = 8,29E-04)		

Grupo A: conversões relacionadas a desmatamento (FC e FA); Grupo B: conversões do aumento da atividade pecuária (FP, CP e AP); Grupo C: conversões do pousio agrícola (CA e AC); Grupo D: conversão relativa à diminuição da atividade pecuária (PC).

Na análise da matriz de confusão da classificação com todas as conversões, observou-se que CP, CA e AP apresentaram elevada confusão com outras

classes. Na matriz de confusão do agrupamento 1, todas as classes apresentaram desempenho satisfatório. Na matriz de confusão do agrupamento 2, o grupo C (CA e AC) apresentou fraco desempenho classificatório, com elevada confusão com as áreas de não-mudança. Contudo, as conversões CP, CA e AP tiveram um fraco desempenho isoladamente, mas quando agrupadas em TBPB apresentaram bom desempenho. Observou-se que a menor confusão entre classes ocorreu no agrupamento 1, apesar de apresentar índice *Kappa* inferior ao agrupamento 2 (não significativo).

Tabela 4.9. Valores de *Kappa* condicional* para cada classe derivada dos agrupamento 1 e 2, nas classificações com o algoritmo *Bhattacharyya*.

Agrupamento 1			Agrupamento 2		
Classe	<i>Kappa</i>	Var (<i>Kappa</i>)	Classe	<i>Kappa</i>	Var (<i>Kappa</i>)
TAPB	0,8344609	3,74E-03	GrupoA	0,96307	6,52E-04
TMPB	0,963073	6,52E-04	GrupoB	0,84568	2,17E-03
TBPB	0,7047511	5,02E-03	GrupoC	0,62338	1,11E-02
TBGB	0,6969814	6,96E-03	GrupoD	0,77481	9,69E-03
NM	0,638	5,08E-03	NM	0,638	5,08E-03

*referente ao erro de exatidão do usuário (CONGALTON E GREEN, 2009)

TAPB: conversão de alta perda de biomassa (FP); TMPB: conversões de média perda de biomassa (FC e FA); TBPB: conversões de baixa perda de biomassa (CP, CA e AP); TBGB: conversões de baixo ganho de biomassa (PC e AC); Grupo A: conversões relacionadas a desmatamento (FC e FA); Grupo B: conversões do aumento da atividade pecuária (FP, CP e AP); Grupo C: conversões do pousio agrícola (CA e AC); Grupo D: conversão relativa à diminuição da atividade pecuária (PC); NM = não mudança.

A avaliação estatística dos valores *Kappa*, de acordo com o teste Z, ao nível de significância de 5% (Tabelas 4.6 e 4.7), a observação das matrizes de confusão entre classes (Tabela 4.8) e a análise do *Kappa* condicional para cada classe (Tabela 4.9) indicam um melhor desempenho da classificação *Bhattacharyya*, utilizando as imagens-diferença das frações do MLME, agrupando as classes em função da perda e do ganho de biomassa (agrupamento 1). Dessa forma, essa classificação foi selecionada para melhor caracterizar a dinâmica de uso e cobertura da terra na região estudada (Figura 4.10). O Apêndice B apresenta alguns dos produtos obtidos e testados nessa etapa.

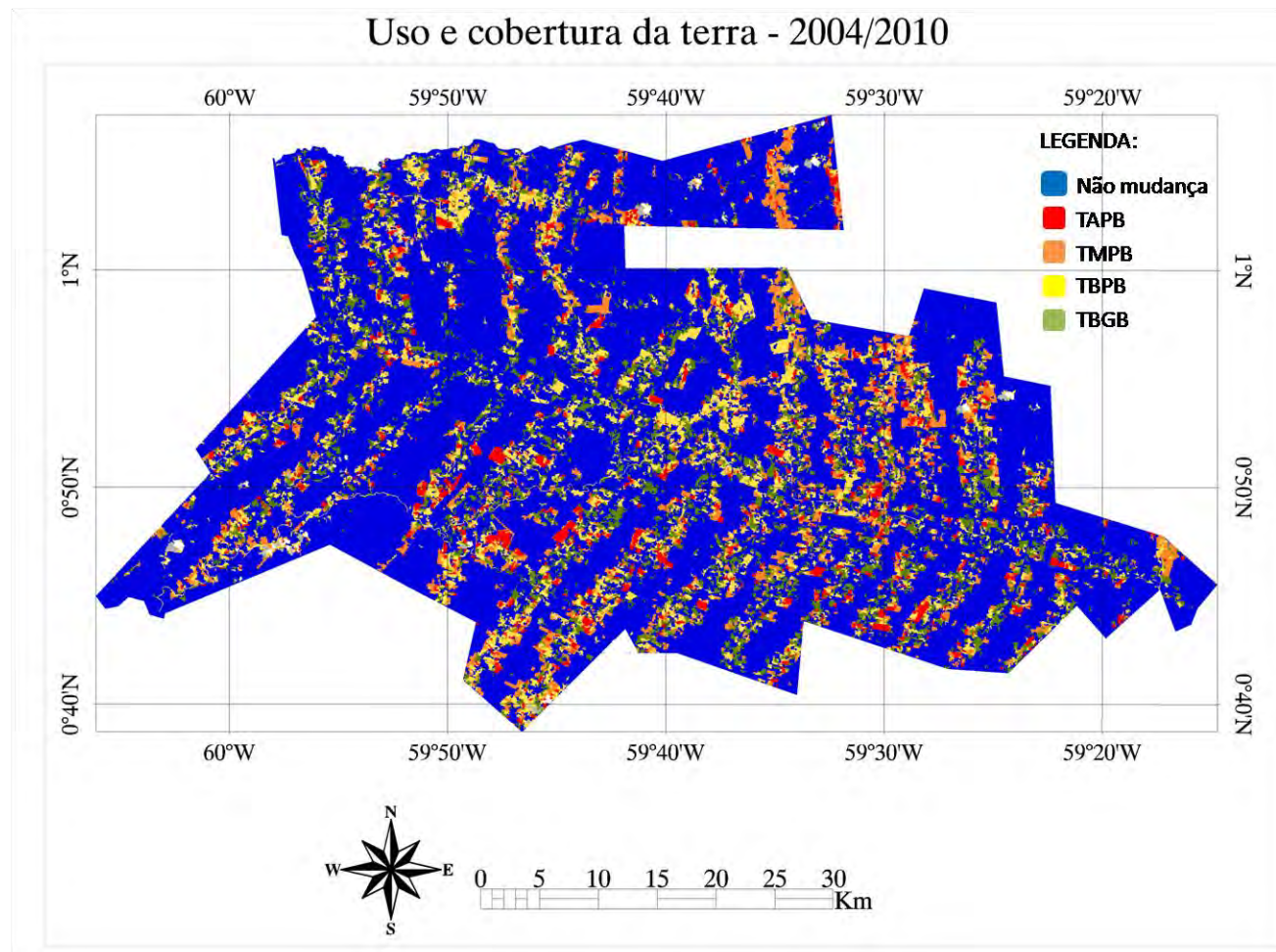


Figura 4.10 - Classificação temática das conversões pelo método *Bhattacharyya* com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; TAPB: conversões de alta perda de biomassa; TMPB: conversões de média perda de biomassa; TBPB: conversões de baixa perda de biomassa; e TBGB: conversões de baixo ganho de biomassa.

Uso e cobertura da terra - 1997/2004

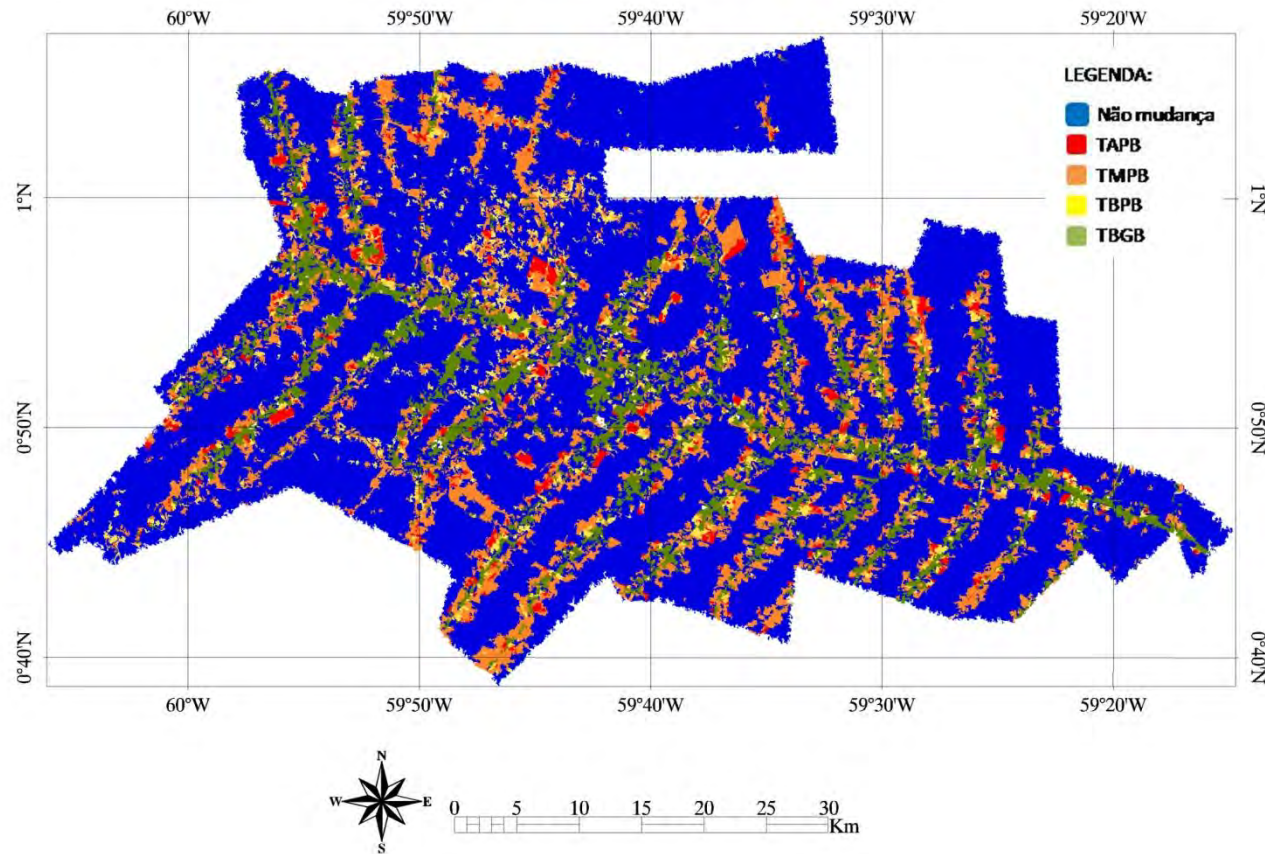


Figura 4.11 - Classificação temática das conversões pelo método *Bhattacharyya* com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 1997/2004. Classes da legenda: não mudança; TAPB: conversões de alta perda de biomassa; TMPB: conversões de média perda de biomassa; TBPB: conversões de baixa perda de biomassa; e TBGB: conversões de baixo ganho de biomassa.

