



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ANÁLISE DAS IMAGENS DO SATÉLITE RAPIDEYE PARA
DISCRIMINAÇÃO DE CLASSES DE COBERTURA VEGETAL DO CERRADO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 78

LÍLIAN DA ROCHA DA SILVA

Brasília-DF
Março 2015



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ANÁLISE DAS IMAGENS DO SATÉLITE RAPIDEYE PARA
DISCRIMINAÇÃO DE CLASSES DE COBERTURA VEGETAL DO CERRADO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LÍLIAN DA ROCHA DA SILVA

Orientador:

Dr. Edson Eyji Sano

Examinadores:

Dra. Tati Almeida (interno)

Dr. Pablo Santos Santana (externo)

Brasília - DF
Março 2015

Dissertação a ser submetida ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, em cumprimento ao requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências Aplicadas.

Autora:

Lílian da Rocha da Silva

Banca Examinadora:

Dr. Edson Eyji Sano

Orientador

Dra. Tati Almeida

UnB - Membro Interno

Dr. Pablo Santos Santana

UFOB - Membro Externo

Brasília - DF
Março 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Lílian da Rocha da

Análise das imagens do satélite RapidEye para discriminação de classes de cobertura vegetal do Cerrado. / Lílian da Rocha da Silva; orientação de Edson Eyji Sano. Brasília, 2015 82p.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília / Instituto de Geociências, 2015.

1. Sensoriamento Remoto; 2 monitoramento ambiental; 3. segmentação de imagens; 4 classificação digital

Silva, Lílian da Rocha da. Análise das imagens do satélite RapidEye para discriminação de classes de cobertura vegetal do Cerrado. Brasília, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2015, 82p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DA AUTORA: Lílian da Rocha da Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Análise das imagens do satélite RapidEye para discriminação de classes de cobertura vegetal do Cerrado.

GRAU: Mestre ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Esse direito poderá ocorrer somente após a publicação do artigo contido no documento. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito da autora.

Lílian da Rocha da Silva

lilianrocha521@gmail.com

Tenho duas armas para lutar contra o desespero,
a tristeza e até a morte: o riso a cavalo e o
galope do sonho. É com isso que enfrento essa
dura e fascinante tarefa de viver.

Ariano Suassuna.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus queridos familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é fruto de esforços, compreensões e créditos de pessoas que há tempo tenho o prazer de conviver e de outras que outrora não faziam parte de minha vida. Dessa experiência, renderam amigos que certamente serão duradouros. Agradeço imensamente todos que se seguem:

A todos os funcionários da Universidade de Brasília pela dedicação, educação e presteza a mim dispensados.

Aos professores do Instituto de Geociências pelas aulas ministradas e pelo repasse de importantes conhecimentos que foram incorporados nessa dissertação.

Agradeço ao suporte logístico e financeiro do Projeto Cerrado - Jalapão do MMA e do BMU (Ministério do Meio Ambiente da Alemanha) para a realização das saídas de campo.

Ao Heleno e à Thaise da EMBRAPA, por terem participado dessa etapa de minha vida, ensinando-me o que sabem com paciência e dedicação.

À empresa Hex Informática, por ter incentivado a conclusão dessa dissertação.

Às minhas amigas, Karen e Adriana, amizade que foi construída ao longo do mestrado, mas que será pra vida toda. Um brinde às Sanetes!

Às minhas amigas, Fabíola e Layla, por tornar minha vida melhor de viver, mesmo com a distância, guardo-as no coração.

Um agradecimento especial ao meu orientador Edson Eyji Sano, aprendi mais do que os limites da dissertação, seu jeito simples e prestativo enaltece seu trabalho. Não foi só meu orientador, com certeza se tornou um amigo.

Gostaria de expressar meus agradecimentos a minha banca examinadora por me darem à honra de dividirem este momento comigo, dando sentido as idéias e declarações aqui propostas.

Esta pesquisa é, em boa parte, o resultado de esforços e discussões de vários meses com o Gustavo. Com seu jeito cartesiano, enriqueceu meu trabalho com sugestões pertinentes e foi essencial nas análises estatísticas do trabalho. Automatizou vários passos da metodologia que levariam dias para serem feitos. Meu agradecimento especial.

Aos meus irmãos, Diego e Liliane, pelo carinho.

Aos meus pais, Edian e Lindauro, por tudo que fizeram por mim ao longo dessa vida.

A todos que não estão listados aqui, mas que participaram direta ou indiretamente na realização desse estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Hipótese.....	3
1.4 Estrutura da dissertação.....	3
2. CAPÍTULO 2 – ÁREA DE ESTUDO	5
2.1 Localização.....	5
2.2 Aspectos fisiográficos e climáticos.....	7
2.3 Cobertura vegetal natural e uso antrópico.....	12
2.3.1 Cobertura vegetacional natural.....	12
2.3.2 Uso antrópico.....	16
3. CAPÍTULO 3 – RAPIDEYE	20
3.1 Características de Imageamento.....	20
3.2 Aplicações.....	22
4. CAPÍTULO 4 – MATERIAS E MÉTODOS	26
4.1 Imagens RapidEye: seleção e pré processamento.....	27
4.2 Trabalhos de campo.....	30
4.3 Análise estatística.....	31
4.4 Segmentação e classificação.....	33
4.5 Exatidão da classificação.....	36
5. CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6. CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Especificações técnicas dos satélites do sistema RapidEye.....	21
Tabela 4.1 – Valores de irradiância exo-atmosférica (<i>EAI</i>) utilizados nesse estudo para conversão de valores de radiância no nível do sensor para reflectância no topo da atmosfera.....	29
Tabela 4.2 – Dados referentes às campanhas de campo realizadas nos quatro municípios considerados nesse estudo (total de pontos visitados no campo: 126).....	30
Tabela 4.3 – Cenas do RapidEye selecionadas para testar nova abordagem metodológica baseada em segmentação seguida de classificação supervisionada de imagens.....	33
Tabela 5.1 – Resultados do cálculo do <i>Optimum Index Factor</i> (OIF) para todas as combinações de banda.....	40
Tabela 5.2 – Resultados da análise de variância (ANOVA) mostrando o potencial de cada banda do satélite RapidEye para discriminar classes de cobertura vegetal natural e antrópica consideradas nesse estudo (n = 126).....	43
Tabela 5.3 – Matriz de confusão referente à etapa de classificação semi-automática das áreas de culturas agrícolas em Jataí, formações savânicas em Luís Eduardo Magalhães, formações campestres em Mateiros e formações florestais e pastagens cultivadas em São Miguel do Araguaia.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mapa de localização das áreas de estudo no bioma Cerrado. LEM = Luís Eduardo Magalhães. SMA = São Miguel do Araguaia.....	6
Figura 2.2 – Composições coloridas RGB das bandas 4, 5 e 2 do satélite RapidEye dos municípios da área de estudo.....	7
Figura 2.3 – Distribuição das principais classes de solos nos municípios de Jataí (a), Luís Eduardo Magalhães (b), Mateiros (c) e São Miguel do Araguaia (d).....	9
Figura 2.4 – Hipsometria nos municípios de Jataí (a), Luís Eduardo Magalhães (b), Mateiros (c) e São Miguel do Araguaia (d).....	10
Figura 2.5 – Precipitação mensal nos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães (LEM), Mateiros e São Miguel do Araguaia (SMA).....	11
Figura 2.6 – Temperatura média nos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães (LEM), Mateiros e São Miguel do Araguaia (SMA).....	12
Figura 2.7 - Estrutura das formações vegetais do Cerrado.....	13
Figura 2.8 - Fotografias panorâmicas de campo ilustrando as classes de cobertura vegetal natural representativas da área de estudo: formação campestre (a); formação savânica (b), (c), (d) e (e); e formação florestal (f) e (g).....	16
Figura 2.9 – Desmatamento acumulado (km ²) no período de 2008 a 2011 nos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães (LEM), Mateiros e São Miguel do Araguaia (SMA).....	17
Figura 2.10 - Fotografias panorâmicas de campo ilustrando as classes de uso antrópico representativas da área de estudo: plantio de cana-de-açúcar (a), milho (b) e pastagem (c) em Jataí; plantio de algodão (d), soja (e) e milho (f) em LEM; plantio de soja (g) em Mateiros; e pastagem (h) em São Miguel do Araguaia.....	19
Figura 3.1 – Ilustração da constelação de satélites RapidEye em um mesmo plano orbital.....	20
Figura 3.2 – Comportamento espectral representativo de vegetação verde, vegetação seca e solo nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo, com destaque para a banda do <i>red-edge</i> , colocada, pela primeira vez, em um sensor orbital e multiespectral, pelo satélite alemão RapidEye.....	22
Figura 4.1 – Fluxograma das principais etapas de trabalho.....	26
Figura 4.2 – Identificação das cenas ortorretificadas do satélite RapidEye que cobrem os municípios de Jataí/GO (a), Luís Eduardo Magalhães/BA (b), Mateiros/TO (c) e São Miguel do Araguaia/GO (d). Cada cena cobre uma área de 25 km x 25 km do terreno.....	28

Figura 4.3 – Distribuição espacial dos pontos visitados no campo nos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães (LEM), Mateiros e São Miguel do Araguaia (SMA).....	31
Figura 4.4 - Resultado da segmentação das imagens do satélite RapidEye por crescimento de regiões dos municípios de Jataí (a), Luís Eduardo Magalhães (b), Mateiros (c) e São Miguel do Araguaia (d).....	35
Figura 5.1 – Relação entre valores de reflectância das cinco bandas do satélite RapidEye. Valores de reflectância extraídos de quatro cenas dos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães, Mateiros e São Miguel do Araguaia. Total de pontos em cada gráfico: 9.216 pontos.....	40
Figura 5.2 – Composição colorida RGB das bandas 5, 3 e 2 do satélite RapidEye em parte dos municípios de Jataí/GO (a), Luís Eduardo Magalhães/BA (b) Mateiros/TO (c) e São Miguel do Araguaia/GO (d).....	41
Figura 5.3 – Assinaturas espectrais de classes de cobertura vegetal consideradas nesse estudo. FLO = formação florestal; SAV = formação savânica; CAM = formação campestre; CA = cultura agrícola; PA = pastagem cultivada.	42
Figura 5.4 – Dendrograma obtido da análise de agrupamento hierárquico tendo como variáveis, valores de reflectância das cinco bandas do satélite RapidEye correspondentes às coordenadas GPS de campo (n = 126).....	44
Figura 5.5 – Classificação semi-automática das áreas de culturas agrícolas em Jataí (a), formações savânicas em Luís Eduardo Magalhães (b), formações campestres em Mateiros (c) e formações florestais (d) e pastagens cultivadas (e) em São Miguel do Araguaia.....	45

LISTA DE SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
BMU	Ministério do Meio Ambiente da Alemanha
CAR	Cadastro Ambiental Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IAF	Índices de Área Foliar
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LEM	Luís Eduardo Magalhães
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MINT	Ministério da Integração
MMA	Ministério de Meio Ambiente
OIF	<i>Optimum Index Factor</i>
PDIAP	Projeto Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PMDBBS	Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite
SMA	São Miguel do Araguaia
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SPOT	<i>Le Systeme Pour l'Observation de la Terrere</i>
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UPGMA	<i>Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>

RESUMO

A discriminação de classes de cobertura vegetal e o monitoramento da expansão da fronteira agrícola no bioma Cerrado têm sido conduzidos principalmente com base em imagens ópticas de satélites com resolução espacial moderada. O uso dessas imagens tem apresentado certa dificuldade por causa da elevada sazonalidade climática e da acentuada dinâmica espacial e temporal das atividades agrícolas. O lançamento do satélite RapidEye, com tamanho de pixel de 5 metros e periodicidade diária (off nadir), trouxe novas perspectivas para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal do Cerrado. Esta pesquisa objetivou analisar o potencial das imagens RapidEye para discriminar as seguintes classes de cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado: formações florestais, formações savânicas, formações campestres, culturas agrícolas e pastagens cultivadas. Os objetivos específicos incluíram a definição das três bandas mais apropriadas para geração de composições coloridas RGB para interpretação visual; a definição da banda espectral mais favorável para discriminação das classes espectrais acima mencionadas; a definição de classes de cobertura vegetal passíveis de serem discriminadas pelas imagens do satélite RapidEye; e o desempenho da técnica de segmentação por crescimento de regiões seguida de uma nova proposta de classificação semi-automática baseada nos parâmetros estatísticos da tabela de atributos da segmentação, para discriminar as classes de cobertura vegetal consideradas. Análises estatísticas de coeficiente de correlação por Pearson e *Optimum Index Factor* (OIF), análise de variância (ANOVA), análise de agrupamento hierárquico (*cluster analysis*) e análise da matriz de confusão indicaram que: a composição colorida RGB mais apropriada é a que envolve as bandas 1 (faixa espectral do azul), 3 (vermelho) e 5 (infravermelho próximo); as bandas 3 e 4 (*red-edge*) foram as que demonstraram maior potencial para discriminar as classes de cobertura vegetal e natural; é possível discriminar, no mínimo, dois grandes grupos espectrais, um grupo composto por formações florestais e savânicas e o outro grupo composto por formações campestres, culturas agrícolas e pastagens cultivadas; e a nova técnica de segmentação seguida de classificação semi-automática mostrou uma alta acurácia para mapeamentos das cinco classes espectrais consideradas nesse estudo.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, monitoramento ambiental, segmentação de imagens, classificação digital.

ABSTRACT

The discrimination of land cover classes and the monitoring of expansion of agricultural frontiers in the Cerrado biome have been conducted mainly based on optical satellite images with moderate spatial resolutions. The use of these images has presented some difficulty because of the high seasonality and strong spatial and temporal dynamics of agricultural activities. The launch of the RapidEye satellite, with pixel size of 5 meters and daily repeat-pass (off nadir), brought new perspectives for mapping and monitoring the vegetation cover of the Cerrado. This paper analyzes the potential of RapidEye images to discriminate the following land use and land cover (LULC) classes: forestlands, shrublands, grasslands, croplands and cultivated pastures. The specific objectives included the definition of the three most appropriate bands to generate RGB color composites for visual interpretation; defining the most favorable spectral bands for discrimination of the above spectral classes; the definition of LULC classes that can be discriminated by the RapidEye satellite images; and the performance of the new technique based on image segmentation by growing region and followed by the semi-automatic classification based on the statistical parameters available in the attribute table of segmentation to discriminate the considered LULC classes. The Pearson correlation coefficient, the Optimum Index Factor (OIF), the analysis of variance (ANOVA), the hierarchical cluster analysis and the results of confusion matrix showed that: the most appropriated RGB color composite was the one involving the spectral bands 1 (blue) 3 (red) and 5 (near infrared); bands 3 and 4 (red-edge) were the ones that showed the highest potential to discriminate the LULC classes; it is possible to distinguish at least two major spectral groups, the group composed by forestlands and shrublands and the group composed by the grasslands, croplands and cultivated pastures; and the new segmentation technique followed by semi-automatic classification showed high accuracy for mapping the five spectral classes considered in this study.

Keywords: Remote sensing, environmental monitoring, image segmentation, digital classification.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

O bioma Cerrado pode ser descrito como um ecossistema de savanas, de vasta ocorrência na região Central do Brasil, onde, sob forte contraste sazonal, apresenta um sistema vegetacional único, separados em fitofisionomias do tipo gramíneo-lenhosas, arbustivas e florestais (EITEN, 1994; FERREIRA et al., 2009). Ocupando uma área de 2.036,448 km² do território brasileiro e distribuído por 10 estados da federação, além do Distrito Federal, este bioma se diferencia também pela comprovada e rica biodiversidade, em grande parte restrita ao seu ambiente (IBGE, 2004).

A típica vegetação do Cerrado se caracteriza pelos troncos tortuosos, baixo porte, ramos retorcidos, cascas espessas e folhas grossas. A vegetação do Cerrado não possui uma fisionomia única em toda a sua extensão. Ela é bastante diversificada, apresentando desde associações campestres abertas, até associações florestais densas. Entre esses dois extremos fitofisionômicos, viceja uma gama de associações intermediárias, resultando em um mosaico de formas fisionômicas (RATTER et al., 1997).

A proposta do governo de integrar regiões e a necessidade de ampliação das terras agricultáveis do país fez com que as áreas do Cerrado se tornassem alvo de ocupação intensa nos últimos anos. O Cerrado é caracterizado por ser um grande pólo agrícola de grãos (algodão, café, soja e milho) e carne bovina (KLINK e MACHADO, 2005). Apresenta topografia suave e precipitação média anual em torno de 1.000 mm e estrutura do solo adequado para extensa e mecanizada agricultura de sequeiro (SANO et al., 2010). As taxas de desmatamento no Cerrado têm sido historicamente superiores aos outros biomas, provocando alterações irreparáveis no funcionamento do bioma (KLINK e MACHADO, 2005).

A discriminação de classes de cobertura vegetal e o monitoramento da expansão da fronteira agrícola no bioma Cerrado têm sido conduzidos com base em imagens ópticas de satélite com resolução espacial moderada, notadamente com base nas imagens do satélite

Landsat, que possuem resolução espacial de 30 metros. Elas apresentam a vantagem de cobrir áreas relativamente grandes (185 km x 185 km) e permitem mapeamentos em escalas de 1:50.000 a 1:250.000. Contudo, o uso dessas imagens para o monitoramento do Cerrado tem apresentado certa dificuldade por causa da elevada sazonalidade pluviométrica, do dinamismo das atividades agrícolas em algumas regiões, da heterogeneidade da paisagem do Cerrado e das confusões espectrais entre algumas classes de uso antrópico e de vegetação natural (SANO et al., 2005). Outro fator que merece ser destacado é a dificuldade de obter imagens Landsat sem cobertura de nuvens na maior parte do ano. Segundo estudo conduzido por Sano et al. (2007), a probabilidade de obter imagens Landsat com menos de 10% de cobertura de nuvens na época chuvosa (novembro a março) é inferior a 25%.

O lançamento do satélite RapidEye em 29 de agosto de 2008 trouxe novas perspectivas para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal do Cerrado. Esse sensor opera a bordo de uma constelação de cinco satélites numa mesma órbita, possibilitando a obtenção de imagens com resolução espacial de 6,5 metros e periodicidade de 1 dia (off nadir). Trata-se de um satélite multiespectral que opera nas faixas espectrais do visível (azul, verde e vermelho) e do infravermelho próximo, com destaque para uma banda no *red-edge* (690-730 nm) centrada no limite entre o vermelho e o infravermelho próximo que foi colocada para medir as variações fotossintéticas e monitoramento da saúde da vegetação (KRISCHKE et al., 2000; TYC et al., 2005). A resolução radiométrica de 12 bits, superior aos 8 bits do Landsat (5 e 7), é um outro fator que merece ser destacado. Imagens ortorretificadas do RapidEye têm sido disponibilizadas com tamanho de pixel de 5 metros e em uma grade regular de 25 km x 25 km.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) tem liderado a compra anual dessas imagens para todo o território brasileiro. Essas imagens têm sido disponibilizadas para diferentes instituições federais e estaduais de ensino e pesquisa, além de secretarias estaduais de meio ambiente, para fins não-lucrativos e mediante assinatura de termo de acesso às imagens. O propósito principal do MMA é fornecer insumo para o Cadastro Ambiental Rural (CAR), instituído recentemente como instrumento nacional para auxiliar o processo de regularização ambiental de propriedades rurais, a ser executado conforme o Novo Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012). No entanto, por ser um satélite comercial e relativamente novo,

poucos trabalhos têm sido conduzidos no sentido de analisar o seu potencial para o mapeamento e monitoramento de cobertura vegetal dos diferentes biomas brasileiros.