4.5. Análise da dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra

Os resultados da análise da dinâmica das conversões foram organizados de acordo com a avaliação das classificações temáticas das conversões, tendo em vista aquela que apresentou melhor desempenho (em 4.10), levando em consideração dois períodos: 1997- 2004 e 2004-2010. Para o primeiro período, foram consideradas as amostras da avaliação das classificações (2004-2010), assim como novas amostras foram obtidas, de acordo com os dados das entrevistas de campo e da interpretação do uso e cobertura na imagem de 1997. O resultado da classificação do período de 1997 a 2004 encontra-se na Figura 4.11.

De acordo com as análises realizadas para os períodos de 1997-2004 e 2004-2010 (Figura 4.12), observou-se que os projetos de colonização apresentaram características distintas em relação aos tipos de conversões predominantes, de acordo com cada período avaliado.

De forma geral, no período de 1997-2004, predominou em todos os projetos, as conversões do agrupamento TMPB (floresta-capoeira e floresta-agricultura), caracterizando novas aberturas em área florestal, em um processo de expansão da fronteira e extensificação (aporte sistemático de novas áreas ao processo produtivo, diminuindo a produção por área).

Em todos os projetos, com exceção de São Luizão, observou-se nesse mesmo período alta presença das conversões do agrupamento TBGB (pasto-capoeira e agricultura-capoeira), que pode caracterizar o abandono das atividades agropecuárias, conforme relatado no diagnóstico realizado por Mourão (2003), tendo em vista a abordagem ao Projeto de Assentamento Jatapu, que congrega as áreas de Entre Rios e parte de Caroebe (Figuras 4.12a e 4.12b). Por outro lado, essas conversões podem estar também relacionadas com o processo de intensificação das atividades agropecuárias (processo de

utilização das capoeiras na atividade produtiva agrícola - sistema de pousio – ou de manejo de pastagens), de acordo com as entrevistas realizadas junto aos agricultores locais e observações em campo.

No período de 2004-2010 (Figuras 4.12c e 4.12d), as conversões de TMPB diminuíram em todos os projetos, atingindo em torno de 20% em São João da Baliza, Caroebe e Entre Rios, havendo aumento nas conversões dos agrupamentos TBPB (capoeira-pasto, capoeira-agricultura e agricultura-pasto) e TAPB (floresta-pasto), mais característicos das atividades agropecuárias. São Luizão se destaca em relação aos demais por ainda apresentar nesse período, presença significativa das conversões do agrupamento TMPB, caracterizando-se como projeto ainda em elevada expansão, com a incorporação considerável de novas áreas ao processo produtivo (47% das conversões identificadas).

A análise do comportamento nos dois períodos para São João da Baliza, Caroebe e Entre Rios mostra uma tendência à diminuição das atividades de abertura em área florestal, característica da fronteira em expansão, e ao aumento da dinâmica de uso e cobertura da terra associada às atividades agropecuárias, conforme observado no campo.

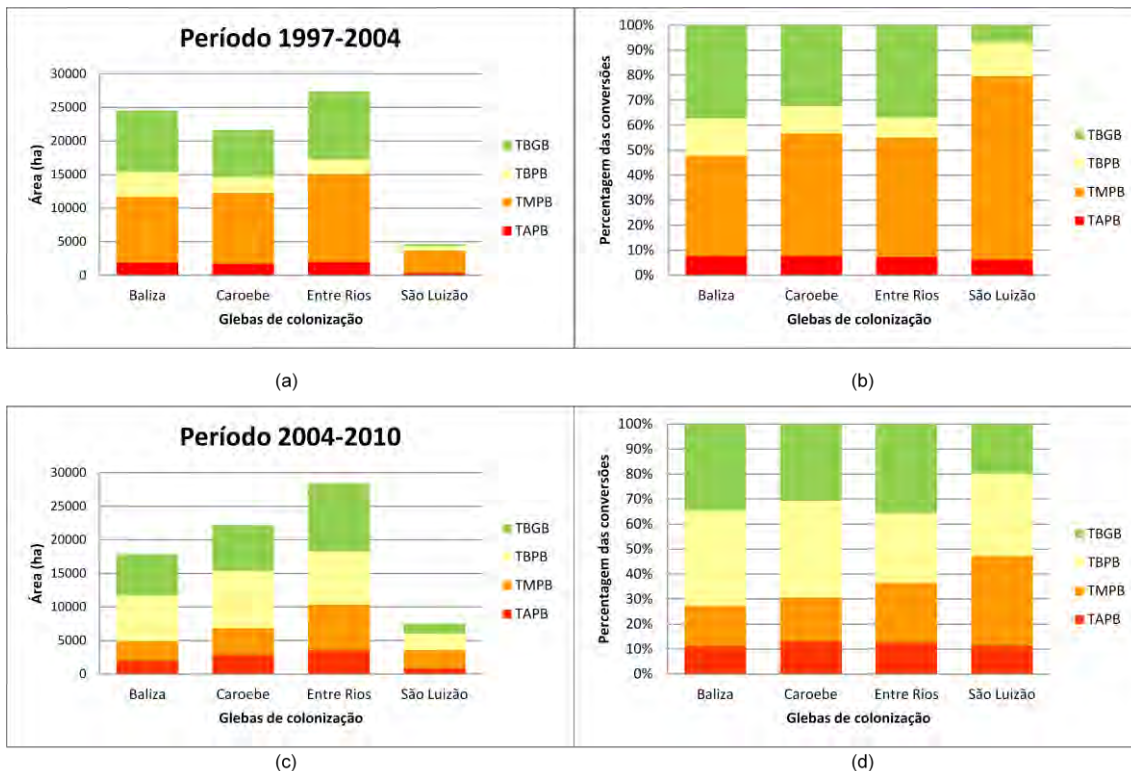


Figura 4.12 - Distribuição dos tipos de conversões nos projetos de colonização: (a) e (c) por área ocupada; (b) e (d) contribuição relativa.

Os resultados do cruzamento da classificação selecionada com os mapas de distância às estradas para toda a área de estudo mostram a presença das conversões em todas as faixas de distância nos dois períodos estudados, sendo bastante significativa até a distância de 1500 metros da estrada (Figuras 4.13a e 4.13c). Observa-se que no período de 1997-2004, uma maior presença de conversões na faixa mais próxima das estradas (0-500 m), diminuindo mais de 20% no período seguinte. Nas outras faixas de distância, houve aumento das conversões entre os dois períodos, o que significa uma penetração das conversões no interior das propriedades, característica observada nas entrevistas de campo.

Quanto aos tipos de conversões, houve uma forte diminuição das conversões do agrupamento TMPB entre os dois períodos, em todas as faixas de distância e um aumento de TAPB e TBPB também em todas as faixas, sugerindo mais

uma vez a dinâmica de uso e cobertura da terra associada às atividades agropecuárias (Figuras 4.13b e 4.13d).

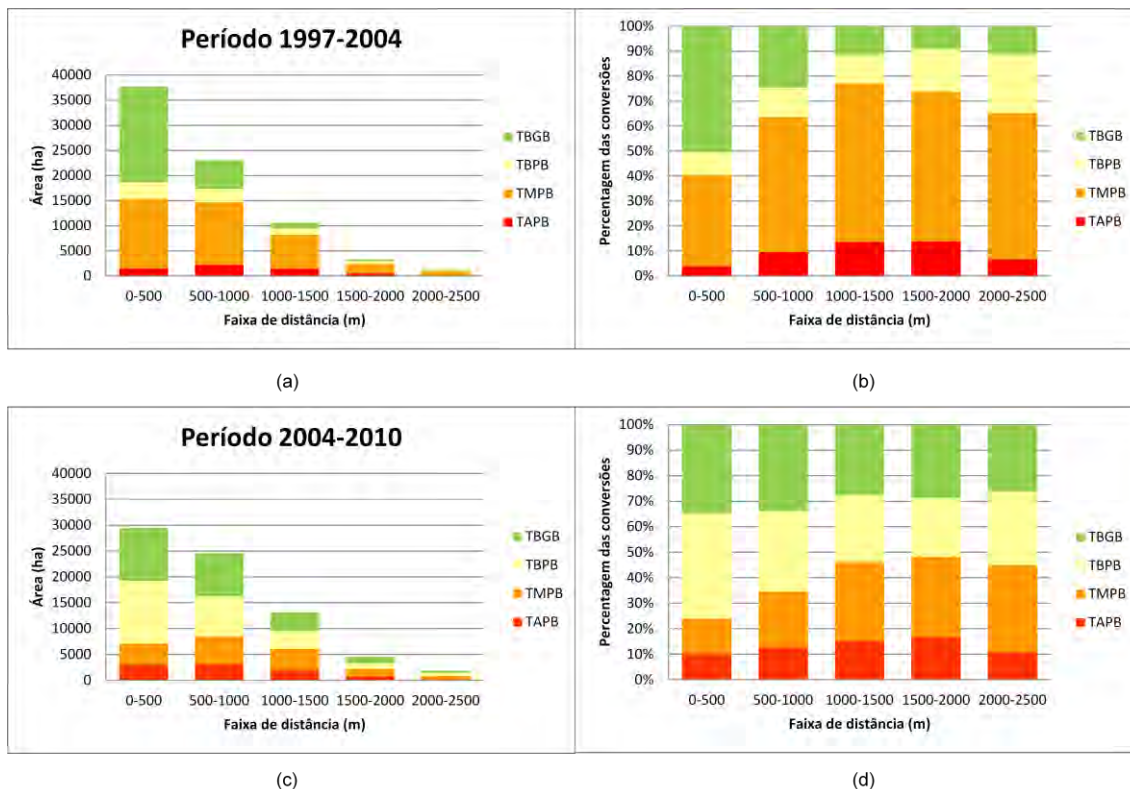


Figura 4.13 – Distribuição das conversões por faixas de distância a partir de todas as estradas presentes na área de estudo (BR-210 e vicinais): (a) e (c) área ocupada; (b) e (d) contribuição relativa.