1.2 Objetivos

O objetivo dessa pesquisa é analisar o potencial das imagens RapidEye para discriminar classes representativas de cobertura vegetal natural e antrópica do bioma Cerrado. Como objetivos específicos, têm-se:

- analisar o desempenho da nova banda *red-edge* do satélite RapidEye para discriminar classes representativas de cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado;
- identificar a combinação das três melhores bandas espectrais do satélite RapidEye para discriminar classes representativas de cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado para uso de interpretação visual; e
- analisar o desempenho da técnica de segmentação de imagens por crescimento de regiões para discriminar classes representativas de cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado.

1.3 Hipótese

Imagens do satélite RapidEye permitem uma boa discriminação de classes de cobertura vegetal natural e antrópica do Cerrado.

1.4 Estrutura da Dissertação

Na parte inicial desta dissertação, são apresentadas a introdução e os objetivos do estudo (Capítulo 1). A seguir, ênfase é dada para a descrição da área de estudo (Capítulo 2). As revisões bibliográficas dos principais tópicos abordados nessa dissertação são apresentadas no Capítulo 3. A metodologia desta pesquisa é destacada no Capítulo 4 enquanto os principais

resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 5. O Capítulo 6 apresenta as considerações finais desta pesquisa.

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo corresponde aos seguintes municípios localizados no bioma Cerrado: Jataí/GO, Luís Eduardo Magalhães/BA, Mateiros/TO e São Miguel do Araguaia/GO (Figura 2.1). O município de Jataí destaca-se pelo uso de mecanização intensiva com elevada produtividade para produção de alimentos (grãos) e energia (cana-de-açúcar) (SILVA, 2011). O município de Luís Eduardo Magalhães foi escolhido por ser uma área típica de fronteira agrícola, com produção intensiva de grãos, notadamente soja, milho e algodão (SANTOS, 2007; SANO et al., 2007). Mateiros caracteriza-se por ser uma área com uma grande extensão de Cerrado preservado, com presença de unidades de conservação estaduais e federais (SANTANA, 2013). Já o município de São Miguel do Araguaia possui extensas áreas de pastagens cultivadas. A produção de carne bovina constitui-se na base de sustentação econômica do município (SOUZA et al., 2006; RODRIGUES e MIZIARA, 2008). Portanto, esses quatro municípios foram selecionados por serem representativos de quatro grandes grupos de paisagens naturais e antrópicas atualmente encontradas no Cerrado: agricultura consolidada e altamente tecnicizada; agricultura em frente de expansão da fronteira agrícola; pecuária extensiva; e predomínio de remanescentes de cobertura vegetal natural.

Na Figura 2.2, são apresentadas as composições coloridas 4R5G2B das imagens do RapidEye de áreas representativas dos quatro municípios selecionados para fins de ilustração. Nessa composição, os remanescentes de Cerrado aparecem com coloração esverdeada enquanto as áreas agrícolas (culturas e pastagens cultivadas) apresentam coloração magenta ou esbranquiçada. Na Figura 2.2a, correspondente ao município de Jataí, percebe-se que há poucos fragmentos de vegetação natural, concentrados principalmente nas bordas das chapadas e ao longo das drenagens. O restante está ocupado por culturas agrícolas. Na Figura 2.2b, correspondente ao município de Luís Eduardo Magalhães, os remanescentes da vegetação natural ocorrem em manchas e ao longo das drenagens, podendo-se inferir que essa vegetação refere-se às Reservas Legais e às Áreas de Preservação Permanente das respectivas fazendas encontradas nessa região. Já as áreas antropizadas evidenciam plantio intensivo de

cultura. A Figura 2.2c, que está inserida no município de Mateiros, mostra uma paisagem diferente, onde o Cerrado encontra-se em bom estado de conservação, podendo ser encontrado em abundância nas chapadas, vales e rios. A Figura 2.2d, relativa ao município de São Miguel do Araguaia, mostra feições de vegetação fragmentadas, distribuídas de forma esparsa em meio a áreas de pastagens cultivadas.

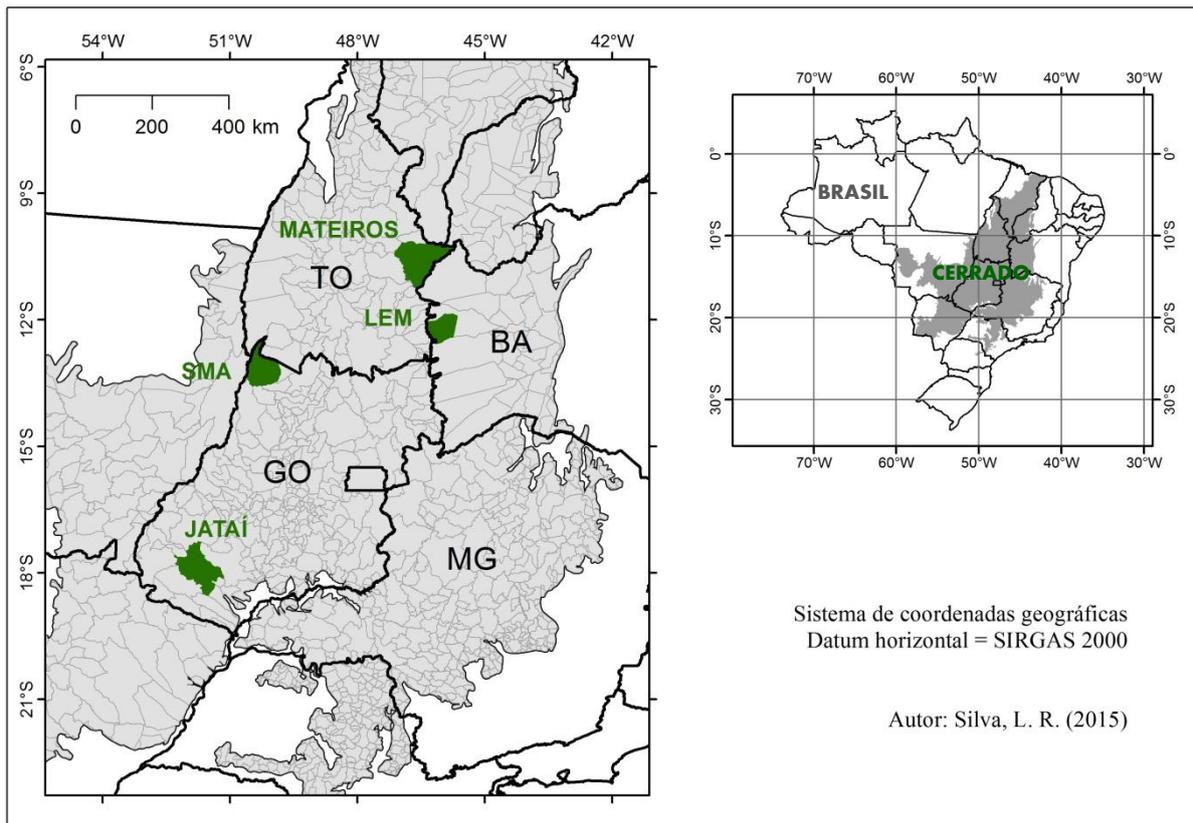


Figura 2.1 – Mapa de localização das áreas de estudo no bioma Cerrado. LEM = Luís Eduardo Magalhães. SMA = São Miguel do Araguaia.

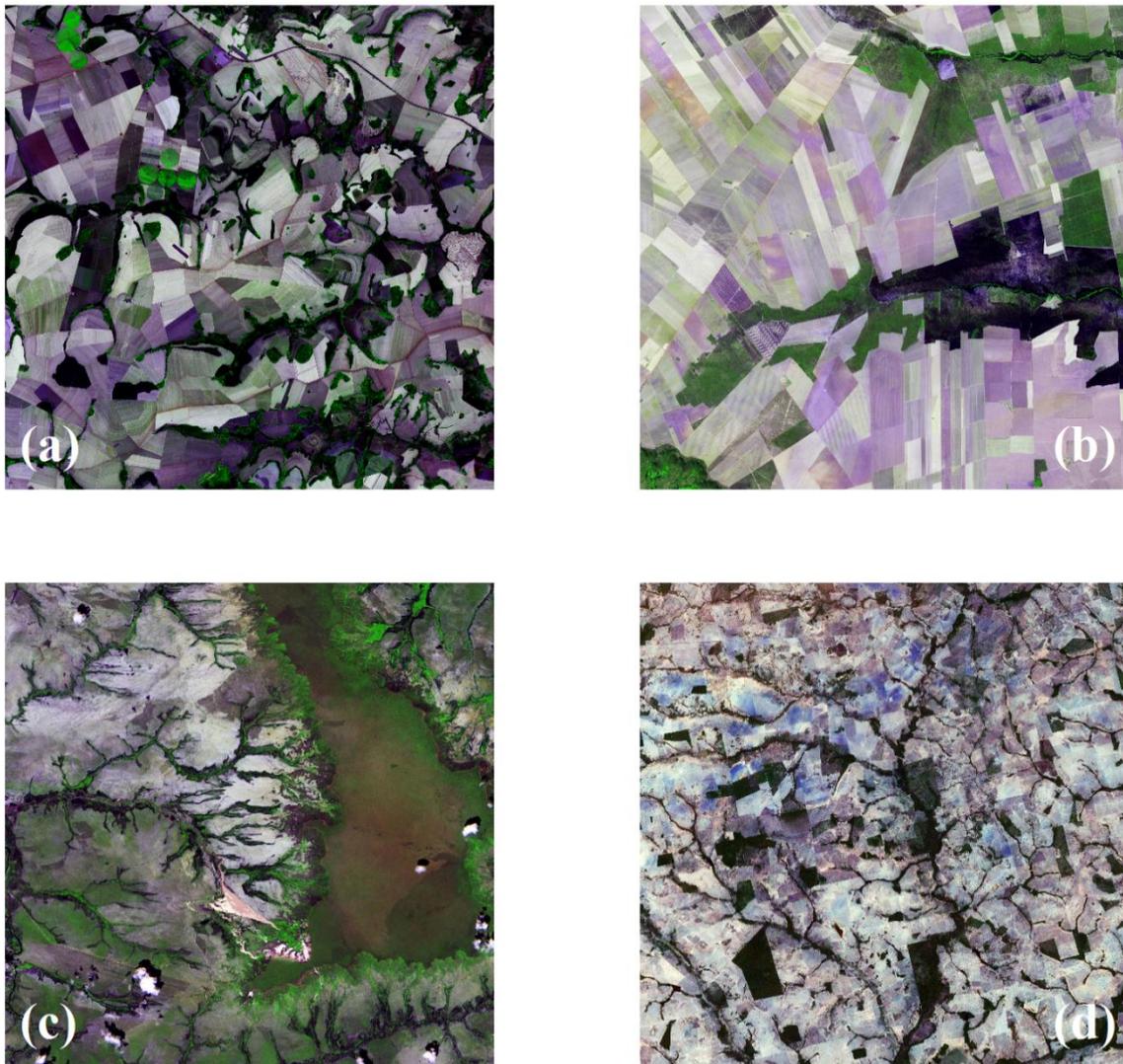


Figura 2.2 – Composições coloridas RGB 4R5G2B do satélite RapidEye dos municípios da área de estudo. (a) Município de Jataí/GO, data da imagem: 31/08/2012; (b) Município de Luís Eduardo Magalhães/BA, data da imagem: 06/09/2012; (c) Município de Mateiros/TO, data da imagem: 30/12/2012; e (d) Município de São Miguel do Araguaia/GO, data da imagem: 07/09/2012.

2.2 Aspectos fisiográficos e climáticos

Segundo o mapeamento de solo feito pelo (EMBRAPA, 2011), os municípios estudados têm predominância de diferentes tipos de Latossolo: Latossolo Roxo distrófico e eutrófico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico; e Latossolo Vermelho Escuro distrófico

(Figura 2.3). De fato, a maioria dos solos da região do Cerrado são os Latossolos, cobrindo 46% da área. Esses solos apresentam uma coloração que varia do vermelho ao amarelo, são profundos, bem drenados na maior parte do ano, apresentam acidez elevada, toxidez de alumínio e são pobres em nutrientes (ADÁMOLI et al., 1987; RAMOS, 2010). Estes solos apresentam ainda, como condições favoráveis para agricultura, grande profundidade efetiva, topografia aplainada, além de estarem presentes em boas condições climáticas regionais, em termos de precipitação média anual. Os Cambissolos ocorrem em áreas de relevo movimentado e apresentam pouca utilidade para as atividades agropecuárias. Os Cambissolos têm, como principais limitações para agricultura, a baixa fertilidade natural, a textura extremamente arenosa, e a baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (EMBRAPA, 2014).

O município de Jataí destaca-se pela mancha relativamente extensa de Latossolo Roxo distrófico e eutrófico (Figura 2.3a), enquanto nos municípios de Luís Eduardo Magalhães (Figura 2.3b) e São Miguel do Araguaia (Figura 2.3d), predominam o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Em Mateiros, destaca-se os Solos Arenoquartzosos profundos e Cambissolo distrófico (Figura 2.3c).

A região central do Cerrado situa-se em altitudes que variam de 300 m a 1.700 m. As formas de terreno são, em sua maioria, similares tanto nas áreas de solos cristalinos aplainados como nas áreas sedimentares mais elevadas, transformadas em planaltos típicos (AB'SÁBER, 2003). Segundo os modelos digitais de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (SRTM, 2015), os municípios estudados possuem altitudes que variam de 220 m a 1.110 m (Figura 2.4). Os municípios que apresentam altitudes mais altas são Jataí (Figura 2.4a) e Luís Eduardo Magalhães (Figura 2.4b) (elevações > 660 m). As altitudes mais baixas foram observadas em Mateiros (Figura 2.4c; elevações < 660 m) e São Miguel do Araguaia (Figura 2.4d; elevações < 440 m).

O clima é marcado por duas estações bem definidas: uma seca, que ocorre no outono/inverno, de maio a setembro, outra chuvosa, que ocorre na primavera/verão, de outubro a abril (BASTOS e FERREIRA, 2012). Curtos períodos de seca (regra geral, 2 a 20 dias), chamados de veranicos, podem ocorrer em meio a esta estação chuvosa, causando

perdas na produtividade agrícola (CARVALHO et al., 2000; 2013). No período de maio a setembro, os índices pluviométricos mensais reduzem-se bastante, podendo chegar a zero. Disso resulta uma estação seca de três a cinco meses de duração no início deste período. A ocorrência de nevoeiros é comum nas primeiras horas das manhãs, formando grande quantidade de orvalho sobre as plantas, umedecendo o solo. Já no período da tarde, os índices de umidade relativa caem bastante, podendo atingir valores inferiores a 15%, sobretudo nos meses de julho a agosto (WARMING, 2002).

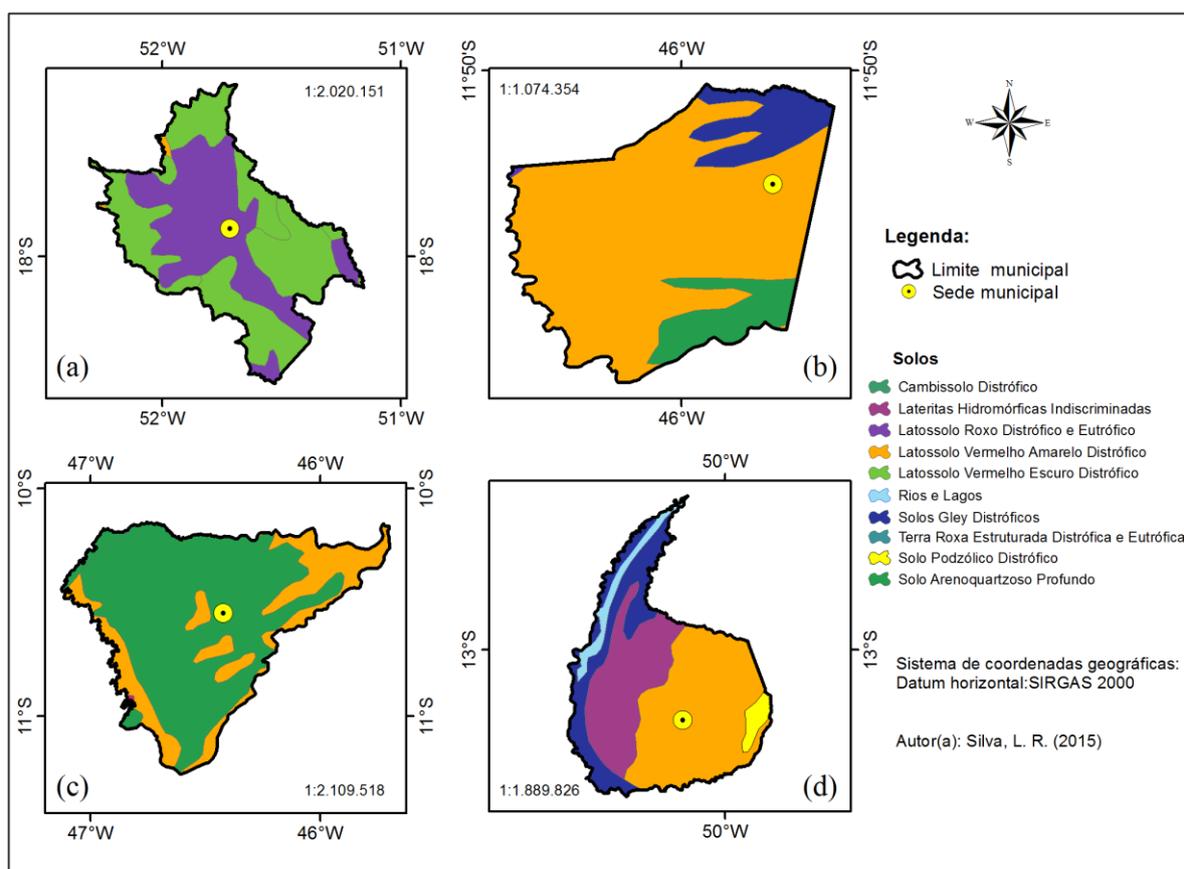


Figura 2.3 – Distribuição das principais classes de solos nos municípios de Jataí (a), Luís Eduardo Magalhães (b), Mateiros (c) e São Miguel do Araguaia (d). Fonte: EMBRAPA (2011).

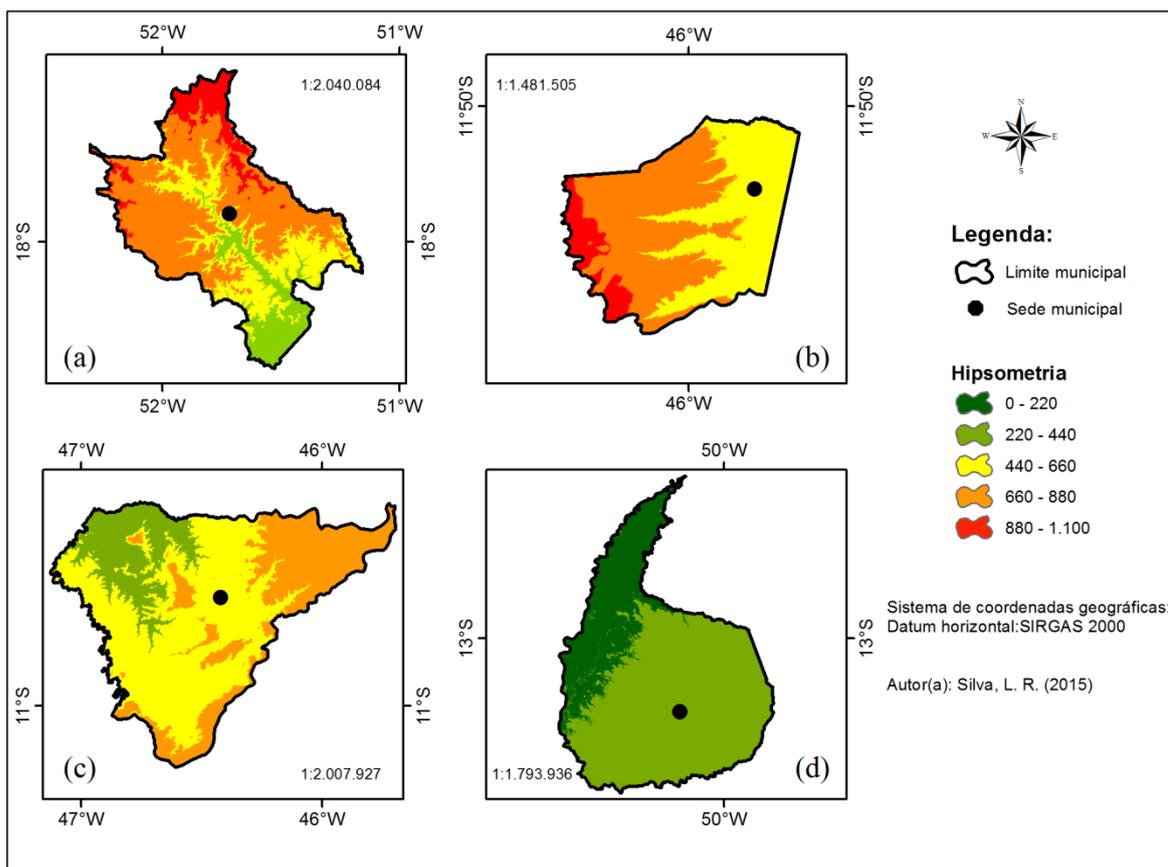


Figura 2.4 – Hipsometria nos municípios de Jataí (a), Luís Eduardo Magalhães (b), Mateiros (c) e São Miguel do Araguaia (d). Fonte: SRTM (2015).

Alvares et al. (2013) conduziram uma reclassificação climática para todo o Brasil com intuito de aperfeiçoar o mapa climático de Köppen. Foram utilizadas e processadas 2.950 estações meteorológicas como fontes de dados de precipitação. Estas estações pluviométricas têm a série de dados temporal (> 25 anos, entre 1950 e 1990). O mesmo período foi considerado para a média dados mensais de temperatura, a partir de 2.400 estações meteorológicas.

Segundo dados de Alvares et al. (2013) dos anos de 1950 a 1990, a média mensal dos municípios estudados possui padrão similar em termos de regime de precipitação mensal, ou seja, os meses que variam de novembro a abril concentram a estação chuvosa e a seca concentra-se nos meses de maio a outubro. Percebe-se ainda que o regime de chuvas em Mateiros é o menor em relação aos demais municípios. Nos meses de julho e agosto, os níveis

de chuva chegam perto de zero em Luís Eduardo Magalhães, Mateiros e São Miguel do Araguaia (Figura 2.5).

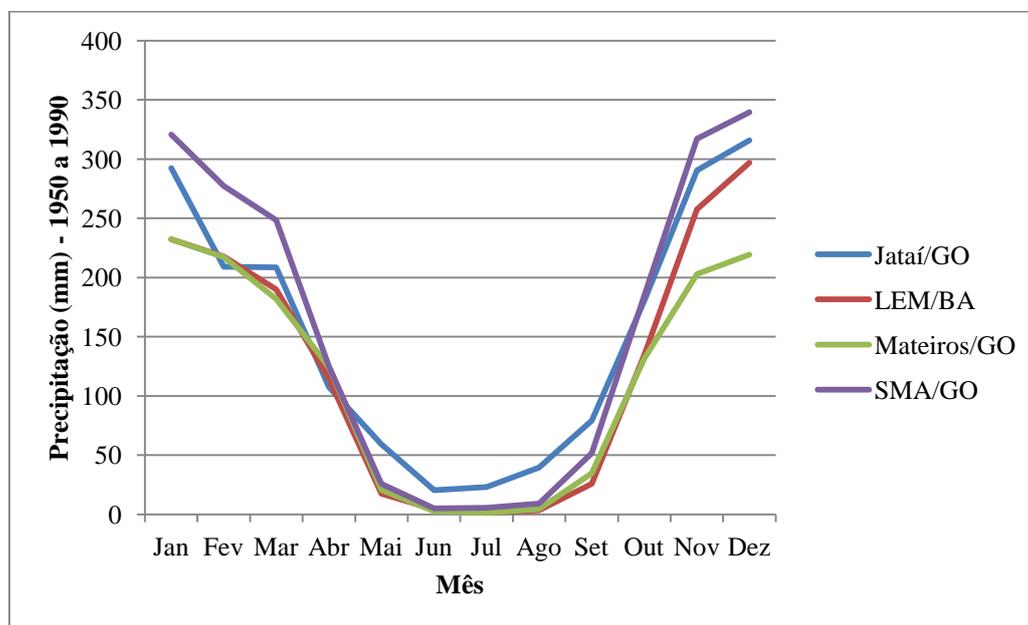


Figura 2.5 – Precipitação mensal nos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães (LEM), Mateiros e São Miguel do Araguaia (SMA). Fonte: Alvares et al. (2013).

O clima predominante no domínio do Cerrado é o tropical sazonal, de inverno seco (WARMING, 2002). As temperaturas mais elevadas do Cerrado são encontradas nos estados do Maranhão e Piauí, variando de 23 °C a 27 °C. As temperaturas mais baixas são encontradas na parte centro-sul do bioma, mais precisamente nos estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, com temperaturas entre 18 °C a 22 °C (SILVA et al., 2008). Segundo dados históricos de Alvares et al. (2013), a temperatura média dos municípios estudados variam em torno de 19°C a 28°C (Figura 2.6). As temperaturas mais baixas são encontradas no município de Jataí e Luís Eduardo Magalhães, enquanto os municípios que possuem as temperaturas mais elevadas são Mateiros e São Miguel do Araguaia.

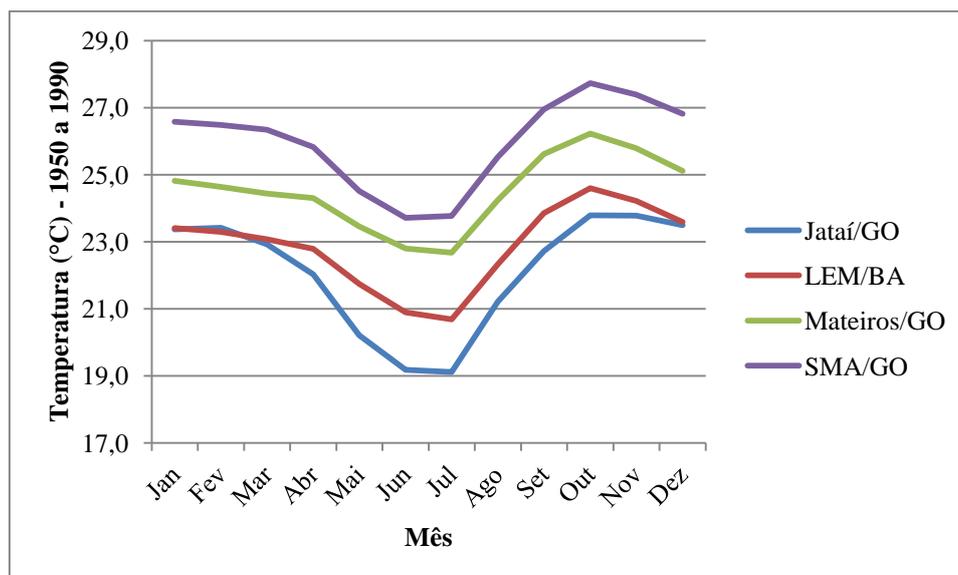


Figura 2.6 – Temperatura média nos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães (LEM), Mateiros e São Miguel do Araguaia (SMA). Fonte: Alvares et al. (2013).

2.3 Cobertura vegetal natural e uso antrópico

2.3.1 Cobertura vegetal natural

De forma geral, o Cerrado é constituído por formações florestais, savânicas e campestres. Segundo Ribeiro e Walter (2008), os critérios adotados para diferenciar os tipos fitofisionômicos são baseados na forma (definida pela estrutura), pelas formas de crescimento dominantes e possíveis mudanças estacionais. Posteriormente, consideram-se aspectos do ambiente e da composição florística. São descritos onze tipos principais de vegetação para o bioma, conforme detalhado na Figura 2.7, enquadrados nas formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque do Cerrado, Palmeral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre).

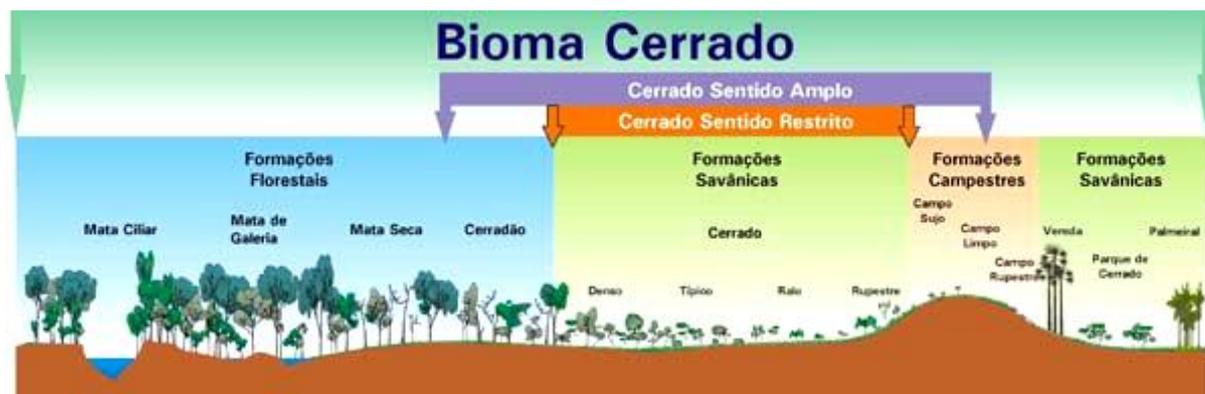


Figura 2.7 - Estrutura das formações vegetais do Cerrado. Fonte: Ribeiro e Walter (2008).

As formações florestais representam áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel contínuo. Entende-se por Mata Ciliar a vegetação florestal que acompanha rios de médio e grande porte da área de Cerrado, sem a formação de galerias. Essa mata é estreita, não ultrapassando 100 metros de largura de cada margem do curso d'água. É comum que a largura de cada margem seja proporcional a largura do leito do rio, apesar de que, em áreas planas a largura possa alcançar tamanho maior. A Mata de Galeria é uma vegetação florestal que acompanha rios de pequeno porte formando corredores fechados sobre o curso d'água, conhecido também como galerias. A altura média do estrato arbóreo varia de 20 m a 30 m, tendo uma superposição de copas, fornecendo cobertura arbórea de 70% a 95%. A Mata Seca não tem associação com cursos d'água, apresentando altos níveis de caducifolia durante a estação seca. A Mata Seca pode ser encontrada em solos em rochas básicas (alta fertilidade), em Latossolos Roxo (média fertilidade) e solos de origem calcária. Já o Cerradão apresenta dossel contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50% a 90%. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 m a 15 m. Os solos do Cerradão são profundos, bem drenados, de média e baixa fertilidade, pertencentes às classes Latossolos Vermelho ou Latossolo Vermelho-Amarelo.

As formações savânicas referem-se a áreas com árvores e arbustos espaçados sobre gramíneas. O sentido restrito caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, frequentemente com evidências de queimada. Os arbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos e perenes (xilopódios), que permitem a rebrota após a queimada. Na época chuvosa os estratos subarbustivos e herbáceos tornam-se exuberantes por conta do seu rápido

crescimento. O Parque de Cerrado é uma formação savânica caracterizada pela presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno algumas vezes imperceptíveis e outras com grande destaque, que são conhecidas como “murundus” ou “monchões”. As árvores possuem altura média de 3m a 6m, formando uma cobertura arbórea de 5% a 20%. A fitofisionomia denominada Palmeiral é caracterizada pela presença de uma única espécie de palmeira arbórea. Praticamente não há destaque das árvores dicotiledôneas (plantas com flor), entretanto podem ocorrer em baixa frequência. Por fim, a Vereda é a fitofisionomia com a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa*, conhecido como buriti, em meio a agrupamento relativamente denso de espécies arbustivo-herbáceas. As Veredas são cercadas por campos típicos, geralmente úmidos, onde os buritis não formam dossel.

As formações campestres designam áreas com predomínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas. O Campo Sujo é um tipo exclusivamente arbustivo-herbáceo, com arbustos e subarbustos esparsos. Muitas vezes são constituídos por indivíduos menos desenvolvidos. O Campo Limpo é uma fitofisionomia predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores. Pode ser encontrado em diversas posições topográficas, com diferentes variações de grau de umidade, profundidade e fertilidade do solo. Contudo, é encontrado com mais frequência nas encostas, nas chapadas, nos olhos d’água, circundando as Veredas e nas bordas das Matas de Galeria. Já o Campo Rupestre é um tipo fitofisionômico predominantemente herbáceo-arbustivo, com presença de arvoretas pouco desenvolvidas de até dois metros de altura. Ocupam áreas de afloramentos rochosos. Geralmente, essa fitofisionomia ocorre em altitudes superiores a 900 m.

Na Figura 2.8, são ilustrados, por meio de fotografias digitais, as diferentes formações vegetacionais do Cerrado que foram encontrados em campanhas de campo realizadas em 2013 e 2014. Nos municípios estudados, foram encontradas as seguintes fitofisionomias naturais: formação campestre em Mateiros; formação savânica em todos os quatro municípios; e formação florestal em Jataí e São Miguel do Araguaia.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 2.8 - Fotografias panorâmicas de campo ilustrando as classes de cobertura vegetal natural representativas da área de estudo: formação campestre (a); formação savânica (b), (c), (d) e (e); e formação florestal (f) e (g).

2.3.2 Uso antrópico

Depois da Mata Atlântica, o Cerrado é o bioma brasileiro que mais sofreu alterações com a ocupação humana. Com a crescente pressão para a abertura de novas áreas, visando aumentar a produção de carne e grãos para exportação, houve um progressivo consumo dos recursos naturais da região. Nas três últimas décadas, o Cerrado vem sendo degradado pela ampliação da fronteira agrícola brasileira (MACHADO, 2004; KLINK e MACHADO, 2005; BRANNSTROM et al., 2007), tendo inclusive alcançado recentemente taxas de desmatamento mais altas que a Amazônia (SOARES-FILHO et al., 2014).

O Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), coordenado pelo MMA e executado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), vem, desde 2008, monitorando o desmatamento anual da cobertura vegetal natural dos biomas Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. Com esses levantamentos, o MMA vem obtendo dados oficiais sobre o desmatamento dos biomas extra-amazônicos, o que serve de subsídio para elaboração de políticas públicas para redução do desmatamento (IBAMA, 2014). Segundo dados do PMDBBS, o desmatamento acumulado de 2002 até 2011 no bioma Cerrado evidenciou que, ao longo desse período, a área desmatada cresceu de forma gradual nos municípios estudados. Ressalta-se que Mateiros ficou em quinto lugar na lista dos municípios que mais desmataram no Cerrado entre 2010 e 2011. Na Figura 2.9, são mostrados os totais de desmatamentos nos quatro municípios, no período de 2008 a 2011. Mateiros/TO novamente destaca-se pelo nível elevado de desmatamento: total de 163 km² no referido período.

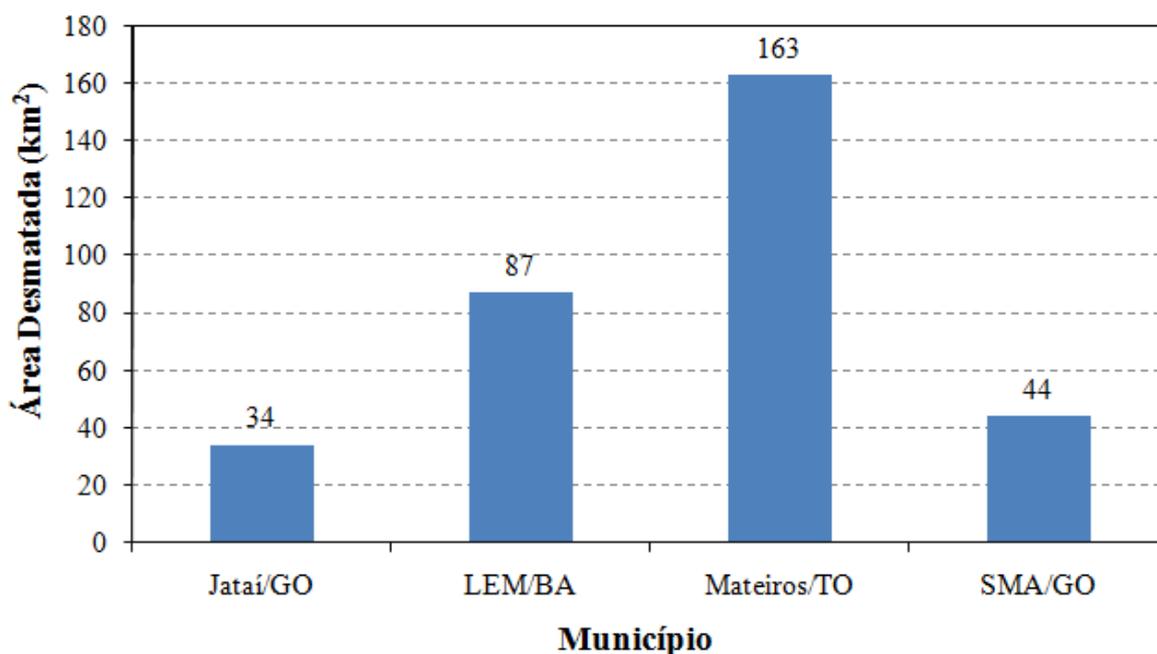


Figura 2.9 – Desmatamento acumulado (km²) no período de 2008 a 2011 nos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães (LEM), Mateiros e São Miguel do Araguaia (SMA). Fonte: (IBAMA, 2014).