Na análise comparativa entre os projetos de colonização em relação à distância às estradas (Figura 4.14), observa-se que, nos dois períodos analisados, as conversões em São João da Baliza e em Caroebe apresentaram áreas e comportamentos semelhantes, ao passo que em Entre Rios e em São Luizão possuíram características diferentes. Entre Rios, em relação aos demais, apresentou sempre as maiores áreas de conversões, principalmente nas distâncias até 1500 metros das estradas e São Luizão as menores áreas de conversões, concentradas em até 1000 metros das estradas.

O período de 1997-2004 mostrou a presença das conversões (principalmente

TMPB e TBGB) concentradas na distância até 1500 metros das estradas, ao passo que no período seguinte observou-se o aumento das conversões para distâncias maiores, principalmente em Caroebe e Entre Rios.

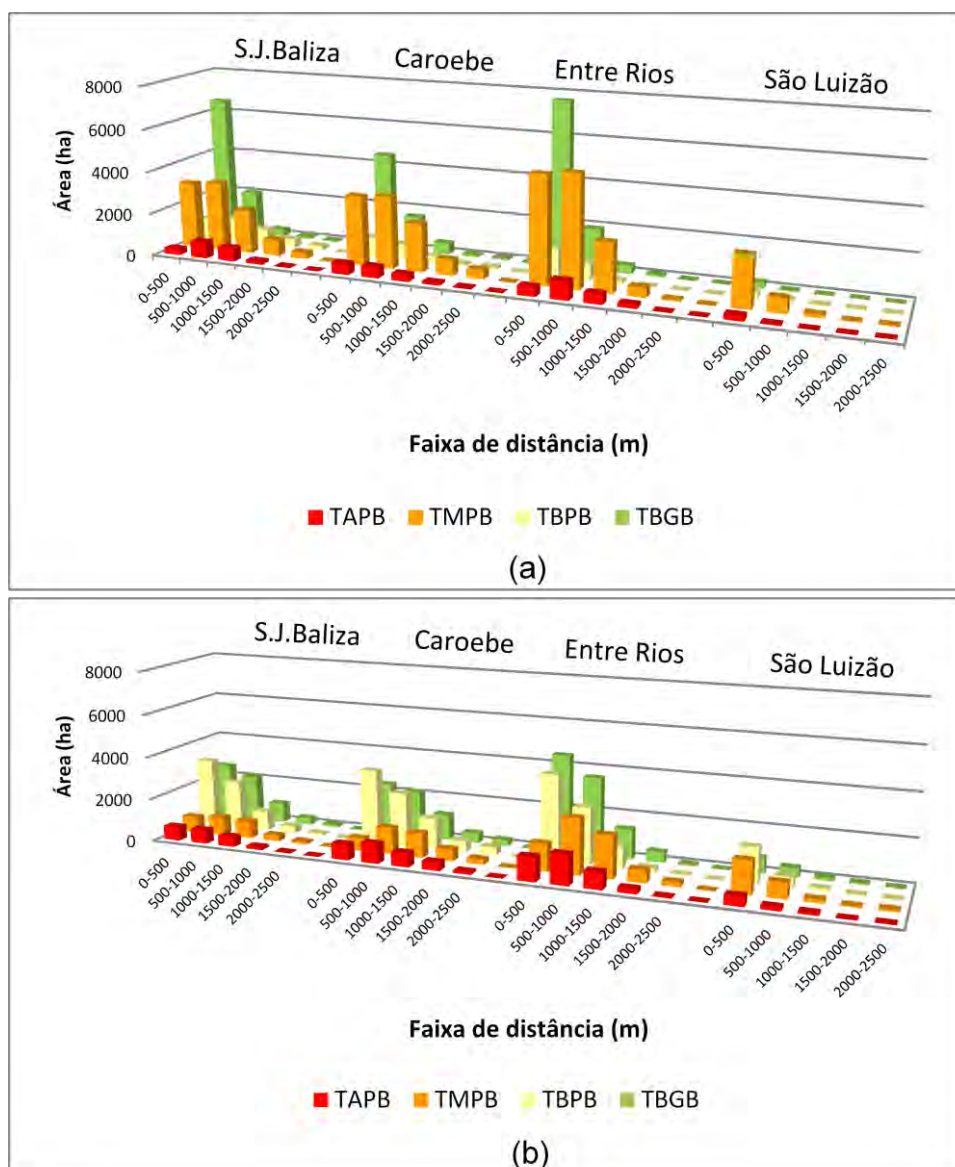


Figura 4.14 - Comparação entre os diferentes projetos de colonização quanto às conversões presentes em relação a distância às estradas (BR-210 e vicinais) nos períodos: (a) 1997-2004; (b) 2004-2010.

Em relação à distância da BR-210, observa-se que as conversões apresentam diminuição em área com o aumento da distância, nos dois períodos estudados (Figuras 4.15a e 4.15c). No período de 1997-2004, observa-se maior concentração nos primeiros 5000 metros da BR-210 em relação ao período seguinte.

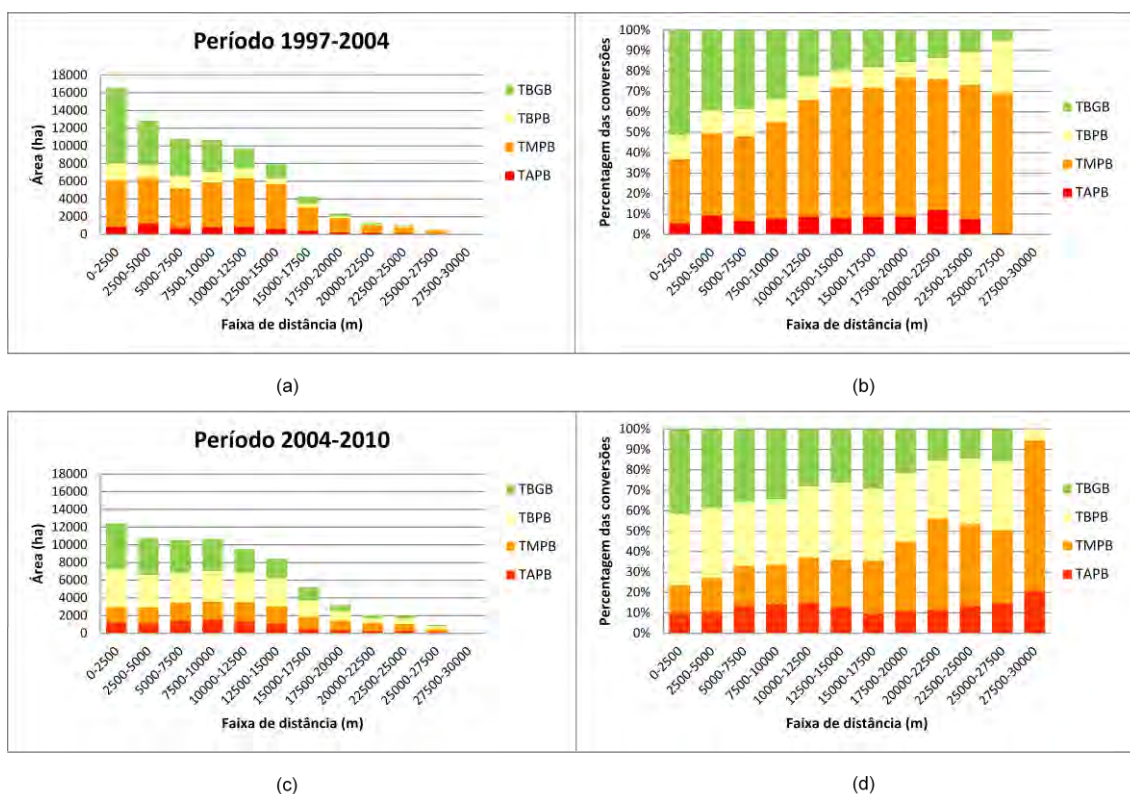


Figura 4.15 - Distribuição das conversões em faixas de distância a partir da BR-210: (a) e (c) área ocupada; (b) e (d) contribuição relativa.

De acordo com a observação da contribuição relativa das conversões (Figuras 4.15b e 4.15d), nota-se que conforme aumenta a distância da estrada principal, há um aumento gradativo da classe TMPB (conversões floresta-capoeira e floresta-agricultura) e uma diminuição também gradativa da classe TBGB (conversões pasto-capoeira e agricultura-capoeira), indicando o aumento da abertura de novas áreas cada vez mais distantes, o que caracteriza a fronteira ainda em expansão, conforme observado por Barni et al. (2012).