O Estado do Tocantins, onde o município de Mateiros está inserido, apresentou o segundo maior índice de desmatamento no período entre 2009 e 2010 (IBAMA, 2011). Em Goiás, onde estão inseridos os municípios de Jataí e São Miguel do Araguaia, único Estado quase que totalmente inserido nos domínios no bioma Cerrado, a ocupação antrópica tem sido intensa. Dados do projeto Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás (PDIAP) indicaram uma conversão da cobertura vegetal nativa da ordem de 65% (SANO et al., 2008). No Oeste da Bahia, onde o município de Luís Eduardo Magalhães está inserido, existiu um intenso processo de desmatamento para ampliar as áreas dominantes do agronegócio de grãos, que está provocando alterações no sistema hídrico e biológico, bem como no ordenamento espacial (MENKE et al., 2009; VALE e REIS, 2012).

Na Figura 2.10, são ilustradas, por meio de fotografias digitais, as diferentes classes de cobertura antrópica que foram encontrados em campanhas de campo realizadas em 2013 e 2014. Nos municípios estudados, foram encontradas as seguintes classes de uso antrópico: plantio de cana-de-açúcar, milho e pastagem em Jataí; plantio de algodão, soja e milho em

Luís Eduardo Magalhães; plantio de soja em Mateiros; e pastagem em São Miguel do Araguaia.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 2.10 - Fotografias panorâmicas de campo ilustrando as classes de uso antrópico representativas da área de estudo: plantio de cana-de-açúcar (a), milho (b) e pastagem (c) em Jataí; plantio de algodão (d), soja (e) e milho (f) em LEM; plantio de soja (g) em Mateiros; e pastagem (h) em São Miguel do Araguaia.

CAPÍTULO 3

RAPIDEYE

3.1 Características de Imageamento

O RapidEye refere-se a uma constelação de cinco satélites que contêm sensores idênticos que estão no mesmo plano orbital e são calibrados igualmente (Figura 3.1). Isto significa que uma imagem obtida por um satélite RapidEye será idêntica em termos de características de imageamento em relação aos outros quatro satélites (KRISCHKE et al., 2000; BLACKBRIDGE, 2013).

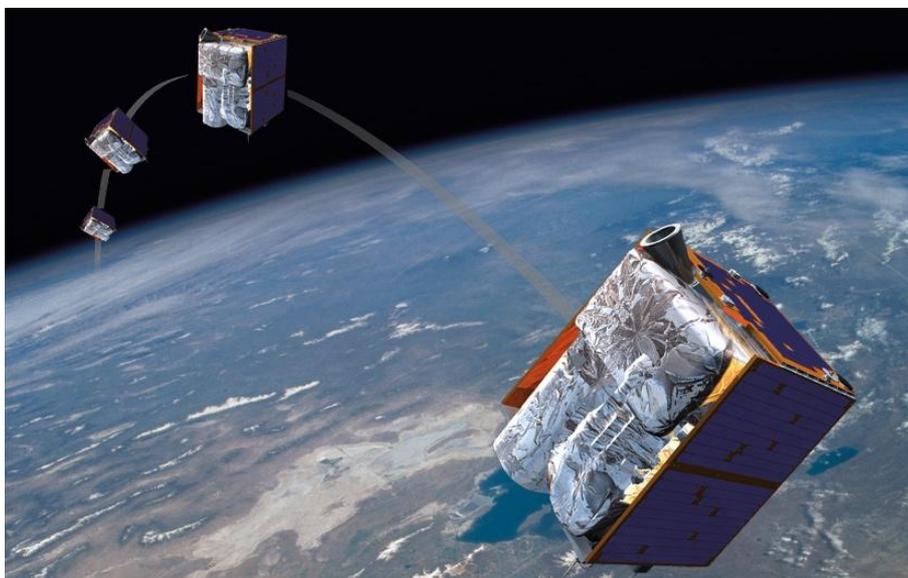


Figura 3.1 – Ilustração da constelação de satélites RapidEye em um mesmo plano orbital.
Fonte: <http://gs.mdacorporation.com/SatelliteData/Rapideye/Rapideye.aspx>.

Cada satélite mede menos de um metro cúbico, pesa 150 kg e foi projetado para uma vida útil mínima de sete anos (BLACKBRIDGE, 2013). Efetua 15 voltas por dia em torno do planeta e os sensores a bordo dos satélites podem coletar imagens sobre a superfície da Terra ao longo de uma faixa de 77 km de largura por até 1.500 km de extensão (FELIX et al., 2009). O sensor RapidEye adquire os dados de imagem em cinco bandas espectrais diferentes, resolução espacial ortorretificada de 5 m (Tabela 3.1). A faixa espectral varia de 440 a 850 nm (TYC et al., 2005).

Tabela 3.1 – Especificações técnicas dos satélites do sistema RapidEye.

Parâmetros	Especificações
Número de satélites	5
Altitude da órbita	630 km, órbita síncrona com o Sol
Hora de passagem no equador	11:00hs (aproximadamente)
Velocidade	27.000 km/h
Largura da imagem	77 km
Tempo de revisita	Diária (off-nadir); 5,5 dias (nadir)
Capacidade de coleta	4,5 milhões de km ² /dia
Sensor	REIS
Tipo de sensor	Multiespectral (sistema <i>pushbroom</i>) / Eletrônico
Bandas espectrais	B1: Azul (440 – 510 nm) B2: Verde (520 – 590 nm) B3: Vermelho (630 – 685 nm) B4: <i>Red-edge</i> (690 – 730 nm) B5: Infravermelho próximo (760- 850 nm)
Resolução espacial (nadir)	6,5 m
Tamanho do pixel (ortorretificado)	5 m
Armazenamento de dados a bordo	1.500 km de dados de imagens por órbita
Resolução radiométrica	12 bits
Velocidade de download (banda X)	80 Mbps

Fonte: Adaptado de Felix et al.(2009).

No início de 2009, o sistema alemão RapidEye se tornou o primeiro satélite multiespectral a obter imagens na faixa espectral denominada *red-edge*, centrada entre vermelho e o infravermelho próximo (BLACKBRIDGE, 2012). Posteriormente, foi seguido pelo satélite WorldView-2, lançado em 2010. O satélite Sentinel-2, com lançamento previsto para abril de 2015, também terá uma banda nessa faixa espectral. O posicionamento da banda *red-edge* no espectro eletromagnético coincide com o aumento brusco de reflectância da vegetação verde na faixa de transição entre o vermelho e o infravermelho próximo (SCHUSTER et al., 2012). No vermelho, a vegetação verde absorve a radiação

eletromagnética incidente para realizar fotossíntese, enquanto no infravermelho próximo, a estrutura celular da folha produz uma forte reflexão (Figura 3.2). Portanto, as variações, tanto no conteúdo de clorofila como na estrutura da folha, relacionadas com diferentes classes de vegetação, podem ser registradas mais apropriadamente por sensores que possuem bandas nessa faixa espectral (BLACKBRIDGE, 2012). Antunes e Siqueira (2013), ao analisarem imagens RapidEye da região de Seropédica/RJ, concluíram que essas imagens permitem mapeamentos cartográficos classificados como Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A, escala 1:20.000, conforme Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

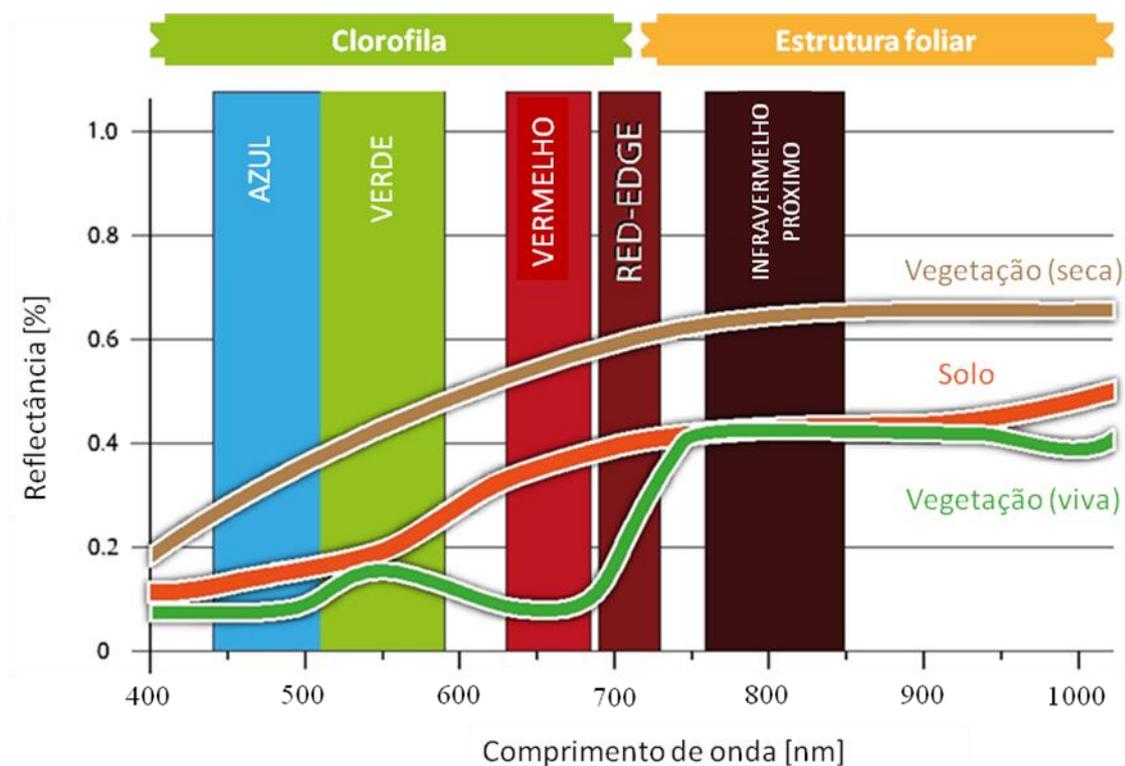


Figura 3.2 – Comportamento espectral representativo de vegetação verde, vegetação seca e solo nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo, com destaque para a banda do *red-edge*, colocada, pela primeira vez, em um sensor orbital e multiespectral, pelo satélite alemão RapidEye. Fonte: adaptado de BlackBridge (2012).

3.2 Aplicações

O conhecimento da distribuição da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, produção mineral e áreas urbanas se tornou de suma importância aos legisladores e

planejadores dos recursos terrestres, levando à necessidade de atualização dos dados. Nesse sentido, os dados de sensoriamento remoto estão sendo muito utilizados no mapeamento de recursos naturais (ARAGÃO e ALMEIDA, 2009). A classificação de uso e cobertura de terras tem-se constituído em um dado imprescindível no monitoramento da qualidade ambiental e da produtividade da terra (BLACKBRIDGE, 2012).

O satélite RapidEye foi inicialmente concebido para atender principalmente às necessidades de monitoramento agrícola, incluindo-se as áreas agrícolas pouco extensas da Europa (KRISCHKE et al., 2000; TAPSALL et al., 2010). A periodicidade dos satélites até então existentes (~ 15 dias, por exemplo, satélite Landsat) não eram suficientes para monitorar todo o ciclo da cultura agrícola, em torno de 120 dias aproximadamente. O satélite Landsat, por exemplo, apresenta algumas características que podem dificultar um monitoramento ideal: é necessário um conjunto de oito cenas para monitorar todo o ciclo da cultura, e também podem ocorrer problemas de cobertura de nuvens que limitam a área útil da imagem (RUDORFF e SUGAWARA, 2007; SANO et al., 2007). Outra limitação é a resolução espacial dos satélites existentes (24 – 30 metros, por exemplo, satélites Resourcesat-1e Landsat), uma vez que, ao contrário de países continentais como Brasil e Estados Unidos, as áreas agrícolas são notadamente menos extensas na Europa. Ao lançar uma constelação de cinco satélites em uma mesma órbita e com as mesmas características de imageamento, conseguiu-se uma combinação de alta resolução temporal e espacial.

A disponibilização de imagens ortorretificadas, isto é, com georreferenciamento e com correção topográfica em uma grade regular de 25 km x 25 km e tamanho de pixel de 5 metros despertou interesse em outra área de aplicação: monitoramento da ocupação humana a nível continental. A China passou a adquirir cenas do RapidEye em base anual e em parte expressiva do seu território até que, em 2012, o Brasil, por intermédio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), passou a ser o principal país comprador de imagens RapidEye. O objetivo dessa compra foi subsidiar as atividades previstas no Cadastro Ambiental Rural (CAR), criado no âmbito do Novo Código Florestal Brasileiro (Lei no. 12.651 de 25 de maio de 2012).

O CAR visa auxiliar o processo de regularização ambiental de propriedades rurais e

consiste na delimitação de limites de cada imóvel rural, assim como as Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, de modo a permitir o diagnóstico e monitoramento ambiental a nível de propriedade (MMA, 2015; <http://www.mma.gov.br/desenvolvimento-rural/cadastro-ambiental-rural>). O Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) permitirá o georreferenciamento e monitoramento de mais de 5 milhões de propriedades rurais (SOARES-FILHO et al., 2014). Para facilitar essa regularização ambiental, o MMA está disponibilizando um sistema de consulta às imagens mosaicadas do RapidEye de todo o território nacional. Além disso, essas imagens estão sendo disponibilizadas para outros ministérios como MDA (Ministério do Desenvolvimento Agrário), MINT (Ministério da Integração) e MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) e instituições vinculadas, secretarias estaduais de meio ambiente, universidades e institutos de pesquisa, mediante assinatura de termo de acesso às imagens e para fins não-lucrativos.

Vários estudos utilizando bandas espectrais originais do RapidEye e seus diferentes índices de vegetação têm sido conduzidos na discriminação de diferentes classes de cobertura vegetal e estimativa de parâmetros vegetacionais. Existe, na comunidade científica, uma grande expectativa do desempenho da banda *red-edge* nas aplicações acima mencionadas. No estudo conduzido por Eitel et al. (2011), as imagens obtidas na banda do *red-edge* foram capazes de detectar estresse induzido em florestas de coníferas mais precocemente do que as outras bandas convencionais do RapidEye. Outros estudos incluem a análise dos dados do RapidEye na estimativa de biomassa e nitrogênio em áreas de pastagens (RAMOELO et al., 2012), de índice de área foliar (IAF) em florestas subtropicais de terra firme (BECKSCHAFER et al., 2014), de IAF e conteúdo de clorofila de culturas agrícolas (HABOUDANE et al., 2004; VUOLO et al., 2010), mapeamento de aroeiras (OLIVEIRA et al., 2013) e classificação da cobertura vegetal presente nos arredores de Berlim, Alemanha (SCHUSTER et al., 2012).

A maioria desses estudos destacou o alto desempenho da banda do *red-edge* em relação às bandas convencionais, convertidas ou não para diferentes índices de vegetação disponíveis na literatura. Entretanto, em um recente estudo, Kross et al. (2015) afirmaram que índices de vegetação baseados na banda *red-edge* não trouxeram nenhuma contribuição significativa sobre os índices tradicionais na estimativa de IAF e biomassa de soja e milho.

Este fato indica que o desempenho não só da banda do *red-edge*, mas também de outras bandas espectrais do RapidEye, processadas ou não para índices de vegetação, pode ser dependente das características do alvo e do terreno.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas do desenvolvimento deste trabalho encontram-se sintetizadas no fluxograma metodológico apresentado na Figura 4.1. Elas são compostas basicamente pelas seguintes atividades: seleção e pré-processamento das imagens RapidEye; campanhas de campo; análise estatística das imagens RapidEye com suporte de dados de campo; segmentação e classificação semi-automática das imagens RapidEye; e validação da classificação.



Figura 4.1 – Fluxograma das principais etapas de trabalho.

4.1 Imagens RapidEye: seleção e pré-processamento

Foram selecionadas imagens RapidEye disponíveis no geocatálogo do Ministério de Meio Ambiente (MMA) para as quatro áreas de estudo consideradas (municípios de Jataí/GO, Luís Eduardo Magalhães/BA, Mateiros/TO e São Miguel do Araguaia/GO – vide descrição das áreas de estudo no Capítulo 2). Desde 2012, o MMA vem adquirindo coberturas do território nacional com imagens do satélite RapidEye, compostas de ~ 7.500 cenas ortorretificadas com menos de 20% de cobertura de nuvens, nível de processamento 3A, tamanho de pixel de 5 metros, sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e datum WGS 84 (MMA, 2015).

Essas imagens estão sendo adquiridas basicamente para atender às necessidades do Cadastro Ambiental Rural (CAR) do MMA, mas estão sendo disponibilizadas para outras instituições públicas federais e estaduais de ensino e pesquisa, além de secretarias estaduais de meio ambiente, mediante assinatura de termo de acesso às imagens. Foram selecionadas, no geocatálogo do MMA, 27 cenas obtidas em 2012 para o município de Jataí/GO, 15 cenas para o município Luís Eduardo Magalhães/BA, 30 cenas para o município de Mateiros/TO e 22 cenas para ao município de São Miguel do Araguaia/GO (Figura 4.2).

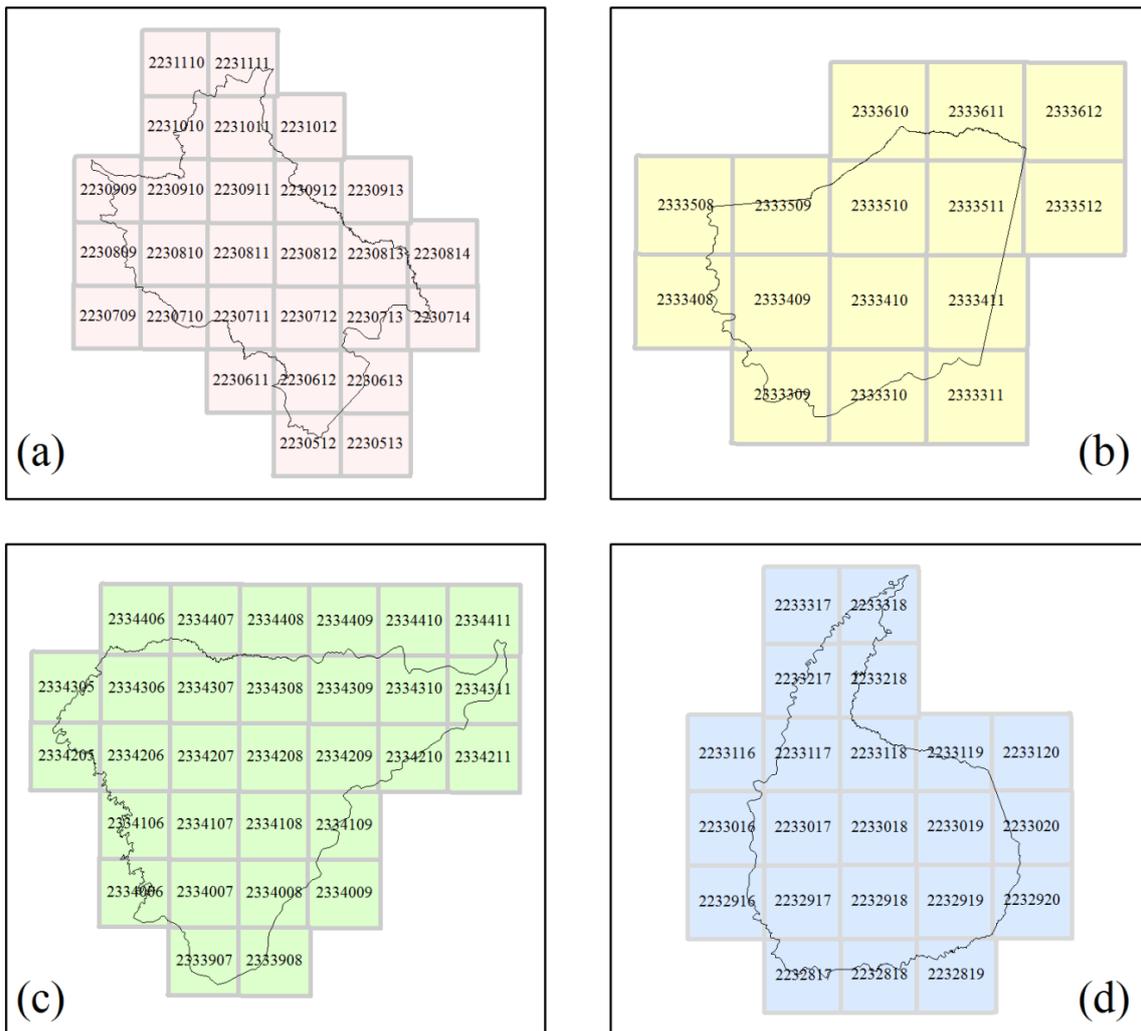


Figura 4.2 – Identificação das cenas ortorretificadas do satélite RapidEye que cobrem os municípios de Jataí/GO (a), Luís Eduardo Magalhães/BA (b), Mateiros/TO (c) e São Miguel do Araguaia/GO (d). Cada cena cobre uma área de 25 km x 25 km no terreno.

Os valores digitais em 12 bits das imagens RapidEye foram convertidos para reflectância no topo da atmosfera. A primeira etapa desse procedimento é a conversão dos valores digitais dos pixels para radiância no nível do sensor, a qual é obtida multiplicando-se os valores digitais originais por um fator de escala radiométrica, conforme formulação matemática abaixo (BLACKBRIDGE, 2013):

$$RAD = VD * FE \quad (4.1)$$

onde RAD = radiância no nível do sensor (unidade de medida = W.m⁻².sr.µm); VD = valor digital original; e FE = fator de escala radiométrica = 0,01.

A segunda etapa é a conversão da radiância no nível do sensor para reflectância no topo da atmosfera (ρ_{TOA}), obtida considerando-se a distância entre o Sol e a Terra e a geometria da radiação solar incidente (Eq. 4.2).

$$\rho_{TOA} = RAD(i) \frac{\pi * SunDist^2}{EAI(i) * \cos (SolarZenith)} \quad (4.2)$$

onde: i = banda espectral; RAD = valor da radiância no nível do sensor; $SunDist$ = distância Terra-Sol em unidade astronômica (depende do dia, varia de 0,983289 UA a 1,016710 UA, onde UA = unidade astronômica); EAI = irradiância exo-atmosférica; e $SolarZenith$ = ângulo zenital solar em graus (90° - ângulo de elevação solar). Nesse estudo, a distância Terra-Sol considerada foi de 1 UA. Na Tabela 4.1, são mostrados os valores de EAI utilizados nesse estudo.

Tabela 4.1 – Valores de irradiância exo-atmosférica (EAI) utilizados nesse estudo para conversão de valores de radiância no nível do sensor para reflectância no topo da atmosfera.

Banda Espectral	EAI (W.m ⁻² .µm)
B1	1997,8
B2	1863,5
B3	1560,4
B4	1395,0
B5	1124,4

Os valores de ângulo zenital e distância Terra-Sol estão disponíveis no cabeçalho das imagens, no arquivo identificado como metadata.xml. Os valores de irradiância exo-atmosférica (EAI) foram disponibilizados pelas especificações técnicas da BlackBridge (2013). A conversão para radiância e reflectância foi realizada no programa estatístico *R Core Team* (2013) e pacote *Raster* (HIJMANS, 2014).

4.2 Trabalhos de campo

Trabalhos de campo foram conduzidos em cada um dos municípios selecionados para identificação das classes de cobertura vegetal natural e antrópica representativas de cada área de estudo. Foram selecionados, no laboratório, pontos nas imagens com distintos padrões espectrais para verificação e caracterização no campo em termos de fitofisionomia de Cerrado seguindo a padronização de Ribeiro e Walter (2008) ou em termos de tipo de uso agrícola. Os seguintes dados foram coletados nessas campanhas de campo: tipo de cobertura vegetal natural ou antrópica; fotografias digitais panorâmicas; e coordenadas GPS com GPS6 Garmin.

Foram visitados 126 pontos nos quatro municípios: 32 em Jataí e São Miguel do Araguaia; e 31 em Luís Eduardo Magalhães e Mateiros (Tabela 4.2; Figura 4.3). Desse total de pontos, 12 corresponderam a formação florestal; 41 a formação savânica; 13 a formação campestre; 34 a culturas agrícolas; e 26 a pastagens cultivadas.

Tabela 4.2 – Dados referentes às campanhas de campo realizadas nos quatro municípios considerados nesse estudo (total de pontos visitados no campo: 126). FLO = Formação florestal; SAV = Formação savânica; CAM = Formação campestre; CA = Cultura agrícola; e PC = Pastagem cultivada.

Município	Data da campanha	Pontos visitados					TOTAL
		FLO	SAV	CAM	CA	PC	
Jataí	26-28/10/2013	5	1	-	15	11	32
Luís Eduardo Magalhães	07-09/03/2014	-	15	-	16	-	31
Mateiros	15-18/03/2014	-	15	13	-	3	31
São Miguel do Araguaia	22-24/02/2014	7	10	-	-	15	32

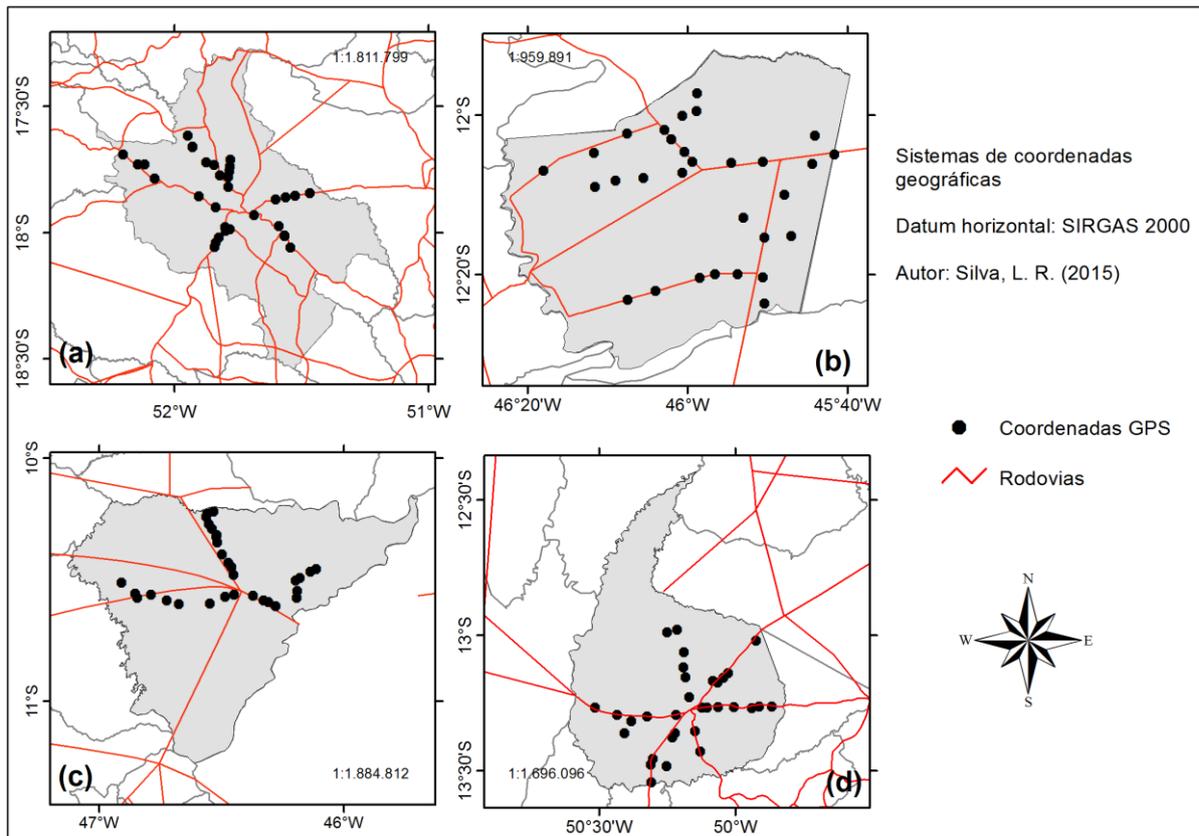


Figura 4.3 – Distribuição espacial dos pontos visitados no campo nos municípios de Jataí (a), Luís Eduardo Magalhães (b), Mateiros (c) e São Miguel do Araguaia (d).

4.3 Análise estatística

Os principais tratamentos estatísticos utilizados nesse estudo foram a análise de coeficientes de correlação de Pearson, *Optimum Index factor* (OIF), a análise de variância (ANOVA) e a análise estatística multivariada por agrupamento hierárquico (*hierarchical cluster analysis*, DILLON e GOLDSTEIN, 1984). Para identificar a melhor combinação de três bandas do RapidEye para geração de composição colorida RGB para fins de interpretação visual na tela de computador foi utilizado o OIF. O OIF é um método que utiliza o desvio padrão, correlação entre todos os pares de banda e fatorial de bandas (combinações possíveis de três bandas) para determinar a melhor combinação de bandas em uma composição colorida (KIENAST-BROWN e BOETTINGER, 2010).

$$OIF = \frac{desvpad(i) + desvpad(j) + desvpad(k)}{correl(i, j) + correl(i, k) + correl(j, k)} \quad (4.3)$$

onde desvpad= Desvio padrão; correl= Correlação; (i), (j), (k) = bandas

Foi selecionada aleatoriamente, uma cena por município: 2230810 (Jataí); 2333410 (Luís Eduardo Magalhães); 2334207 (Mateiros); e 2233018 (São Miguel do Araguaia). Para cada cena, foi considerado um conjunto de nove pixels ao longo de uma grade regular de 16 pontos x 16 pontos, com equidistância de 1,5 km (total de pontos considerados: 2.304 valores de reflectância para cada cena).

A ANOVA, que corresponde a um método estatístico que indica se há diferença significativa entre as médias de duas ou mais variáveis, foi utilizada para definir quais bandas espectrais do RapidEye possuem maior potencial para discriminar classes de cobertura vegetal do Cerrado. A análise de agrupamento, apresentada na forma de dendrograma de similaridade foi aplicada para identificar a separabilidade entre as classes de cobertura vegetal natural e antrópica consideradas nesse estudo. Na análise de agrupamento, a similaridade entre duas amostras é expressa como uma função da distância entre os dois pontos representativos destas amostras no espaço n-dimensional (MOITA NETO e MOITA, 1997). O método inicia-se pelas amostras individuais e progressivamente combina-as de acordo com sua similaridade até formar um grupo. A técnica de agrupamento utilizada foi a *Unweighted Pair Group Using an Arithmetic Average* (UPGMA) que é uma análise de agrupamento por média não-ponderada (KENT e COKER, 1992). Segundo estes autores, na UPGMA a distância entre dois grupos é dada pela média das distâncias entre os elementos (amostras) de ambos os grupos. O coeficiente de correlação cofenética apresentado foi de 0,77.

Os tratamentos estatísticos foram feitos considerando-se as médias aritméticas simples de 16 valores de ρ_{TOA} ao redor de cada um dos 126 pontos visitados no campo e nas cinco bandas espectrais do RapidEye. A análise de correlação de Pearson foi realizada no *software* Excel 2007. ANOVA e *cluster analysis* foram realizadas com suporte do programa *R Core Team* (2013) e pacotes *Vejan* (OKSANEN et al., 2013) e *Raster* (HIJMANS, 2014). O *software* de sistema de informações geográficas utilizado nesse estudo foi o ArcGIS 10.1.

4.4 Segmentação e classificação

As quatro cenas do satélite RapidEye selecionadas na Seção anterior também foram utilizadas para testar o potencial de uma nova abordagem semi-automática de segmentação seguida de classificação supervisionada. Para cada cena, foi selecionada uma ou duas classes de cobertura vegetal dominante no correspondente município: cultura agrícola em Jataí; formação savânica em Luís Eduardo Magalhães; formação campestre em Mateiros; e pastagens cultivadas e formações florestais em São Miguel do Araguaia (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Cenas do RapidEye selecionadas para testar nova abordagem metodológica baseada em segmentação seguida de classificação supervisionada de imagens.

Município	<i>Tile</i>	Classe de Cobertura Vegetal Considerada
Jataí	2230810	Cultura agrícola
Luís Eduardo Magalhães	2333410	Formação savânica
Mateiros	2334207	Formação campestre
São Miguel do Araguaia	2233018	Pastagens cultivadas e formações florestais

A segmentação é o processo que permite que uma imagem seja subdividida em partes constituintes ou regiões, a partir de propriedades dos pixels, tais como nível de cinza e textura (VASCONCELOS e NOVO, 2004). Ela corresponde a uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões espacialmente adjacentes são agrupadas (RODRIGUES, 2007). Inicialmente, o processo de segmentação rotula cada *pixel* como uma região distinta. Em seguida, é utilizado um critério de similaridade para cada par de regiões espacialmente adjacente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre regiões. Por fim, a imagem é dividida em um conjunto de sub-imagens que são posteriormente agrupadas seguindo um limiar de similaridade (PORTES, 2010).

A segmentação de imagens substitui a etapa árdua de delimitação manual e visual de polígonos por meio de função de digitalização de polígonos disponíveis em programas de SIG, além de minimizar critérios subjetivos do intérprete em digitalizar um número relativamente grande (detalhista) ou pequeno (generalista) de polígonos. A técnica de

segmentação utilizada foi a de crescimento de regiões, disponível no programa SPRING 5.2.6.1. Essa técnica corresponde a um processo iterativo onde as regiões são unidas através de pixels isolados até que todos os pixels sejam processados (SCHOENMAKERS, 1991).

Para realizar a segmentação, é necessário definir os limiares de similaridade e de área. O limiar de similaridade refere ao limiar mínimo em que duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região. Geralmente esse limiar é definido de forma empírica, por meio de testes preliminares. A avaliação do processo de segmentação foi realizada por meio da comparação visual entre a imagem segmentada e pela sobreposição da imagem realçada. De acordo com Cross et al. (1988), essa é uma forma qualitativa, mas eficiente para avaliar a segmentação. Para esse estudo, o melhor resultado foi obtido para valor 0,15 de similaridade. O limiar de área define a área mínima do terreno a ser segmentada e depende da resolução espacial da imagem. Esse limiar também é definido empiricamente quando não se tem uma área mínima de mapeamento no terreno. Nesse estudo, testes preliminares mostrou que os melhores resultados foram obtidos com área mínima de 50 pixels, ou seja, áreas dos segmentos superiores a 1.250 m² no terreno (5 m x 5 m x 50 pixels). A título de ilustração, na Figura 4.4 são mostrados os resultados de parte de segmentações obtidos para cada município.

A etapa seguinte e normal da segmentação de imagens é a classificação supervisionada ou não-supervisionada de imagens. Por exemplo, nas diferentes versões do programa SPRING (CAMARA et al., 1996), existem opções de classificação de segmentos por ISOSEG ou Bhattacharya. Uma das desvantagens dessa etapa é a necessidade frequente de edição dos resultados da classificação, pois é bastante comum o sistema agrupar, por exemplo, áreas de reservatórios de água com sombras de nuvens ou outras classes que apresentam padrões espectrais similares. Outra desvantagem é a perda no número total de segmentos durante o processo de classificação. Quando se agrupam dois ou mais segmentos adjacentes em uma única classe espectral, o programa não mantém a segmentação original. Alguns autores como Sano e colaboradores (MMA, 2014) têm exportado os segmentos no formato shapefile e conduzido interpretação visual em um programa de sistema de informações geográficas e com base em chaves de interpretação visual. Esse procedimento tem se mostrado mais eficiente do que a etapa de classificação e posterior edição dos resultados da classificação.

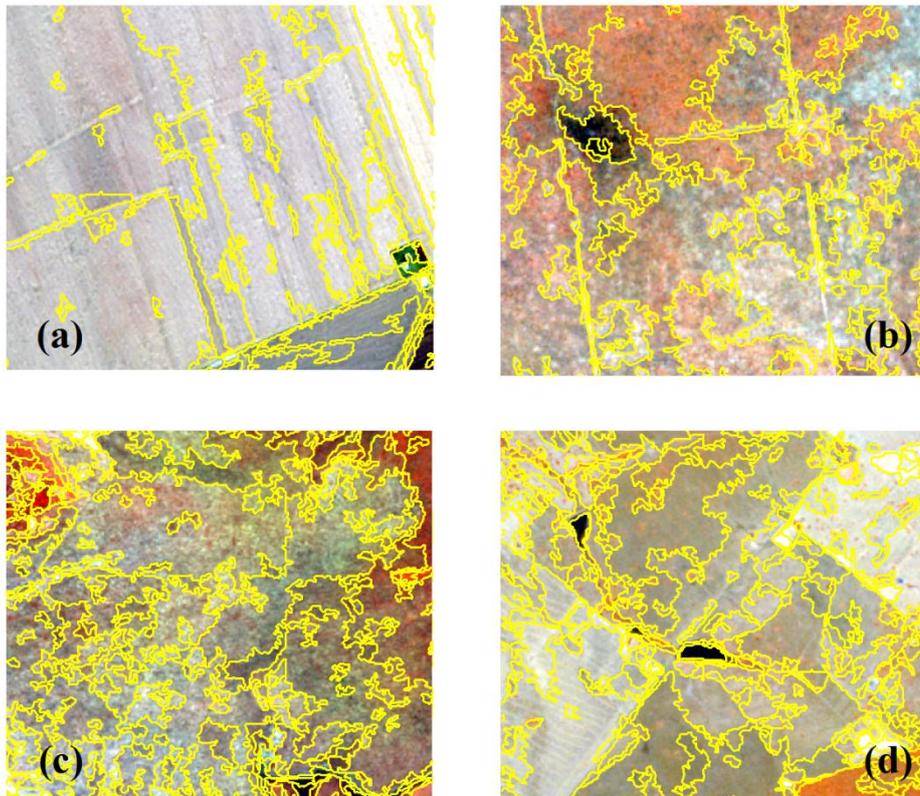


Figura 4.4 - Resultado da segmentação das imagens do satélite RapidEye por crescimento de regiões de parte dos municípios de Jataí (a), Luís Eduardo Magalhães (b), Mateiros (c) e São Miguel do Araguaia (d).