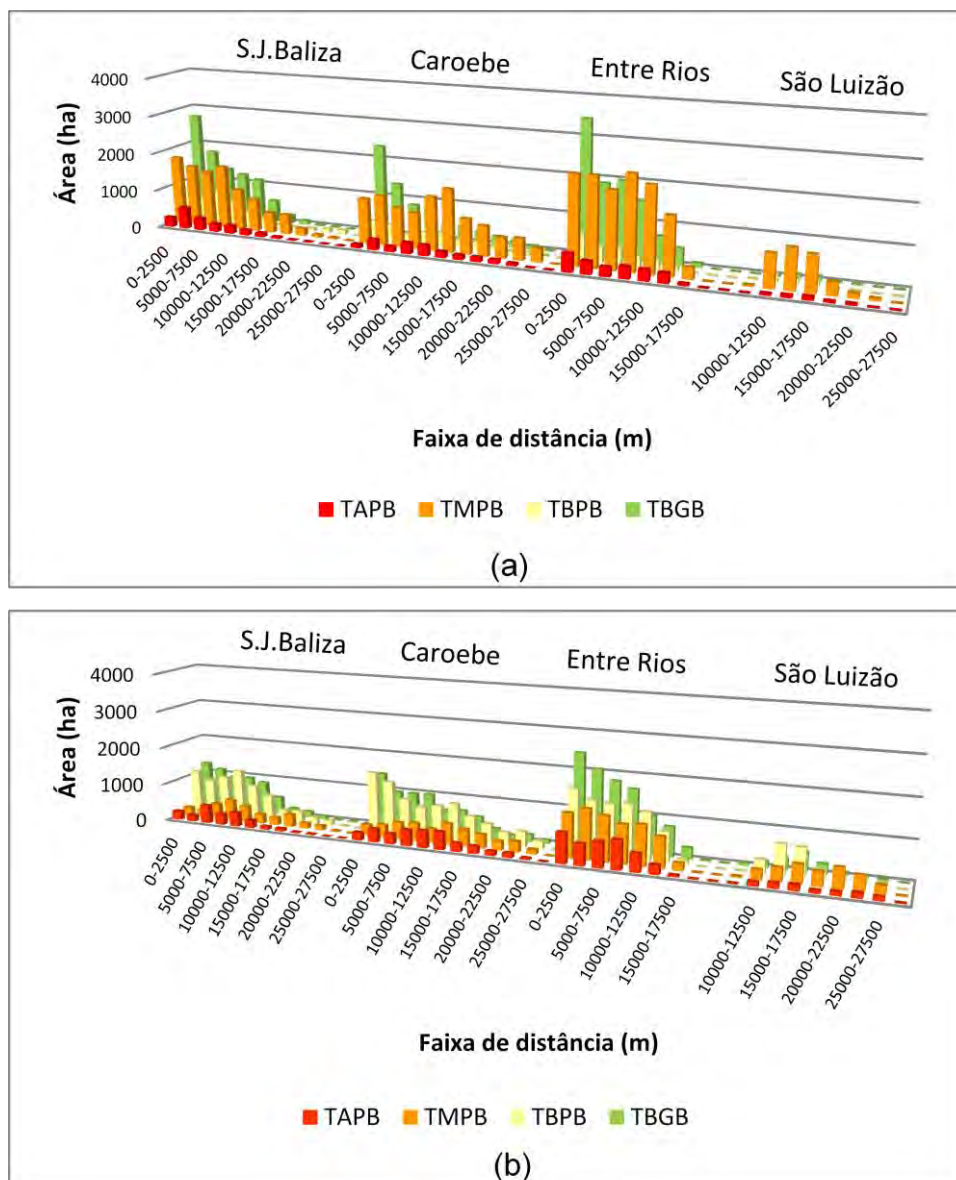


Figura 4.16 - Comparação entre os diferentes projetos de colonização quanto às conversões presentes em relação a distância à estrada principal (BR-210) nos períodos: (a) 1997-2004; (b) 2004-2010.

Na análise comparativa entre os projetos de colonização em relação à distância para a BR-210 (Figura 4.16), observa-se que Entre Rios apresenta maior ocorrência de conversões nas faixas de distância até 12,5 km, concentrando

aproximadamente 90% das conversões do projeto, característica presente nos dois períodos estudados. Em São João da Baliza, observou-se avanço da ocorrência das conversões para mais distante da rodovia principal, uma vez que no período de 1997-2004, 90% das conversões estavam concentradas nas faixas de distância até 15 km e no período seguinte (2004-2010) nas faixas de distância até 17,5 km. Em Caroebe, apesar de 90% das conversões ocorrerem na distância até 20 km, não houve mudança dessa característica nos períodos estudados.

De um período para outro, é possível notar um aumento das conversões TAPB (floresta-pasto) em Entre Rios e Caroebe, o que pode significar uma tendência ao aumento na região da atividade pecuária. Em todos os projetos, observa-se uma diminuição das conversões TMPB (floresta-capoeira e floresta-agricultura) que caracteriza a passagem por um período de maior abertura de áreas (1997-2004) em relação a um período (2004-2010) com predomínio das conversões mais ligadas ao uso prévio do solo, como TBPB e TBGB.

5 CONCLUSÕES

As conclusões foram divididas de acordo com os principais objetivos do trabalho, partindo das principais conclusões da caracterização das conversões de uso e cobertura da terra na região de estudo (5.1). Posteriormente, serão abordadas as conclusões referentes à análise da metodologia para utilização das técnicas digitais de detecção de mudanças no estudo das conversões de uso e cobertura da terra (5.2) e avaliação das classificações das conversões de uso e cobertura da terra (5.3). Na sequência, o capítulo trará as conclusões referentes à análise da dinâmica das mudanças de uso e cobertura da terra (5.4) e as conclusões finais da tese (5.5).

5.1. Caracterização das conversões de uso e cobertura da terra

As conversões de uso e cobertura da terra, identificadas e caracterizadas para a área de estudo, através do trabalho de campo realizado e informações complementares (ADERR), correspondem às atividades produtivas (agricultura e/ou pecuária), assim como às atividades não-produtivas, relacionadas aos processos de abandono ou desintensificação do uso da terra na região de estudo. As áreas de conversões de uso e cobertura da terra corresponderam aproximadamente a 30% da área estudada nos dois períodos estudados (1997/2004 e 2004/2010). O restante correspondeu às áreas de não-mudança, que podem representar tanto áreas de cobertura florestal não- utilizadas, como áreas desflorestadas cujo uso permaneceu inalterado no período estudado.

5.2. Análise da metodologia para utilização das técnicas digitais de detecção de mudanças no estudo das conversões de uso e cobertura da terra

As imagens AVM originadas a partir das imagens-fração (MLME) mostraram-se úteis na identificação e separabilidade das conversões com origem em áreas florestais, mas tiveram limitações nas conversões com origem em áreas

previamente convertidas em usos agrícola e pecuário, principalmente aquelas que envolviam as classes agricultura e capoeira (AC e CA), em função do comportamento dessas conversões nas imagens AVM. As características dessas conversões nas imagens analisadas, em função da época do ano (final da estação chuvosa) e pelo tipo de cultura predominante (banana), apresentaram baixa variabilidade nos componentes do modelo, tendo comportamento semelhante inclusive com as áreas de não-mudança.

As conversões AP e CP também não foram satisfatoriamente discriminadas pelos produtos AVM. Essa incapacidade de separar essas conversões pode ser explicada pela grande variabilidade espectral dessas classes de uso e cobertura da terra após a conversão florestal. A formulação do cálculo dessas imagens (magnitude, alfa e beta) tem relação com respostas das imagens-fração nas datas distintas, que podem não corresponder às feições de interesse (conversões). O valor de magnitude, por exemplo, é maior quanto maior for a diferença absoluta entre as imagens-fração; já o valor de alfa está relacionado com a razão entre a diferença das imagens-fração vegetação e a diferença das imagens-fração solo, tendo correspondência com diferenças sutis entre esses componentes, geralmente atribuídas ao ganho e perda de biomassa. O valor de beta tem relação com a diferença entre as imagens-fração sombra e o valor de magnitude.

Concluiu-se, portanto, que a subtração simples das imagens-fração é mais eficaz como técnica de detecção de mudanças no estudo das conversões de uso e cobertura da terra, gerando resultados mais satisfatórios e melhorando a separação de conversões como capoeira-agricultura (CA) e agricultura-capoeira (AC).

5.3. Avaliação das classificações das conversões de uso e cobertura da terra

As classificações empregadas buscaram otimizar a identificação das conversões, através da realização de agrupamentos. A classificação conjunta dos produtos AVM e subtração entre imagens-fração visaram entender a complementaridade desses dados. Os resultados apontaram para a não-complementaridade significativa, uma vez que os valores *Kappa* não diferiram estatisticamente (teste Z) em função da junção dos seis produtos.

As classificações utilizando os agrupamentos propostos levaram a um significativo aumento nos valores *Kappa* e nos índices de exatidão global em relação às classificações das conversões isoladas. Isso é explicado principalmente pelas características semelhantes em relação às imagens-fração das conversões floresta-capoeira (FC) e floresta-agricultura (FA); capoeira-pasto (CP) e agricultura-pasto (AP); e capoeira-agricultura (CA) e agricultura-capoeira (AC). Quando agrupadas, essas conversões diminuem consideravelmente a confusão entre classes, melhorando o desempenho classificatório das novas classes.

Apesar de o agrupamento 2 apresentar maiores valores *Kappa* e maiores índices de exatidão global em relação ao agrupamento 1, a classe Grupo C (CA e AC) apresentou baixo valor de *Kappa* condicional, em função da elevada confusão com as áreas de não-mudança. Em menor intensidade, no agrupamento 1, a classe TBGB (PC e AC) foi a que apresentou o menor valor de *Kappa* condicional, também com elevada confusão com as áreas de não-mudança. A justificativa para os fracos desempenhos dessas classes pode ser atribuída às características das conversões CA, PC e AC, que apresentam pouca alteração em relação aos valores das imagens-fração. Esses resultados mostram a importância que assume a definição de um limiar de mudança entre as classes estabelecidas ao se empregar essa metodologia, conforme salientam diversos autores (ROGAN et al., 2002; CHEN et al., 2003; LU et al.,

2005).