Nesse estudo, foi testada uma opção semi-automatizada desse procedimento. No aplicativo SPRING 5.2.6.1 (versão não disponível para *download* na internet), foi implementada uma ferramenta chamada *Extração de Atributos das Regiões*. O algoritmo extrai as informações estatísticas de média, variância e covariância de cada região e de cada banda espectral considerada e as insere na tabela de atributos dos resultados da segmentação. Inicialmente, foram extraídos os valores mínimo e máximo de reflectância da classe de mapeamento considerada em cada município (Tabela 4.3). Essa extração foi feita com base na média dos valores de média e desvio-padrão dos segmentos correspondentes aos pontos de controle de campo. Em outras palavras, valor mínimo foi calculado subtraindo-se a média pelo desvio padrão, enquanto o valor máximo foi calculado somando-se a média o desvio-padrão.

Em seguida, foram selecionados, por meio da opção *Selecionar por Atributos*, disponível na tabela de atributos do programa ArcGIS 10.1, todos os segmentos cujos valores mínimo e máximo estavam contidos no intervalo definido na etapa anterior. Em função do número limitado de pontos visitados no campo, foram adicionados novos pontos de controle que foram selecionados visualmente na imagem.

4.5 Exatidão da classificação

Ao trabalhar com mapas e informações provenientes de imagens de satélite, objetivou-se avaliar a precisão da classificação digital dos temas abordados. Essa análise é de fundamental importância sob o ponto de vista técnico. A maneira mais comum para expressar a precisão, tanto de imagens quanto de mapas, está na declaração da porcentagem da área de mapa que foi corretamente classificada quando comparada com dados de referência ou “verdade de campo”, denominada Exatidão Global. Esta declaração normalmente é derivada de uma contraparte da classificação correta gerada por amostragem dos dados classificados, e expressa na forma de matriz de erro, algumas vezes denominada de matriz de confusão ou tabela de contingência. Uma matriz de erro é uma matriz quadrada de números estabelecidos em linhas e colunas que expressam o número de unidades de amostragem (ou seja, *pixels*, aglomerados de *pixels*, ou polígonos) atribuído a uma determinada categoria. Uma matriz de erro é uma maneira muito eficaz para representar a precisão em que a precisão de cada categoria são claramente descritos, juntamente com tanto o erros de inclusão (erros de comissão) e erros de exclusão (erros de omissão) presente na classificação (CONGALTON, 1991).

A exatidão da classificação foi avaliada por meio da construção de uma matriz de confusão. A mesma grade regular de 16 pontos x 16 pontos mencionada anteriormente foi utilizada nessa etapa. Em cada cruzamento das grades, um cientista com mais de 20 anos de experiência em interpretação de imagens de satélite do Cerrado forneceu a classificação correta, sendo então utilizada como verdade terrestre. A interpretação consistiu em definir se, no cruzamento da grade, a classe correspondia a CA (culturas agrícolas) ou NCA (não-culturas agrícolas, isto é, outra classe diferente de cultura agrícola) para a cena de Jataí; CAM

(formações campestres) ou NCAM (não-formações campestres) para a cena de Mateiros, e assim sucessivamente.

CAPÍTULO 5

RESULTADO E DISCUSSÃO

Na Figura 5.1, são mostradas as relações entre as bandas espectrais do satélite RapidEye, duas a duas. As correlações variaram entre 0,13 (banda 1 x banda 5) a 0,92 (banda 3 x banda 4). É importante destacar aqui a alta correlação entre as bandas 3 (vermelho) e 4 (*red-edge*). Autores como Eitel et al. (2011) e Beckschafer et al. (2014) enfatizaram o desempenho da nova banda denominada *red-edge* na detecção de estresse causado por anelagem induzida em floresta de coníferas em Novo México, Estados Unidos e na estimativa de IAF em áreas naturais e montanhosas do sul da China, respectivamente. Entretanto, Kross et al. (2015) reportaram que índices de vegetação baseados na banda do *red-edge* não mostraram nenhuma melhora significativa nas estimativas de IAF e biomassa, quando comparados com índices tradicionais. A alta correlação obtida nesse estudo entre as bandas 3 e 4 para o bioma Cerrado indica uma maior corroboração com a conclusão obtida por Kross e colaboradores do que com as dos outros autores citados anteriormente.

Outra informação que pode ser obtida da Figura 5.1 e Tabela 5.1 é a combinação das três melhores bandas para a geração de composição colorida RGB para interpretação visual de imagens. Na literatura, existem diversos estudos de mapeamento e monitoramento de uso e cobertura de terras que se basearam na interpretação visual de composições coloridas de imagens de satélite. A maioria desses estudos tem utilizado composições coloridas RGB das bandas que operam nas faixas espectrais do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio (por exemplo, bandas 3, 4 e 5 do Landsat TM ou Landsat ETM+). Nesse sentido, podem ser citados os trabalhos de Hernandez Filho et al. (1998) que utilizaram a composição 4R5G3B do Landsat TM para mapear fitofisionomias e uso da terra de parte da bacia do Alto Taquari/MS. Campos et al. (2004) utilizaram a composição 5R4G3B para analisar a evolução do uso da terra no período de 1996 a 1999 no município de Botucatu/SP. Sano et al. (2010) mapearam o bioma Cerrado com suporte de composições coloridas RGB/453 do satélite Landsat ETM+ obtidas no ano de 2002.

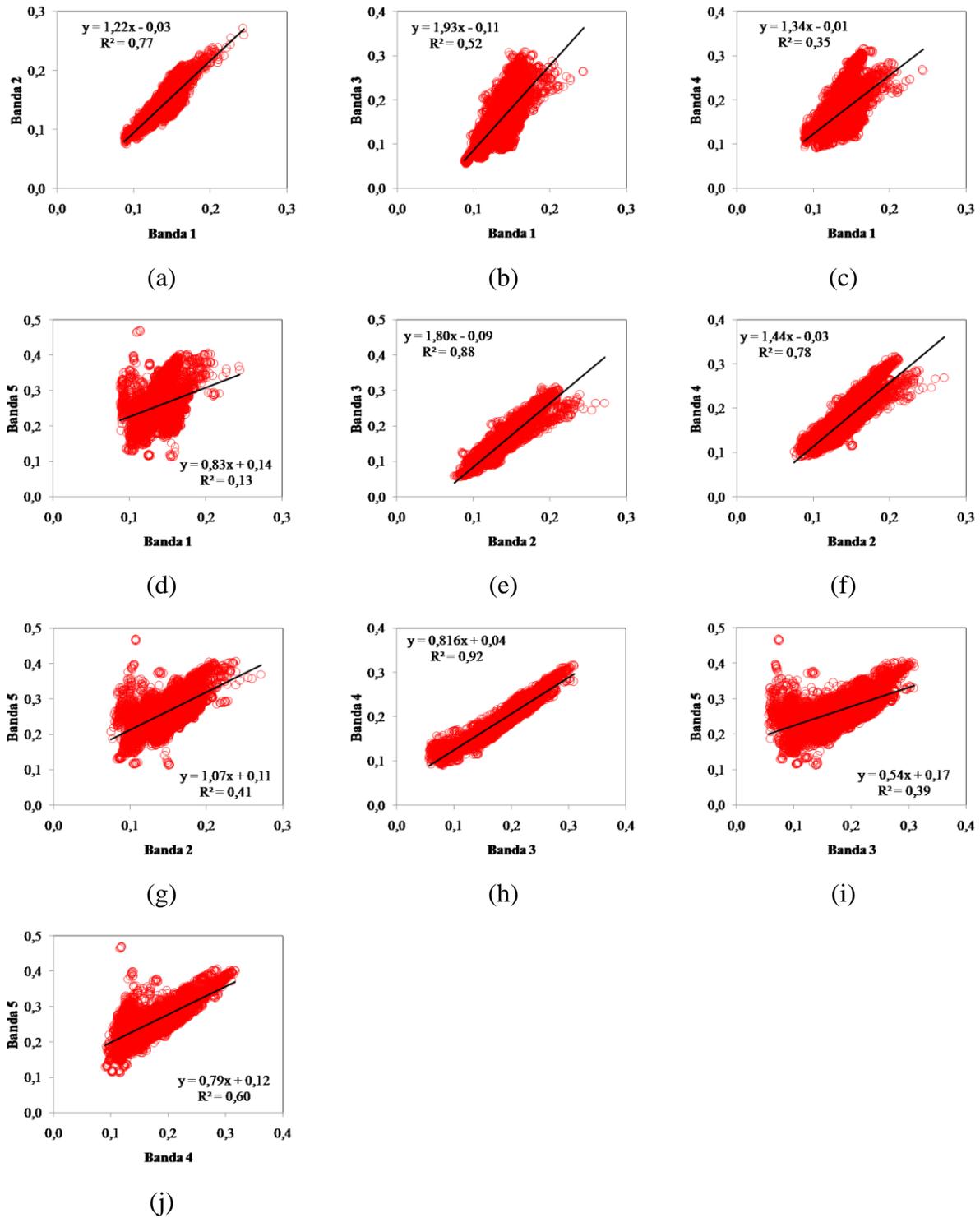


Figura 5.1 – Relação entre valores de reflectância das cinco bandas do satélite RapidEye. Valores de reflectância extraídos de quatro cenas dos municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães, Mateiros e São Miguel do Araguaia. Total de pontos em cada gráfico: 9.216 pontos.

Essa combinação de bandas não pode ser utilizada para as imagens do RapidEye por causa da ausência da banda na faixa espectral do infravermelho médio. O cálculo do OIF apresentou o maior valor para composição de banda 1, 3 e 5 (Tabela 5.1). Portanto, recomenda-se o uso das bandas 1, 3 e 5 do RapidEye para a formação de composições coloridas para interpretação visual de acordo com o critério de coeficientes de correlação mais baixos. A banda 1 é favorável para discriminar variações em corpos d'água causados, por exemplo, pelos sedimentos em suspensão ou fitoplânctons. A banda 3 é útil para discriminar espécies de plantas e fitofisionomias, além de apresentar um bom contraste entre áreas ocupadas com vegetação e aquelas sem vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). A banda 5 é útil para identificação de culturas agrícolas e para realçar áreas ocupadas com culturas agrícolas em pleno crescimento vegetativo e com solo exposto ou palhada seca ou ainda para discriminar corpos d'água (JENSEN, 2009). Na Figura 5.2, é mostrada, como exemplo a composição colorida 5R3G1B indicada pelo OIF, onde a cobertura vegetal verde é mostrada na cor vermelha e as áreas antrópicas são evidenciadas nas cores mais claras ou esverdeadas.

Tabela 5.1 – Resultados do cálculo do *Optimum Index Factor* (OIF) para todas as combinações de banda.

Combinação	Valor de OIF
1 - 3 - 5	0.12
1 - 4 - 5	0.10
3 - 4 - 5	0.08
2 - 3 - 5	0.08
1 - 2 - 5	0.07
2 - 4 - 5	0.07
1 - 3 - 4	0.07
2 - 3 - 4	0.05
1 - 2 - 4	0.05
1 - 2 - 3	0.05

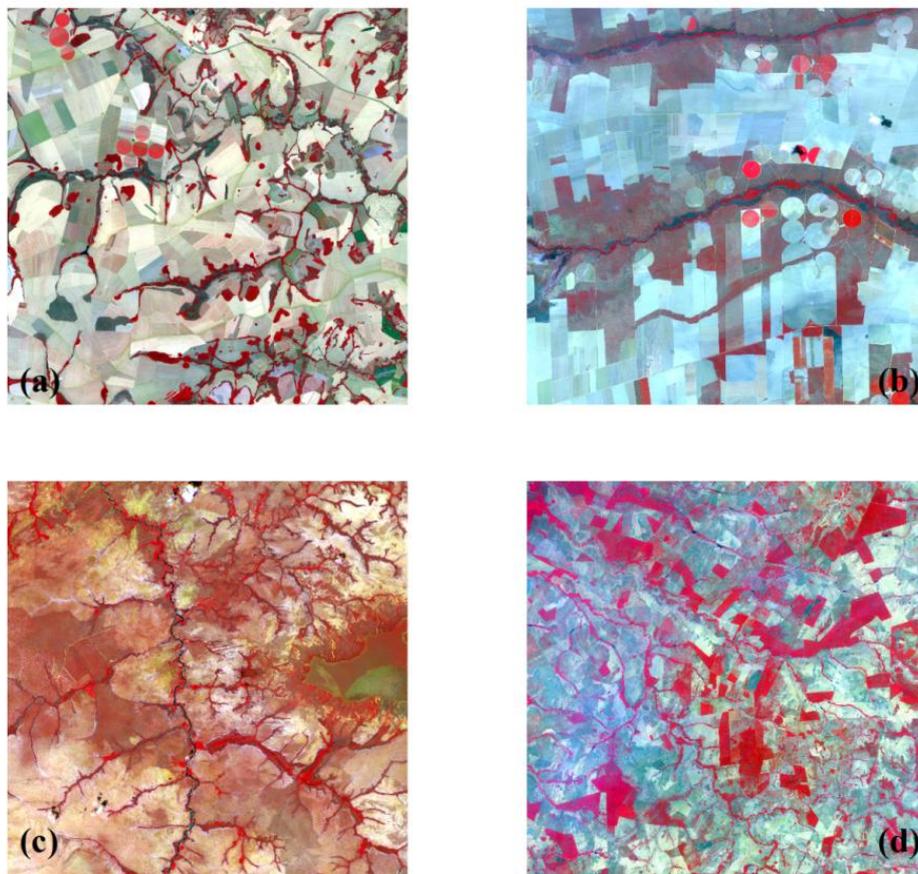


Figura 5.2 – Composição colorida RGB das bandas 5R3G1B do satélite RapidEye em parte dos municípios de Jataí/GO (a), Luís Eduardo Magalhães/BA (b) Mateiros/TO (c) e São Miguel do Araguaia/GO (d).

Na Figura 5.3, são mostradas as assinaturas espectrais representativas das cinco classes de cobertura vegetal natural e antrópica desse estudo. A formação florestal destaca-se pelo baixo valor de reflectância na banda 3 (absorção da radiação incidente pelas atividades fotossintéticas das plantas verdes), enquanto os alvos com baixa porcentagem de cobertura verde (culturas agrícolas, pastagens cultivadas e formação campestre) praticamente não mostram nenhuma feição característica de presença de cobertura vegetal verde durante a passagem do satélite. Surpreendentemente, os valores de reflectância no infravermelho próximo estão relativamente próximos entre si, contrariando outros estudos que têm mostrado exatamente o contrário (e.g., HUETE et al., 1997). Uma suspeita é a de que os parâmetros de

conversão de valores digitais para reflectância no topo da atmosfera (BLACKBRIDGE, 2013) não estejam funcionando a contento para a banda 5.

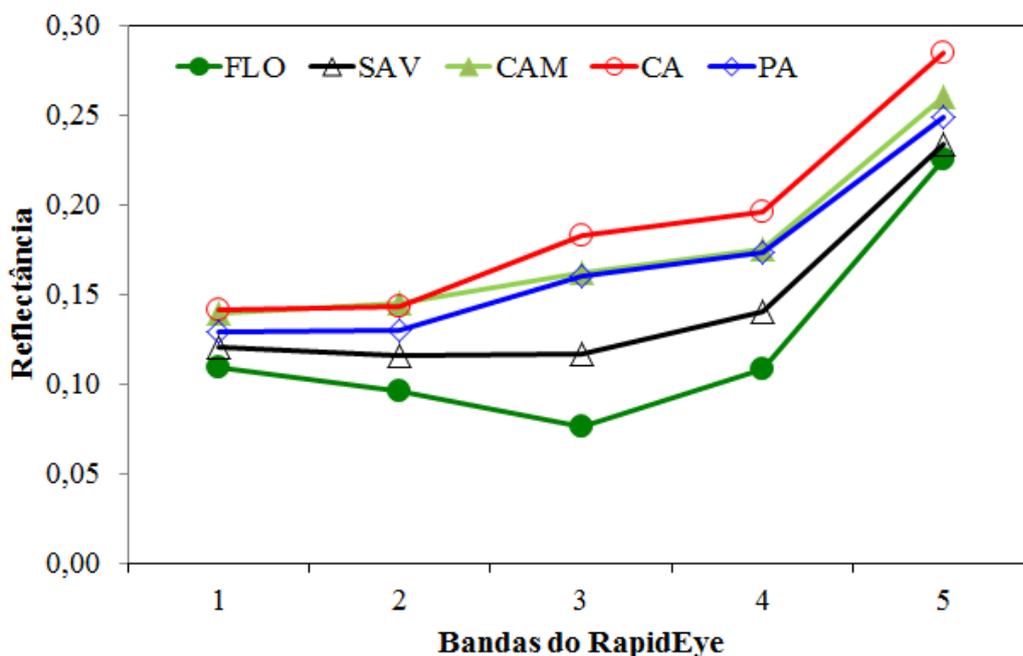


Figura 5.3 – Assinaturas espectrais de classes de cobertura vegetal consideradas nesse estudo. FLO = formação florestal; SAV = formação savânica; CAM = formação campestre; CA = cultura agrícola; PA = pastagem cultivada.

Nas bandas 3 e 4, houve confusão espectral entre formação campestre e pastagem cultivada, o que já era esperado, pois ambas são formadas predominantemente por espécies gramíneas e, na passagem do satélite, apresentavam cobertura vegetal notadamente seca. De acordo com Sano et al. (2007, 2008), essas duas classes estão entre as mais difíceis de serem discriminadas por meio de imagens de satélite. Apesar dessa confusão espectral, essas foram as duas bandas que apresentaram melhor potencial para discriminar as classes espectrais consideradas nesse estudo. Esse resultado foi confirmado pela ANOVA (Tabela 5.2), que também indicou que as bandas 3 e 4 apresentam potenciais mais altos de discriminação das cinco classes de cobertura vegetal. As duas bandas em questão apresentaram potenciais similares ($F = 18,08$ e $18,97$, respectivamente).

Tabela 5.2 – Resultados da análise de variância (ANOVA) mostrando o potencial de cada banda do satélite RapidEye para discriminar classes de cobertura vegetal natural e antrópica consideradas nesse estudo. Nível de significância: 5%. (n=126).

Parâmetro Estatístico	Bandas do RapidEye				
	B1	B2	B3	B4	B5
F	3,048	9,969	18,08	18,97	3
p	0,0196	5,24E-07	1,15E-11	3,95E-12	0,0108

Resultados do dendrograma (Figura 5.4) indicam a formação de dois grandes grupos: o primeiro, composto pelas formações campestres, culturas agrícolas e pastagens cultivadas, e o segundo, formado pelas formações savânicas e florestais. Esse agrupamento está diretamente associado com a porcentagem de cobertura verde do dossel. No primeiro grupo, a vegetação estava predominante seca, enquanto que o segundo grupo contém classes com vegetação verde predominante. Em um segundo nível, as culturas agrícolas podem ser discriminadas do grupo formado pelas formações campestres e pastagens cultivadas. Conforme mencionado anteriormente, as duas classes com menor poder de separabilidade espectral entre si são as formações campestres e as pastagens cultivadas.