Os resultados positivos estão ligados ao bom desempenho das classificações empregadas em identificar algumas conversões isoladamente (FP e FA), potencializado quando tais conversões são agrupadas em classes que têm relação com diferentes graus de perda e ganho de biomassa ou então quando agrupadas em classes com significado alinhado aos processos que ocorrem em áreas de fronteira agrícola.

Concluiu-se assim que o classificador por regiões *Bhattacharyya* apresentou desempenho superior em relação ao algoritmo *Support Vector Machine* na discriminação das conversões. A utilização das imagens-diferença das frações do MLME apresentou qualidade de classificação considerada muito boa a excelente, de acordo com o índice *Kappa* obtido (0,78 e 0,80), para os agrupamentos 1 e 2, respectivamente (LANDIS e KOCH, 1977). Em função da análise do *Kappa* condicional, o agrupamento 1 foi considerado superior na caracterização da dinâmica de uso e cobertura da terra na região estudada.

5.4. Análise da dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra

As análises da dinâmica das conversões nos diferentes projetos de colonização em função da distância às estradas principais e secundárias, para os períodos analisados (1997-2004 e 2004-2010) mostraram que:

- Houve predomínio das conversões do agrupamento TMPB (floresta-capoeira e floresta-agricultura) no período de 1997-2004 em todos os projetos, caracterizando período de intensa atividade de aberturas na área florestal;
- As conversões do agrupamento TBGB (pasto-capoeira e agricultura-capoeira) também tiveram importância nas glebas de São João da Baliza, Caroebe e Entre Rios no período de 1997-2004, que pode significar a tendência característica da agricultura de corte e queima observada em campo, do abandono dos

bananais após o esgotamento da produção (de 3 a 6 anos), caracterizada pela conversão agricultura-capoeira, associada com a abertura de novas áreas para a mesma cultura;

- No período de 2004-2010, houve diminuição das conversões do agrupamento TMPB e aumento nas conversões dos agrupamentos TBPB (capoeira-pasto, capoeira-agricultura e agricultura-pasto) e TAPB (floresta-pasto);
- Em todo o período analisado, a gleba São Luizão apresenta conversões do agrupamento TMPB, caracterizando-se como projeto de colonização ainda em alta expansão, com a incorporação considerável de novas áreas ao processo produtivo, que no caso está ligado à cultura da banana. Nos demais, há uma tendência à diminuição das atividades de abertura em área florestal, característica da fronteira em expansão, e ao aumento da dinâmica de uso e cobertura da terra associada às atividades agropecuárias, caracterizando áreas de colonização consolidadas;
- Houve uma diminuição considerável (20%) da presença das conversões na faixa mais próxima às estradas (0-500m) entre um período e outro, assim como um aumento das conversões nas faixas mais distantes, sugerindo uma penetração das conversões no interior das propriedades, característica observada nas entrevistas de campo;
- A gleba Entre Rios, em relação aos demais, sempre apresentou quantitativamente mais conversões (área total), principalmente nas distâncias até 1500 metros das estradas e a gleba São Luizão menos conversões, concentradas em até 1000 metros das estradas;
- Em relação à distância da BR-210 (estrada principal), observa-se que conforme aumenta a distância, há um aumento gradativo da classe TMPB (conversões floresta-capoeira e floresta-agricultura)

e uma diminuição também gradativa da classe TBGB (conversões pasto-capoeira e agricultura-capoeira), indicando o aumento da abertura de novas áreas cada vez mais distantes, o que caracteriza a fronteira ainda em expansão;

- De um período (1997-2004) para outro (2004-2010), é possível notar um aumento das conversões TAPB (floresta-pasto) nas glebas Entre Rios e Caroebe, o que pode significar uma tendência ao aumento na região da atividade pecuária;
- Em todas as glebas, observa-se uma diminuição das conversões TMPB (floresta-capoeira e floresta-agricultura) que caracteriza a passagem por um período de maior abertura de áreas (1997-2004) em relação a um período (2004-2010) com predomínio das conversões mais ligadas ao uso prévio do solo, como TBPB e TBGB.

5.5. Conclusões finais

O procedimento metodológico utilizado no presente trabalho mostrou-se adequado para a caracterização e análise da dinâmica das conversões de uso e cobertura da terra presentes em áreas de colonização agrícola no sudeste do estado de Roraima.

A abordagem histórica da dinâmica das mudanças ocorridas, através da análise das conversões de uso e cobertura da terra, pode contribuir para o melhor entendimento dos diferentes processos de ocupação, que podem vir a subsidiar a elaboração de políticas públicas voltadas para as peculiaridades locais. A metodologia aplicada tem potencial para investigação em outras áreas de Roraima e da Amazônia, uma vez que a melhoria da identificação, qualificação e quantificação do uso e cobertura da terra é uma demanda de diversos setores que atuam na região (gestão, pesquisa, planejamento territorial etc).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J.B.; SABOL, D.E.; KAPOS, V.; ALMEIDA FILHO, R.; ROBERTS, D.A.; SMITH, M.O.; GILLESPIE, A.R. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, v.2, p.137-154, 1995.

AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazônia: exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, v. 209, p. 169-188, 2007.

ALMEIDA, A. L. O. de; CAMPARI, J. S. **Sustainable settlement in the Brazilian Amazon**. The World Bank. New York: Oxford University Press, 1995, 185 p.

ALVES, A.B.; SANTANA, A.R.; CERRI, A.A.; CALIARI, C.C.; MOURÃO JR, M.; ESBELL, L.S.; BARBOSA, R.N.T. **Agronegócio da banana em Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2006, 46p. (Embrapa Roraima. Documentos, 02)

ALVES, D. S.; PEREIRA, J.L.G.; SOUSA, C.L.; SOARES, J.V.; YAMAGUCHI, F. Characterizing landscape changes in central Rondônia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n. 14, p. 2877-2882. 1999.

ALVES, D. S. Space-times dynamics of deforestation in Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n.14, p. 2903-2908. 2002.

ALVES, D.S. Cenários de cobertura e uso da terra e dimensões humanas no LBA. In: BECKER, B.; ALVES, D.S.; COSTA, W.M. (eds). **Dimensões humanas da biosfera-atmosfera na Amazônia**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007. Cap.2, p.39-63.

ALVES, D.S.; ESCADA, M.I.S.; PEREIRA, J.L.G.; LINHARES, C.A. Land use intensification and abandonment in Rondônia, Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**. v.24, p. 899-903, 2003.

ARAÚJO, L. S. **Análise da cobertura vegetal e da biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/Landsat e JERS-1**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1999, 129p.

BARBOSA, R.I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.J.G.; Castellón, E.G. (Ed.). **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, p.325-335, 1997.

BARNI, P.E.; FEARNSTIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A. Desmatamento no sul do estado de Roraima: padrões de distribuição em função de projetos de assentamento do INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). **Acta Amazonica**, v.42, n.2, p.196-204, 2012.

BARROS, N.C.C. **Roraima: paisagens e tempo na Amazônia setentrional**. Recife: Editora Universitária (UFPE), 1995. 269 p.

BECKER, B.K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**. USP. v.19, p.71-86, 2005.

BOARDMAN, J.W. Inversion of imaging spectrometry data using singular value decomposition. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS'89). CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 12., 1989, Vancouver. **Proceedings**. Piscataway: IEEE, v.4, p.2069-2072, 1989.

BOARDMAN, J. W.; KRUSE, F. A.; GREEN, R. O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In: JPL Airborne Earth Science Workshop, 5. **Summaries**, JPL Publication 95-1, v.1, p.23-26, 1995.

BOSERUP, E. **Conditions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population pressure**. Chicago: Aldine Publishing Company, 1965, 123p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1975. 428p. (Levantamento de Recursos Naturais, 8).

BRONDIZIO, E.S. Análise Intra-regional de Mudanças do Uso da Terra na Amazônia. In: MORAN, E.F. ; OSTROM, E. (eds.) **Ecossistemas florestais: interação homem-ambiente**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2009. Cap. 9, p.289-326.

CAMPARI, J. S. **Challenging the turnover hypothesis of Amazon deforestation: evidence from colonization projects in Brazil**. Austin. 330p. Tese (Doutorado em Filosofia) - The University of Texas, 2002.

CAMPARI, J.S. **The economics of deforestation in the Amazon – dispelling the myths**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2005. 236 p.

CANTY, M.J.; NIELSEN, A.A.; SCHMIDT, M. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.91, p. 441-451, 2004.

CANTY, M.J.; NIELSEN, A.A. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with iteratively re-weighted MAD transformation. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.1025-1036, 2008.

CASTILLO, E.M. **Uso e cobertura da terra numa região agrícola de cerrado, via análise por vetor de mudança em imagens Landsat multitemporais**. 2011. 121p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2011.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.11, p.2674-2677, 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; BARSÍ, J.A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper radiometric calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.4, n.3, p. 490-494, 2007.

CHEN, X.; VIERLING, L.; DEERING, D. A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. **Remote Sensing of Environment**, v.98, n.1, p.63-79, 2005.

COLWELL, J. E.; WEBER, F. P. Forest change detection. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 15. Ann Arbor. **Proceedings**. Michigan: ERIM,. v. 2, p. 11–15, 1981.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Central do Estado de Roraima**: Tomo III – Informações temáticas. CPRM/SEPLAN-RR. Diagnóstico do Meio Físico, 2003.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices**. 2.ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. 292p.

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

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 2.ed., 1992. 170p.

DU, Y.; TEILLET, P.M.; CIHLAR, J. Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. **Remote Sensing of Environment**, v.82, p.123-134, 2002.

ESCADA, M.I.S. **Evolução de padrões de uso e cobertura da terra na região centro-norte de Rondônia**. 2003. 164 p. (INPE-10209-TDI/899). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

GRAÇA, P.M.L.A. **Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças**. 2004. 275p. (INPE-13644-TDI/1046). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.

HAERTEL, V.; SHIMABUKURO, Y.E.; ALMEIDA-FILHO, R. Fraction images in multitemporal change detection. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, p. 5473-5489, 2004.

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

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa exploratório de solos**, 2005a. 1 Mapa. Escala: 1:1.000.000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/tem_solos.php>. Acesso em: 31 mar. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de vegetação**, 2005b. 1 Mapa. Escala: 1:1.000.000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/tem_vegetacao.php>. Acesso em: 31 mar. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Uso da terra no estado de Roraima**. Relatório Técnico, 2005c. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/usoterra_RR.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário - Roraima**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>. Acesso em: 05 dez. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites** – Sistemas PRODES,

DETER, DEGRAD e QUEIMADAS. São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia** – sumário executivo. Belém: EMBRAPA/INPE-CRA, 2011. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass.php>

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de dados PRODES**. São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: the physical science basis**. Working Group I contribution to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: Epiphany, J.C.N. (coord). São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 598p.

JOHNSON, R. D.; KASISCHKE, E. S. Change vector analysis: a technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 3, p. 411-426, 1998.

LAMBIN, E. F.; STRAHLER, A. H. Change Vector Analysis in multitemporal space: a tool to detect and categorize land cover change processes using high temporal resolution satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v.48, p.231-244, 1994.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. C. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v.1, p.159-174, 1977.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley & Sons Ltda., 2004. 763p.

LORENA, R.B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia Ocidental (Acre), através da técnica de detecção de mudanças**. 2003. 114p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

LORENA, R.B. **Linking spatial patterns of land-use to agents of deforestation in the Brazilian Amazon**. 2008. 186p. Tese (Doutorado em Ciências) – Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Bélgica, 2008.

LU, D.; MORAN, E.; BATISTELLA, M. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. **Remote Sensing of Environment**, v.4, p.456-469, 2003.

LU, D.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. Multitemporal spectral mixture analysis for Amazonian land-cover change detection. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.30, n.1, p.87-100, 2004a.

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

LU, D.; MAUSEL, P.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. Land-cover binary change detection methods for use in the moist tropical region of the Amazon: a comparative study. **International Journal of Remote Sensing**. v. 26, n.1, p. 101-114, 2005.

LUDEWIGS, T.; D'ANTONA, A.O.; BRONDIZIO, E.S. Agrarian structure and land-cover change along the lifespan of three colonization areas in the Brazilian Amazon. **World Development**. v.37, n.8, p.1348-1359. 2009.

MACHADO, L. A fronteira agrícola na Amazônia. In: BECKER, B. K.; CHRISTOFOLETTI, A.; DAVIDOCH, F. R.; GEIGER, R. P. P. ed. **Geografia e meio ambiente no Brasil**, p. 181-217. 1995.

MALILA, W. A. Change vector analysis: an approach for detecting forest changes with Landsat. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 6., 1980, West Lafayette, Indiana. **Proceedings...** West Lafayette, Purdue University: IEEE, 1980. p.326-335.

MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Radiometric properties of US processes Landsat MSS data. **Remote Sensing of Environment**, v.22, n.1, p.39-71, 1987.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2.ed. Chinchester: John Wiley, 1999, 292p.

MATTHEW, M.W.; ADLER-GOLDEN, S.M.; BERK, A.; FELDE, G.; ANDERSON, G.P.; GORODETZKY, D.; PASWATERS, S.; SHIPPERT, M. Atmospheric correction of spectral imagery: evaluation of the FLAASH algorithm with AVIRIS data. In: **Algorithms and technologies for multispectral, hyperspectral, and ultraspectral imagery IX**, n.5093, p.474-482, 2003. *SPIE Proceedings*.

McCRACKEN, S. D. BRONDIZIO, E.S.; NELSON, D.; MORAN, E.F.; SIQUEIRA, A.D.; RODRIGUEZ-PEDRAZA, C. Remote sensing and GIS at farm

- property level: demography and deforestation in the Brazilian Amazon. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 65, n.11, p. 1311-1320, 1999.
- MICHALEK, J.L.; LUCZKOVICH, J.J.; STOFFLE, R.W. Multispectral change vector analysis for monitoring coastal marine environments. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.59, n.3, p.381-384, 1993.
- MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E.; MAUSEL, P.; WU, Y.: Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. **BioScience**. v. 44, n. 5, p. 329-338, 1994.
- MOURÃO, G.M.N. **Colonização recente y asentamientos rurales en el sudeste de Roraima, Amazonia Brasileira: entre la política y la naturaleza**. 2003. 480p. Tese de Doutorado, Universidad de Valladolid, Espanha, 2003.
- NIELSEN, A.A. The regularized iteratively reweighted MAD method for change detection in multi- and hyperspectral data. **IEEE Transactions on Image Processing**, v.16, p. 463-478, 2007.
- NIELSEN, A.A.; CONRADSEN, K.; ANDERSEN, O.B. A change oriented extension of EOF analysis applied to the 1996-1997 AVHRR sea surface temperature data. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.27, 32-34, p. 1379-1386, 2002.
- NIELSEN, A.A.; CONRADSEN, K.; SIMPSON, J.J. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF post-processing in multispectral , bitemporal image data: new approaches to change detection studies. **Remote Sensing of Environment**, v.64, p. 1-19, 1998.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Editora Blücher, 2008. 363p.
- PACIFICI, F.; DEL FRATE, F.; SOLIMINI, C.; EMERY, W. J. An innovative neural-net method to detect temporal changes in high-resolution optical satellite imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.45, n.9, p.2940-2952, 2007.
- PONZONI, F.J.; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R.A.C. 2007. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2007.65p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, (www.R-project.org), 2011.

RICHARDS, J.A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4 ed. Springer, Berlim, 476 p, 2006.

ROBERTS, D. A.; BATISTA, G. T.; PEREIRA, J. L. G.; WALLER, E. K.; NELSON, B. W. Change identification using multitemporal spectral mixture analysis: applications in eastern Amazonia. In: Lunetta, R.S; Elvidge, C.D. (eds.) **Remote sensing change detection: environmental monitoring methods and applications**. Ann Arbor: Ann Arbor Press, p.137-161, 1998.

ROGAN, J.; FRANKLIN, J.; ROBERTS, D.A. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.80, p.143-156, 2002.

SCHOENMAKERS, R.P.H.M.; WILKINSON, G.G.; SCHOAUTEN, T.E. Segmentation of remotely-sensed images: a redefinition for operational applications. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS'91), Espoo, Finland. **Proceedings...**, v.1, p.1087-1090, 1991.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.29, p.16-20, 1991.

SHIMABUKURO, Y.E.; BATISTA, G.T.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; DUARTE, V. 1998. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, v.3, p.535-541, 1998.

SILVA, P.G.; GRAÇA, P.M.A.; SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E. Avaliação da correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.2135-2142. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16192-PRE/10795). Disponível em : <http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.16.47.25>. Acesso em 15 abr. 2012.

SILVA, P.G. **Deteção de mudanças em áreas de florestas tropicais sob exploração madeireira através da técnica Análise do Vetor de Mudança**. 2003. 120p. (INPE-11581-TDI/961). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003. Disponível em : <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.30.14.00>. Acesso em 15 abr. 2012.

SMITH, M. O.; USTIN, S. L.; ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. Vegetation in deserts: a regional measure of abundance from multispectral images. **Remote Sensing of Environment**, v.1, p.1-26, 1990.

SOLER, L. S.; ESCADA, M. I. S.; VERBURG, P. H. Quantifying deforestation and secondary forest determinants for different spatial extents in an Amazonian colonization frontier (Rondonia). **Applied Geography**, n. 29, p. 182-193, 2009.

SOUSA, B.F.S.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, F.A.T.F.; ANDRADE, E.M.; BRAGA, A.P.S. Avaliação de classificadores baseados em aprendizado de máquina para a classificação do uso e cobertura da terra no bioma caatinga. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.62, p. 385-399, 2010.

TARDIN, A.T. **Subprojeto desmatamento**: convênio IBDF/CNPq. INPE. São José dos Campos: INPE, 1980. (INPE-1649-RPE/103). 44p.

TSO, B.; MATHER, P. M. **Classification methods for remotely sensed data**. New York: Taylor & Francis, 2001. 331 p.

WAIBEL, L. As zonas pioneiras do Brasil. In: _____. **Capítulos de geografia tropical e do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, p. 270-312, 1979.

XAUD, H.A.M. **Vegetação e ambiente no Estado de Roraima em área de contato savana-floresta**: sob critérios de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1998a, 179p.

XAUD, M.R. **Abordagem multisensor (Landsat e JERS) na caracterização da cobertura vegetal e distribuição de fitomassa em áreas de contato floresta/savana no Estado de Roraima-Brasil**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998b, 151 p.

XAUD, M.R.; ALMEIDA, C.M.; EPIPHANIO, J.C.N.; XAUD, H.A.M. Spatial dynamic modeling of land cover change in a northern sector of the Brazilian Amazonia. In: WORKSHOP OF THE EARSEL SPECIAL INTEREST GROUP: REMOTE SENSING OF LAND USE AND LAND COVER, 3., Bonn, 2009. **Proceedings...** Bonn: ZFL-Bonn Universität, 2009.