Na Figura 5.5, são mostradas as classificações semi-automáticas das áreas de culturas agrícolas em Jataí, formações savânicas em Luís Eduardo Magalhães, formações campestres em Mateiros e formações florestais e pastagens cultivadas em São Miguel do Araguaia. As áreas classificadas como culturas agrícolas, formações savânicas, formações campestres, formações florestais e pastagens cultivadas corresponderam, respectivamente, a 37%, 14%, 35%, 3% e 23 % de cada cena correspondente. Dados mostrados na Tabela 5.3 indicam que as formações savânicas de Luís Eduardo Magalhães, as culturas agrícolas de Jataí e as formações florestais de São Miguel do Araguaia foram mapeadas pela técnica de classificação semi-automatizada com relativa acurácia: exatidão global de 90%, 89% e 81%, respectivamente. O índice de exatidão global alta e deve a um padrão espectral mais homogêneo que facilita a classificação dos alvos. As formações campestres de Mateiros e as pastagens cultivadas de São Miguel do Araguaia apresentaram as exatidões globais mais baixas: 68 e 62%, respectivamente. Os índices mais baixos de exatidão global apresentado se devem a dificuldade de discriminação dos alvos.

As formações florestais, pastagens cultivadas em São Miguel do Araguaia, formações savânicas em Luís Eduardo Magalhães, e cultura agrícola em Jataí apresentaram os menores valores de erro de omissão: 0%, 1%, 8% e 11%, respectivamente. As formações campestres em Mateiros apresentaram o maior erro de omissão: 25%. As culturas agrícolas em Jataí apresentaram o menor erro de comissão: 5%. As formações savânicas em Luís Eduardo Magalhães, as formações campestres em Mateiros, pastagens cultivadas, as formações florestais em São Miguel do Araguaia apresentaram os maiores erros de comissão: 32%, 39%, 51% e 75%, respectivamente.

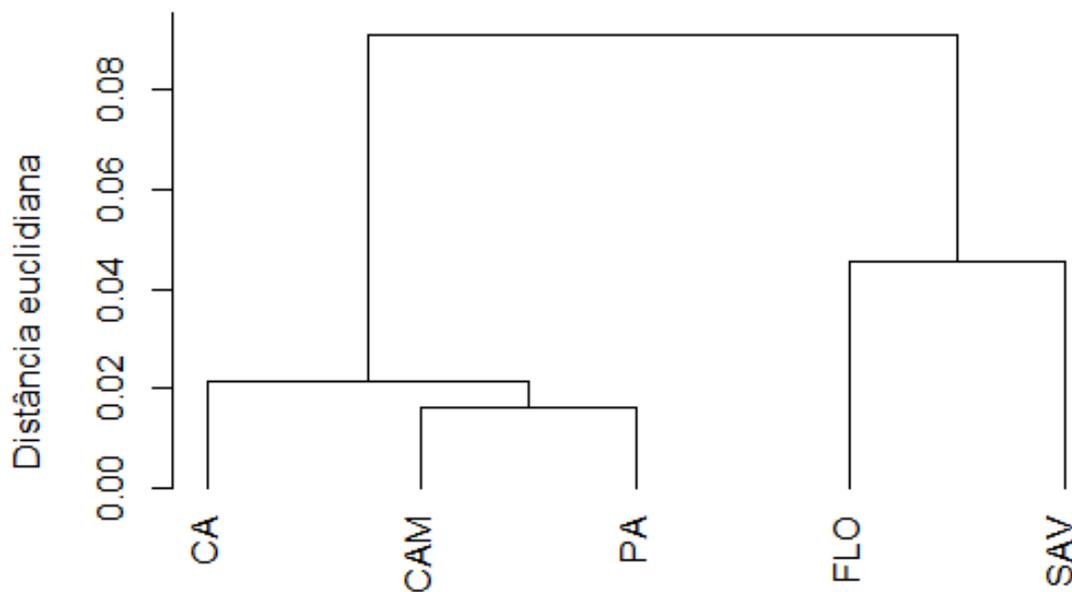


Figura 5.4 – Dendrograma obtido da análise de agrupamento hierárquico tendo como variáveis, valores de reflectância das cinco bandas do satélite RapidEye correspondentes às coordenadas GPS de campo (n= 126). CA = culturas agrícolas; CAM = formações campestres; PA = pastagens cultivadas; FLO = formações florestais; e SAV = formações savânicas.

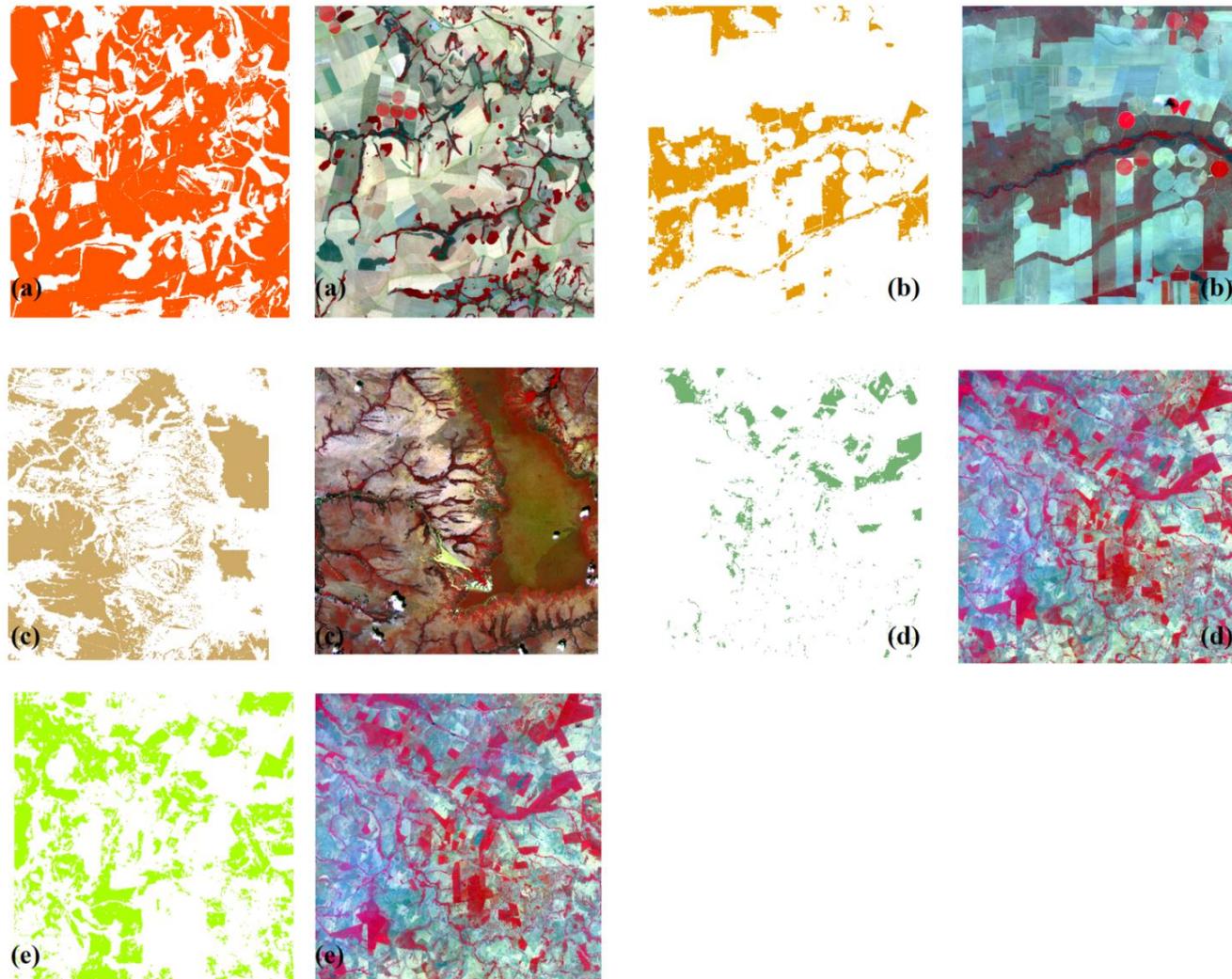


Figura 5.5 – Classificação semi-automática das áreas de culturas agrícolas em Jataí (a), formações savânicas em Luís Eduardo Magalhães (b), formações campestres em Mateiros (c) e formações florestais (d) e pastagens cultivadas (e) em São Miguel do Araguaia.

Tabela 5.3 – Matriz de confusão referente à etapa de classificação semi-automática das áreas de culturas agrícolas em Jataí, formações savânicas em Luís Eduardo Magalhães, formações campestres em Mateiros e formações florestais e pastagens cultivadas em São Miguel do Araguaia. CA = culturas agrícolas; SAV = formações savânicas; CAM = formações campestres; FLO = formações florestais; e PA = pastagens cultivadas. EG = exatidão global. N = todas as outras classes espectrais, exceto a classe mapeada. EO = erro de omissão; EC = erro de comissão.

CLASSIFICAÇÃO	JATAI				LUÍS EDUARDO MAGALHÃES			
	VERDADE TERRESTRE				VERDADE TERRESTRE			
		CA	NC	EC (%)		SAV	NS	EC (%)
	CA	157	8	5	SAV	46	22	32
	NC	19	72	21	NS	4	184	2
	EO%	11	10		EO%	8	11	
	EG:	89			EG:	90		
	MATEIROS				SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA			
	VERDADE TERRESTRE				VERDADE TERRESTRE			
		CAM	NC	EC (%)		FLO	NF	EC (%)
CAM	84	54	39	FLO	16	48	75	
NC	28	90	23	NF	0	192	0	
EO%	25	38		EO%	0	20		
EG:	68			EG:	81			
SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA								
VERDADE TERRESTRE								
	PA	NP	EC (%)					
PA	91	96	51					
NP	1	68	1					
EO%	1	58						
EG:	62							

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Resultados dessa pesquisa indicaram que as três bandas mais apropriadas do satélite RapidEye para gerar composição colorida RGB são as bandas 1, 3 e 5, de acordo com o critério de coeficientes de correlação mais baixos. As bandas do vermelho e do *red-edge* mostraram maior potencial para discriminar as cinco classes de cobertura vegetal e natural consideradas nesse estudo. Resultados da análise de agrupamento hierárquico (*cluster analysis*) indicaram possibilidade de separar pelo menos dois grandes grupos espectrais: formações florestais e savânicas (classes com cobertura vegetal predominantemente verde) e formações campestres, culturas agrícolas e pastagens cultivadas (classes com cobertura vegetal predominantemente seca nas datas de passagem das imagens analisadas nesse estudo). A técnica de segmentação seguida de classificação semi-automatizada mostrou uma alta acurácia para mapeamento de culturas agrícolas, formações savânicas e formações florestais, porém, com relativa limitação para classificação de formações campestres e pastagens cultivadas.

Estudos mais pormenorizados são necessários para entender melhor ou para encontrar uma explicação sobre o baixo nível de separabilidade espectral da banda 5 (infravermelho-próximo) do RapidEye. As análises devem envolver outros alvos não considerados nesse trabalho, além de outras regiões geográficas com predomínio, por exemplo, de florestas tropicais, áreas úmidas ou vegetação típica de região semi-árida. Recomenda-se ainda que o desempenho da técnica de segmentação de imagens seguida de classificação semi-automatizada, baseada nos parâmetros estatísticos dos segmentos, também seja analisado envolvendo não apenas uma classe temática mais representativa de cada cena, mas todas as classes temáticas de interesse presentes em cada cena.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Cotia, São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159 p.
- ADAMÓLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G; MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC. São Paulo: Nobel, 1987. p. 33-98.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; ALVES J. L. M. G.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANTUNES, M. A. H.; SIQUEIRA, J. C. S. Características das imagens RapidEye para mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Foz do Iguaçu, PR. **Anais...**p. 547-554, 2013.
- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P. Avaliação espaço temporal do uso do solo na área da bacia do Rio Japarutuba-Sergipe através de imagens LANDSAT. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Natal, RN. **Anais...**p. 1231-1238, 2009.
- BASTOS, L.; FERREIRA, I. Composições fitofionômicas do bioma Cerrado: estudo sobre o subsistema de Vereda. **Espaço em Revista**, v. 12, p. 97–108, 2012.
- BECKSCHAFER, P. FEHRMANN, L.; HARRISON, D. Mapping leaf area index in subtropical upland ecosystems using RapidEye imagery and the random Forest algorithm. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2014.
- BLACKBRIDGI. **The RapidEye Red Edge Band**. Disponível em: <http://blackbridge.com/rapideye/upload/Red_Edge_White_Paper.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2012.
- BLACKBRIDGI. **Satellite imagery product specifications**. Disponível em: <http://www.flyby.it/images/brochure/rapideye/eng/re_product_specifications_eng.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2013.
- BRANNSTROM, C.; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, Z.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986–2002: Comparative analysis and implications for land-use policy. **Land Use Policy**, v. 25, n. 4, p. 579–595, 2007.
- CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GUARRIDO, J. SPRING : integrating remote sensing and GIS by data modelling. **Computers and Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395–403, 1996.

CAMPOS, S.; SILVA, M.; PIROLI, E. L.; CARDOSO, L. G.; BARROS, Z. X. Evolução do uso da terra entre 1996 e 1999 no município de Botucatu-SP. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 1, p. 211–218, 2004.

CARVALHO, J. R.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, S. R. M.; PINTO, H. S. Estimation of dry spells in three Brazilian regions - Analysis of extremes. **Atmospheric Research**, v. 132-133, p. 12–21, 2013.

CARVALHO, D. F.; FARIA, R. A.; SOUZA, S. A. V.; BORGES, H. Q. Espacialização do período de veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na bacia do rio Verde Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 172–176, 2000.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 46, p. 35–46, 1991.

CROSS, A. M.; DURY, S. J.; MASON, D. C. Segmentation of remotely-sensed images by a split-and-merge process. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p. 1329–1345, 1988.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate Analysis: methods and applications**. New York, John Wiley & Sons, 1984, 587 p.

EITEL, J. U. H.; VIERLING, L. A.; LITVAK, M. E.; LONG D. S.; SCHULTHESS, U.; AGER A. A.; KROFCHEK, D. J.; STOSCHECK, L. Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 12, p. 3640–3646, 2011.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: **Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas**. Brasília: Universidade de Brasília, 1994. p. 17–73.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapeamento digital do solo**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2062813/solo-brasileiro-agora-tem-mapeamento-digital>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Natal, RN. **Anais...**p. 7619-7622, 2009.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. Ativos ambientais do bioma Cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no estado de Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 61/01, n. 0560-4612, p. 14, 2009.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY, E.; ZARCO-TEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop

canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 3, p. 337–352, 2004.

HERNANDEZ FILHO, P.; PONZONI, F. J.; PEREIRA, M. N. Mapeamento da fitofisionomia e do uso da terra de parte da bacia do Alto Taquari mediante o uso de imagens TM/Landsat e HRV/SPOT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1755–1762, 1998.

HIJMANS, R. J. **Raster: Geographic data analysis and modeling. R package version 2.2-31**, 2014. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=raster>> Acesso em: 21 fev. 2014.

HUETE, A. R.; LIU H. Q; BATCHILY, K.; LEEUWEN, V. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 1, p. 440–451, 1997.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório 2008-2009 do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite - PMDBBS**. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/cerrado/RELATORIOFINAL_CERRADO_2010.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2014.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite - PMDBBS**. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/>>. Acesso em: 4 jan. 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 4 dez. 2014.

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

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis. A practical approach**. Belman Press. London . 363p. 1992

KIENAST-BROWN, S.; BOETTINGER, J. L. Applying the Optimum Index Factor to Multiple Data Types in Soil Survey. In: BOETTINGER, J. L.; HOWELL, D. W.; MOORE, A. C.; HARTEMINK, A. E.; KIENAST-BROWN, S. (Eds.). **Digital Soil Mapping Bridging Research, Environmental Application, and Operation**. Dordrecht: Springer Science+Business Media. p. 385–398, 2010.

KLINK, C.; MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 148–155, 2005.

KRISCHKE, M.; NIEMEYER, W.; SCHERER, S. RapidEye satellite based geo-information system. **Acta Astronautica**, v. 46, n. 2-6, p. 307–312, 2000.

KROSS, A.; MCNAIRN, H.; LAPEN, D.; SUNOHARA, M.; CATHERINE, C. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 34, p. 235–248, 2015.

MACHADO, R.; NETO, M. R. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. 2004. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

MENKE, A. B.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, S. N. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de Sensoriamento Remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA-Brasil). **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 3, p. 315–326, 2009.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Ambiental Rural**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/desenvolvimento-rural/cadastro-ambiental-rural>>. Acesso em: 5 jan. 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento da cobertura vegetal do bioma Cerrado**. Relatório final. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/documentos/relatorio_final.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2014.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467–469, 1997.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F. G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P. R.; O'HARA, R. B.; SIMPSON, G. L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M. H. H.; WAGNER, H. **vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-10**, 2013. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=vegan>> Acesso em: 21 fev. 2014.

OLIVEIRA, F. P.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOARES, V. P.; SOUZA, A. L. Mapeamento de fragmentos florestais com monodinâmica de aroeira a partir de classificação supervisionada de imagens RapidEye. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 151–161, 2013.

PORTES, R. C. **Identificação do uso da terra sob manejo agroecológico utilizando imagem de alta resolução e conhecimento local**. Dissertação. (Mestrado em Solos e Nutrição de Solos) Universidade Federal de Viçosa, 85p., 2010.

R CORE TEAM. **Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2013. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

RAMOELO, A.; SKIDMORE, A. K.; CHO, M. A.; SCHLERF, M.; MATHIEU, R.; HETOKÖNIG, M. A. Regional estimation of savanna grass nitrogen using the red-edge band

of the spaceborneRapidEye sensor. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 19, p. 151–162, 2012.

RAMOS, K. M. C. **Variabilidade genética e uso dos frutos do pequi (*Caryocar coriaceum Wittm.*) na região meio-norte do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal do Piauí, 102p, 2010.

RATTER, J.; RIBEIRO, J.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, p. 223–230, 1997.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 151-199, 2008.

RODRIGUES, D. M. T.; MIZIARA, F. Expansão da fronteira agrícola: a intensificação da pecuária bovina no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 1, p. 14–20, 2008.

RODRIGUES, P. J. S. **Técnicas de segmentação e classificação em imagens. Estudo de um caso de aplicação**. Teses (Doutorado em Eletrônica Industrial) Universidade do Minho, 277p. 2007.

RUDORFF, B.; SUGAWARA, L. Mapeamento da cana-de-açúcar na Região Centro-Sul via imagens de satélites. **Informe Agropecuário**, v. 28, n. 241, p. 79–86, 2007.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113–124, 2010.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; ASNER, G. P.; STEINKE, E. T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloudfree Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 12, p. 2739–2752, 2007.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153–156, 2008.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Synthetic aperture radar (L band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: A comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, n. 15, p. 1–15, 2005.

SANTANA, H. M. P. **Levantamento da produtividade e produção de capim dourado (*Syngonanthus nitens*) e sua relação com variáveis morfopedológicas nos campos limpos úmidos na região do Jalapão, Tocantins**. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) Universidade de Brasília, 183p. 2013.

SANTOS, P. S. **Expansão agrícola de 1984 a 2006 e estimativas agrícolas por sensoriamento remoto e SIG no município de Luís Eduardo Magalhães-BA**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto de Pesquisas Espaciais, 106p. 2007.