XAUD, M.R.; EPIPHANIO, J.C.N.; XAUD, H.A.M. Análise das mudanças de uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima – Brasil. 2011. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6779-6785. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em <http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A6HC3B>. Acesso em: 11 abr. 2011.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO EM CAMPO

HISTÓRICO DE USO DO SOLO

Nome do agricultor:

Localização:

Data da chegada ao lote:

Como se encontrava o lote (%/ha desmatados):

ATIVIDADES	ANOS			
	Chegada-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010
Aberturas (% lote/ha)				
Tamanho médio das aberturas				
Sistema de Produção Principal				
Produtividade				
Sistemas de produção secundários				
Produtividade				
Pastagem (% lote/ha)				
Animais				

Culturas anuais (% lote/ha)				
Culturas perenes ((% lote/ha)				
Capoeira (% lote/ha)				
Floresta (% lote/ha)				
Desflorestamento (% lote/ha)				
Acesso (tempo de estrada até a vila/cidade)				
Renda extra (aposentadoria/salário/di ária/aluguel pasto)				
Mão-de-obra (quantidade, homem/mulher/criança)				
Preparo do solo (derruba/queima, mecanização)				
Assistência técnica (sim/não)				
Financiamento (sim/não)				
Comercialização (onde vende: direto, atravessador)				
Destino da produção (local/regional)				

APÊNDICE B – CLASSIFICAÇÕES TEMÁTICAS DAS CONVERSÕES – Período 2004-2010

Uso e cobertura da terra - 2004/2010

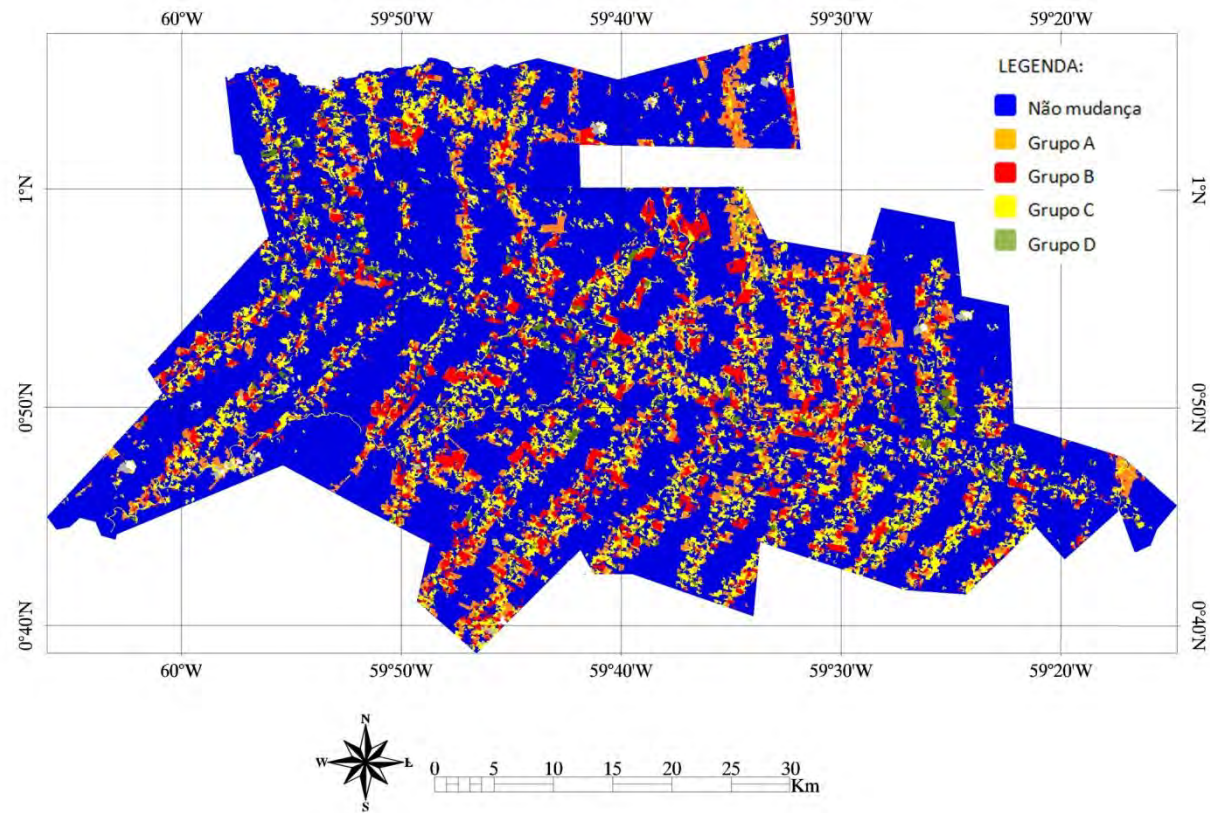


Figura B.1 - Classificação temática das conversões pelo método *Bhattacharyya* com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; agrupamento 2.

Uso e cobertura da terra - 2004/2010

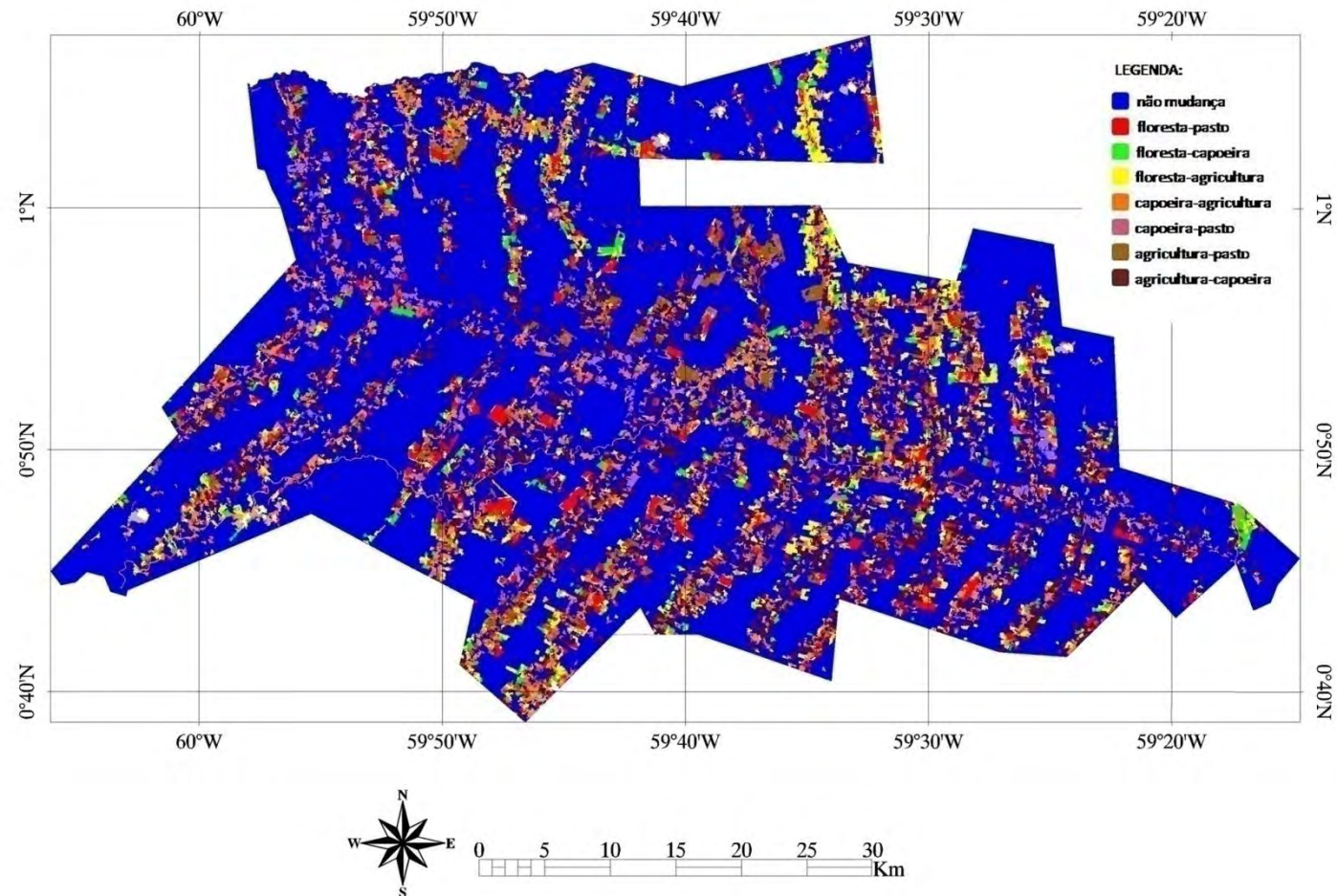


Figura B.2 - Classificação temática das conversões pelo método *Bhattacharyya* com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; todas as conversões.

Uso e cobertura da terra - 2004/2010

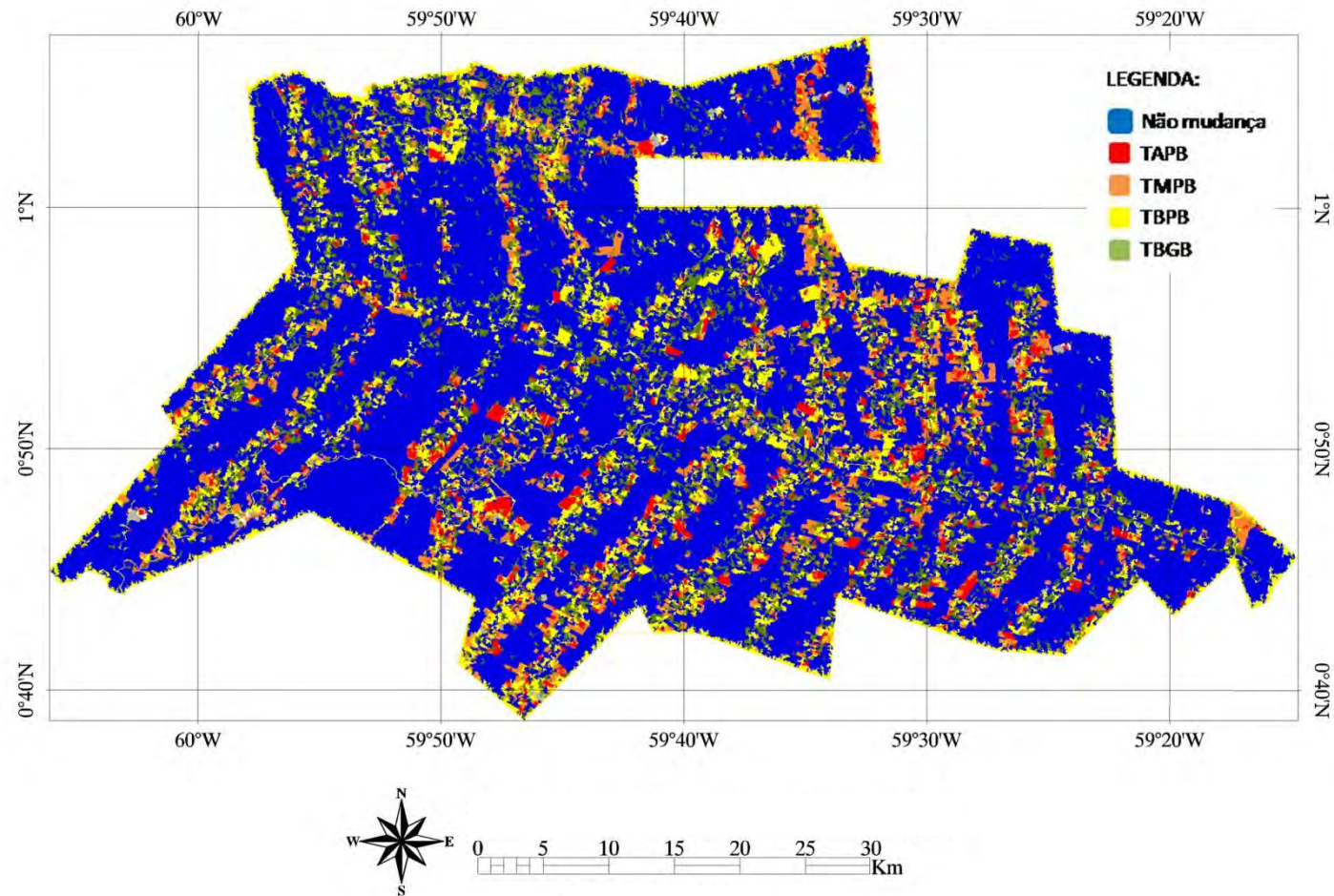


Figura B.3 - Classificação temática das conversões pelo método *Bhattacharyya* com as imagens AVM (magnitude, alfa e beta), no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; agrupamento 1.

Uso e cobertura da terra - 2004/2010

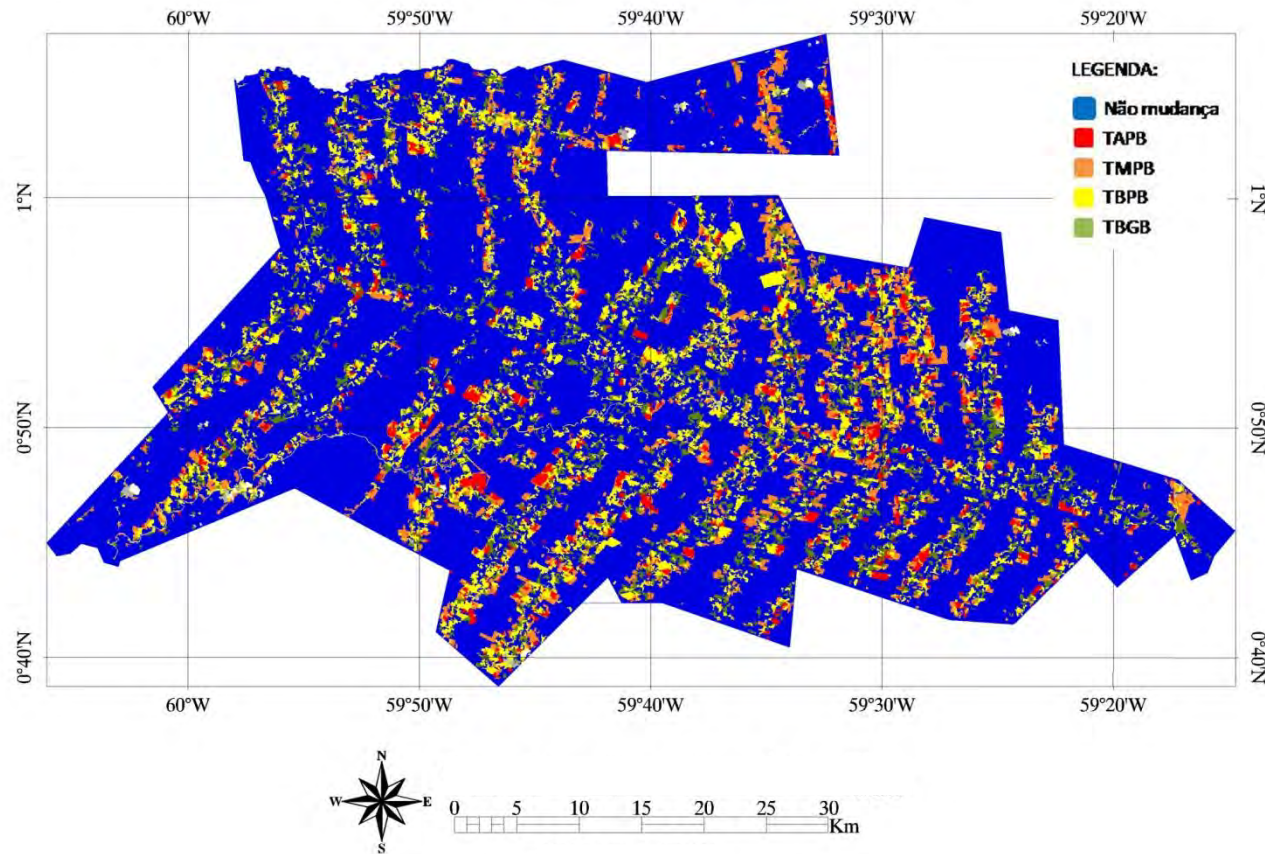


Figura B.4 - Classificação temática das conversões pelo método *Bhattacharyya* com as imagens AVM (magnitude, alfa e beta) e as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança; agrupamento 1.

Uso e cobertura da terra - 2004/2010

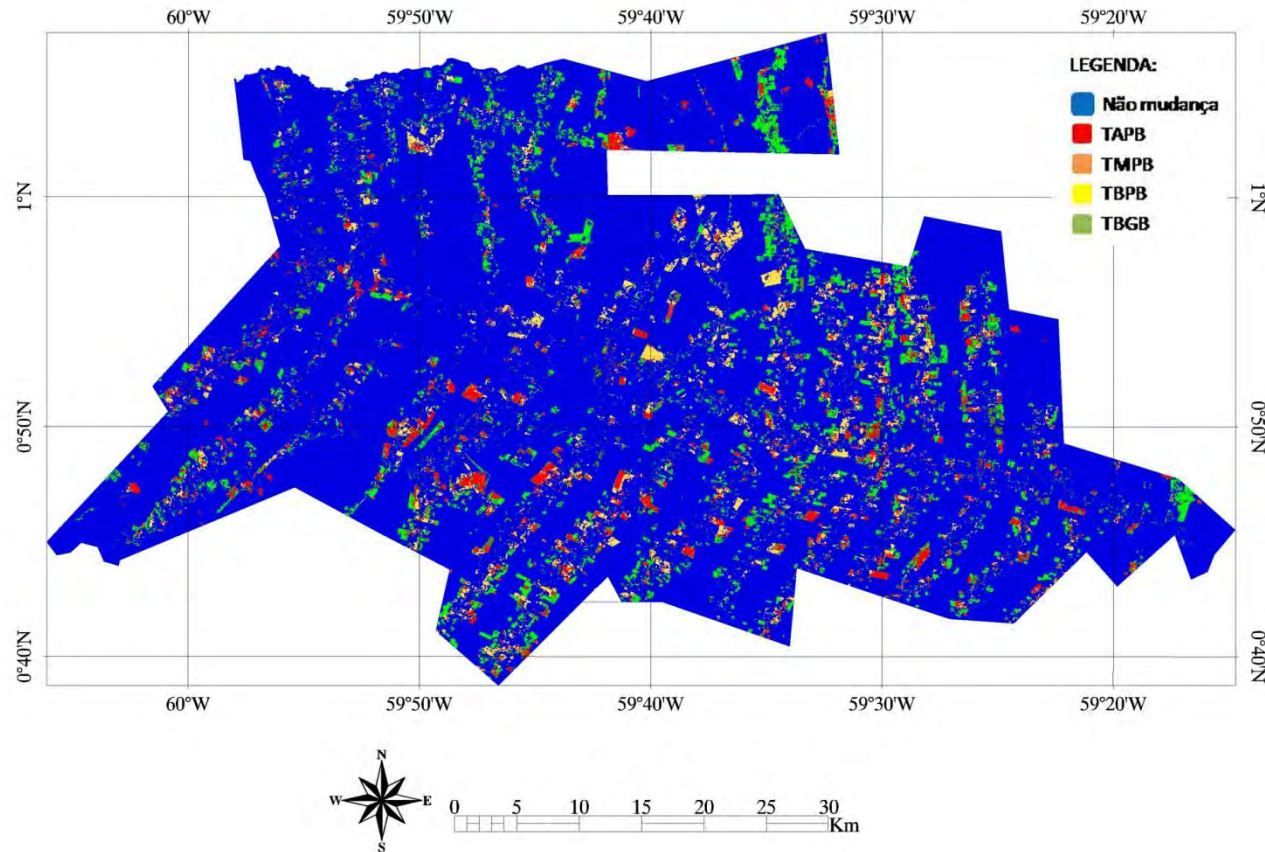


Figura B.5 - Classificação temática das conversões pelo método *Support Vector Machine* (SVM) com as imagens-diferença das frações do MLME, no período de 2004/2010. Classes da legenda: não mudança;agrupamento 1.