SCHOENMAKERS, R. P. M.; WILKINSON, G. G.; SCHOUTENAK, T. E. Segmentation of remotely-sensed images: a re-definition for operational applications. **Geoscience and Remote Sensing Symposium**, v. 2, n. 2, p. 1087–1090, 1991.

SCHUSTER, C.; FÖRSTER, M.; KLEINSCHMIT, B. Testing the red edge channel for improving land-use classifications based on high-resolution multi-spectral satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 17, p. 5583–5599, 2012.

SILVA, F. A. M.; DELGADO, A. E.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do Bioma Cerrado. In: SANO, S.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 69-88, 2008.

SILVA, W. F. **O avanço do setor sucroenergético no Cerrado: os impactos da expansão canavieira na dinâmica socioespacial de Jataí (GO)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, 2011.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, p. 363–364, 2014.

SOUZA, A. M.; MARQUES, D. F.; DÖBEREINER, J.; DUTRA, I. S. Esporos e toxinas de *Clostridium botulinum* dos tipos C e D em cacimbas no Vale do Araguaia, Goiás. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 26, p. 133–138, 2006.

SRTM. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Brasil em Relevô**. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>>. Acesso em: 6 jan. 2015.

TAPSALL, B.; MILENOV, P.; TAS, K. Analysis of RapidEye imagery for annual landcover mapping as an aid to European Union (EU) common agricultural policy (W. W., B. Székely, Eds.) ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS. **Anais...**Vienna, Austria: 2010.

TYC, G.; TULIP, J.; SCHULTEN, D.; KRISCHK, M.; OXFORT, M. The RapidEye mission design. **Acta Astronautica**, v. 56, n. 1-2, p. 213–219, 2005.

VALE, R. M. C.; REIS, S. L. S. A Bacia Hidrográfica do Rio Preto: Repercursões Ambientais de um Modelo Agroeconomico Industrial. In: CARIBÉ, C.; VALE, R. (Ed.). **Oeste da Bahia: Trilhando Velhos e Novos caminhos do Além São Francisco**. Feira de Santana: UEFS [s.n.]. p. 227–272, 2008.

VASCONCELOS, C.; NOVO, E. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do

modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487–493, 2004.

VUOLO, F.; ATZBERGER, C.; ROCHTHER, K.; D'URSO, G.; DASH, J. Retrieval of biophysical vegetation products from RapidEye imagery. ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS. **Anais...**Vienna, Austria, July 5–7, 2010.

WARMING, E. **Eugen Warming e o cerrado brasileiro: um século depois**. Aldo Luiz Klein (organizador). - São Paulo: Editora UNESP; Imprensa Oficial do Estado, 2002.

APÊNDICE A

Tiles e datas das imagens do satélite RapidEye que cobrem os municípios de Jataí, Luís Eduardo Magalhães, Mateiros e São Miguel do Araguaia.

Estado	Município	Data	Tile
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	22/08/2012	2333611
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	06/09/2012	2333610
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	22/08/2012	2333610
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	22/08/2012	2333511
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	06/09/2012	2333510
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	22/08/2012	2333510
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	06/09/2012	2333509
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	06/09/2012	2333508
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	25/10/2012	2333411
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	25/10/2012	2333410
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	22/08/2012	2333410
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	06/09/2012	2333409
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	06/09/2012	2333408
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	25/10/2012	2333311
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	22/08/2012	2333310
Bahia	Luís Eduardo Magalhães	06/09/2012	2333309
Goiás	Jataí	17/07/2012	2231111
Goiás	Jataí	09/02/2012	2231110
Goiás	Jataí	17/07/2012	2231012
Goiás	Jataí	17/07/2012	2231011
Goiás	Jataí	31/08/2012	2231010
Goiás	Jataí	06/10/2012	2230913
Goiás	Jataí	17/07/2012	2230913
Goiás	Jataí	17/07/2012	2230912
Goiás	Jataí	17/07/2012	2230911
Goiás	Jataí	31/08/2012	2230910
Goiás	Jataí	07/05/2012	2230909
Goiás	Jataí	08/10/2012	2230814
Goiás	Jataí	06/10/2012	2230813
Goiás	Jataí	29/10/2012	2230812
Goiás	Jataí	08/12/2012	2230811
Goiás	Jataí	03/08/2012	2230811
Goiás	Jataí	31/08/2012	2230810
Goiás	Jataí	08/05/2012	2230809
Goiás	Jataí	08/10/2012	2230714
Goiás	Jataí	08/10/2012	2230713

Goiás	Jataí	08/10/2012	2230712
Goiás	Jataí	03/08/2012	2230712
Goiás	Jataí	03/08/2012	2230711
Goiás	Jataí	03/08/2012	2230710
Goiás	Jataí	08/10/2012	2230614
Goiás	Jataí	08/10/2012	2230613
Goiás	Jataí	29/10/2012	2230612
Goiás	Jataí	29/10/2012	2230611
Goiás	São Miguel do Araguaia	29/10/2012	2233318
Goiás	São Miguel do Araguaia	30/07/2012	2233317
Goiás	São Miguel do Araguaia	29/10/2012	2233218
Goiás	São Miguel do Araguaia	29/10/2012	2233217
Goiás	São Miguel do Araguaia	07/09/2012	2233120
Goiás	São Miguel do Araguaia	30/07/2012	2233119
Goiás	São Miguel do Araguaia	29/10/2012	2233118
Goiás	São Miguel do Araguaia	29/10/2012	2233117
Goiás	São Miguel do Araguaia	29/10/2012	2233116
Goiás	São Miguel do Araguaia	07/09/2012	2233020
Goiás	São Miguel do Araguaia	04/10/2012	2233019
Goiás	São Miguel do Araguaia	30/09/2012	2233018
Goiás	São Miguel do Araguaia	15/09/2012	2233017
Goiás	São Miguel do Araguaia	29/10/2012	2233016
Goiás	São Miguel do Araguaia	07/09/2012	2232920
Goiás	São Miguel do Araguaia	07/09/2012	2232919
Goiás	São Miguel do Araguaia	15/09/2012	2232918
Goiás	São Miguel do Araguaia	15/09/2012	2232917
Goiás	São Miguel do Araguaia	02/06/2012	2232916
Goiás	São Miguel do Araguaia	07/09/2012	2232819
Goiás	São Miguel do Araguaia	30/09/2012	2232818
Goiás	São Miguel do Araguaia	30/09/2012	2232817
Tocantins	Mateiros	13/05/2012	2334411
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334410
Tocantins	Mateiros	02/10/2013	2334409
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334408
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334407
Tocantins	Mateiros	22/12/2012	2334406
Tocantins	Mateiros	08/06/2012	2334311
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334310
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334309
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334308
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334307
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334306

Tocantins	Mateiros	01/10/2012	2334305
Tocantins	Mateiros	23/05/2012	2334211
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334210
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334209
Tocantins	Mateiros	20/09/2012	2334208
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334208
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334207
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334206
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334205
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334109
Tocantins	Mateiros	20/09/2012	2334108
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334108
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334107
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334106
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2334009
Tocantins	Mateiros	20/09/2012	2334008
Tocantins	Mateiros	20/09/2012	2334007
Tocantins	Mateiros	30/12/2012	2334006
Tocantins	Mateiros	20/09/2012	2333908
Tocantins	Mateiros	06/09/2012	2333908
Tocantins	Mateiros	01/05/2012	2333907

APÊNDICE B

Relatório fotográfico das expedições de campo, realizadas nos municípios Jataí/GO, Luís Eduardo Magalhães/BA, Mateiros/TO e São Miguel do Araguaia/GO.



Ponto 01
Fitofisionomia: Cerrado Típico
Latitude: S 18° 00' 45.6"
Longitude: W 51° 33' 53.2"



Ponto 02
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: S 17° 46' 21.7"
Longitude: W 51° 49' 05.5"



Ponto 03
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: S 17° 39' 29.2"
Longitude: W 51° 55' 36.9"



Ponto 04
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: S 18° 02' 22.7"
Longitude: W 51° 50' 12.4"



Ponto 05
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: S 17° 44' 17.9"
Longitude: W 51° 46' 50.3"



Ponto 06
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: S 17° 43' 46.4"
Longitude: W 52° 06' 52.6"



Ponto 07
Uso do solo: Cana de açúcar
Latitude: S 17° 43' 16.3"
Longitude: W 51° 52' 22.9"



Ponto 08
Uso do solo: Cana de açúcar
Latitude: S 18° 00' 43.0"
Longitude: W 51° 33' 54.5"



Ponto 09
Uso do solo: Milheto
Latitude: S 17° 51' 11.1"
Longitude: W 51° 31' 21.9"



Ponto 10
Uso do solo: Milho
Latitude: S 17° 58' 24.4"
Longitude: W 51° 35' 14.6"



Ponto 11
Uso do solo: Milho
Latitude: S 17° 47' 09.6"
Longitude: W 52° 04' 32.3"



Ponto 12
Uso do solo: Soja
Latitude: S 17° 50' 37.1"
Longitude: W 51° 27' 54.8"



Ponto 13
Uso do solo: Soja
Latitude: S 17° 51' 34.3"
Longitude: W 51° 33' 36.9"



Ponto 14
Uso do solo: Soja
Latitude: S 17° 52' 06.8"
Longitude: W 51° 35' 57.4"



Ponto 15
Uso do solo: Soja
Latitude: S 17° 59' 10.6"
Longitude: W 51° 46' 46.9"



Ponto 16)
Uso do solo: Soja
Latitude: S 17° 53' 58.0"
Longitude: W 51° 50' 06.0"



Ponto 17
Uso do solo: Soja
Latitude: S 17° 51' 22.5"
Longitude: W 51° 54' 10.6"



Ponto 18
Uso do solo: Soja
Latitude: S 17° 43' 46.9"
Longitude: W 52° 08' 29.2"



Ponto 19
Uso do solo: Solo exposto
Latitude: S 17° 55' 51.5"
Longitude: W 51 41 09.5



Ponto 20
Uso do solo: Solo exposto com palhada de milho
Latitude: S 17° 41' 24.8"
Longitude: W 52 12 00.0



Ponto 21
Fitofisionomia:
Latitude: S 18° 01' 04.9"
Longitude: W 51° 49' 22.7"



Ponto 22
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 58' 38.5"
Longitude: W 51° 47' 52.1"



Ponto 23
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 49' 08.5"
Longitude: W 51° 47' 09.8"



Ponto 24
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 43' 54.5"
Longitude: W 51° 50' 29.7"



Ponto 25
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 39' 40.2"
Longitude: W 51° 55' 33.5"



Ponto 26
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 18° 03' 26.7"
Longitude: W 51° 32' 34.7"



Ponto 27
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 59' 33.2"
Longitude: W 51° 47' 50.7"



Ponto 28
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 18° 03' 23.9"
Longitude: W 51° 50' 28.2"



Ponto 29
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 46' 42.2"
Longitude: W 51° 47' 08.6"



Ponto 30
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 42' 35.4"
Longitude: W 51° 46' 43.2"



Ponto 31
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 45' 24.2"
Longitude: W 51° 46' 55.9"



Ponto 32
Uso do solo: Pastagem
Latitude: S 17° 36' 54.1"
Longitude: W 51° 56' 46.2"



Ponto 33
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 381331
Y: 8658839



Ponto 34
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 408458
Y: 8635872



Ponto 35
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 420148
Y: 8668669



Ponto 36
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 424593
Y: 8664293



Ponto
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 414884
Y: 8645495



Ponto 38
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 397548
Y: 8636442



Ponto 39
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 370040
Y: 8664518



Ponto 40
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 390479
Y: 8664776



Ponto 41
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 390009
Y: 8673175



Ponto 42
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 385923
Y: 8669832



Ponto 43
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 401070
Y: 8662308



Ponto 44
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 413204
Y: 8654887



Ponto 45
Fitofisionomia: Cerrado desmatado
X: 390154
Y: 8659968



Ponto 46
Fitofisionomia: Cerrado desmatado
X: 393305
Y: 8674255



Ponto 47
Fitofisionomia: Cerrado stricto sensu
X: 408831
Y: 8629791



Ponto 48
Uso do Solo: Algodão
X: 387587
Y: 8667712



Ponto 49
Uso do solo: Milheto
X: 408815
Y: 8645027



Ponto 50
Uso do Solo: Milho
X: 358558
Y: 8660291



Ponto 51
Uso do solo: Soja
X: 374911
Y: 8658027



Ponto 52
Uso do solo: Soja
X: 370313
Y: 8656586



Ponto 53
Uso do solo: Soja
X: 419631
Y: 8662126



Ponto 54
Uso do solo: Soja
X: 408396
Y: 8662561



Ponto 55 (U26)
Uso do solo: Soja
X: 377824
Y: 8630449



Ponto 56 (U4)
Uso do solo: Soja
X: 392462
Y: 8662569



Ponto 57
Uso do solo: Soja
X: 387635
Y: 8667747



Ponto 58
Uso do solo: Soja
X: 384152
Y: 8632441



Ponto 59
Uso do solo: Soja
X: 393383
Y: 8678474



Ponto 60
Uso do solo: Soja
X: 402682
Y: 8636540



Ponto 61
Uso do solo: Soja
X: 404019
Y: 8649593



Ponto 62
Uso do solo: Soja
X: 377615
Y: 8668936



Ponto 63
Uso do solo: Soja
X: 394151
Y: 8635552



Ponto 64
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 33' 46,8"
Longitude: 46° 26' 42,9"



Ponto 65
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 34' 14,9"
Longitude: 46° 28' 58,0"



Ponto 66
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 35' 55,1"
Longitude: 46° 32' 40,8"



Ponto 67
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 36' 00,3"
Longitude: 46° 40' 19,4"



Ponto 68
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 35' 07,6"
Longitude: 46° 43' 18,9"



Ponto 69
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 26' 52,5"
Longitude: 46° 27' 25,8"



Ponto 70
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 19' 03,2"
Longitude: 46° 31' 06,8"



Ponto 71
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 13' 41,3"
Longitude: 46° 33' 22,5"



Ponto 72
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 35' 34,0"
Longitude: 46° 18' 24,4"



Ponto 73
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 34' 32,6"
Longitude: 46° 50' 31,4"



Ponto 74
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 30' 43,5"
Longitude: 46° 54' 22,5"



Ponto 75
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 20' 45,7"
Longitude: 46° 30' 57,4"



Ponto 76
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 34' 27,2"
Longitude: 46° 11' 21,4"



Ponto 77
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10° 35' 07,2"
Longitude: 46° 19' 34,9"



Ponto 78
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10 ° 36 ' 29,9"
Longitude: 46 ° 16 ' 31,7"



Ponto 79
Fitofisionomia: Campo sujo
Latitude: 10 ° 32 ' 46,7"
Longitude: 46 ° 11 ' 13,7"



Ponto 80
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10 ° 33 ' 45,8"
Longitude: 46 ° 47 ' 09,5"



Ponto 81
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 33 26,8"
Longitude: 46° 51 05,0"



Ponto 82
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 28 48,8"
Longitude: 46° 26 56,8"



Ponto 83
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 25' 55,3"
Longitude: 46° 28' 12,3"



Ponto 84
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 23' 49,3"
Longitude: 46° 29' 42,0"



Ponto 85
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 19' 21,9"
Longitude: 46° 31' 07,7"



Ponto 86
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 14' 32,5"
Longitude: 46° 33' 35,4"



Ponto 87
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 13' 14,6"
Longitude: 46° 31' 51,5"



Ponto 88
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 34' 01,5"
Longitude: 46° 22' 07,1"



Ponto 89
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 29' 36,1''
Longitude: 46° 10' 40,8''



Ponto 90
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 17' 25,2''
Longitude: 46° 32' 14,9''



Ponto 91
Fitofisionomia: Cerrado ralo
Latitude: 10° 16' 19,4''
Longitude: 46° 32' 54,3''



Ponto 92
Fitofisionomia: Desmate recente
Latitude: 10° 28' 00,7''
Longitude: 46° 08' 06,2''



Ponto 93
Fitofisionomia: Soja
Latitude: 10° 30' 17,0''
Longitude: 46° 11' 40,5''



Ponto 94
Fitofisionomia: Soja
Latitude: 10° 27' 19,2''
Longitude: 46° 06' 37,5''



Ponto 95
Fitofisionomia: Cerrado denso
Latitude: 13 15 42,7
Longitude: 49 54 43,5



Ponto 96
Fitofisionomia: Cerrado denso
Latitude: 13 15 57,1
Longitude: 50 07 17,3



Ponto 97
Fitofisionomia: Cerrado denso
Latitude: 13 13 38,0
Longitude: 50 10 01,0



Ponto 98
Fitofisionomia: Cerrado denso
Latitude: 13 09 14,6
Longitude: 50 10 56,5



Ponto 99
Fitofisionomia: Cerrado denso
Latitude: 13 03 37,7
Longitude: 50 11 14,6



Ponto 100
Fitofisionomia: Cerrado típico
Latitude: 12 59 17,9
Longitude: 50 14 58,2



Ponto 101
Fitofisionomia: Cerrado típico
Latitude: 12 58 46,0
Longitude: 50 12 43,3



Ponto 102
Fitofisionomia: Cerrado típico
Latitude: 13 10 02,5
Longitude: 50 04 48,0



Ponto 103
Fitofisionomia: Cerrado típico
Latitude: 13 08 18,8
Longitude: 50 01 31,2



Ponto 104
Fitofisionomia: Cerrado típico
Latitude: 13 01 03,5
Longitude: 49 55 17,9



Ponto 105
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: 13 22 31,9
Longitude: 50 13 46,3



Ponto 106
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: 13 28 34,4
Longitude: 50 18 27,7



Ponto 107
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: 13 17 53,7
Longitude: 50 19 22,1



Ponto 108
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: 13 21 35,7
Longitude: 50 24 16,1



Ponto 109
Fitofisionomia: Cerradão
Latitude: 13 17 28,6
Longitude: 50 25 54,1



Ponto 110
Fitofisionomia: Floresta aluvial
Latitude: 13 07 02,8
Longitude: 50 11 20,4



Ponto 111
Fitofisionomia: Floresta arbórea
Latitude: 13 28 56,4
Longitude: 50 15 06,5



Ponto 112
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 16 01,9
Longitude: 49 56 20,4



Ponto 113
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 15 46,7
Longitude: 50 03 38,9



Ponto 114
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 15 58,4
Longitude: 50 30 44,6



Ponto 115
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 15 40,7
Longitude: 49 51 53,1



Ponto 116
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 15 51,9
Longitude: 50 00 11,1



Ponto 117
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 15 56,8
Longitude: 50 06 08,6



Ponto 118
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 21 12,6
Longitude: 50 08 51,3



Ponto 119
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 25 42,4
Longitude: 50 07 35,3



Ponto 120
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 10 22,1
Longitude: 50 03 49,0



Ponto 121
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 09 20,8
Longitude: 50 02 29,8



Ponto 122
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 21 37,1
Longitude: 50 13 15,5



Ponto 123
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 27 16,4
Longitude: 50 17 59,8



Ponto 124
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 32 30,5
Longitude: 50 18 24,4



Ponto 125
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 17 29,5
Longitude: 50 12 58,1



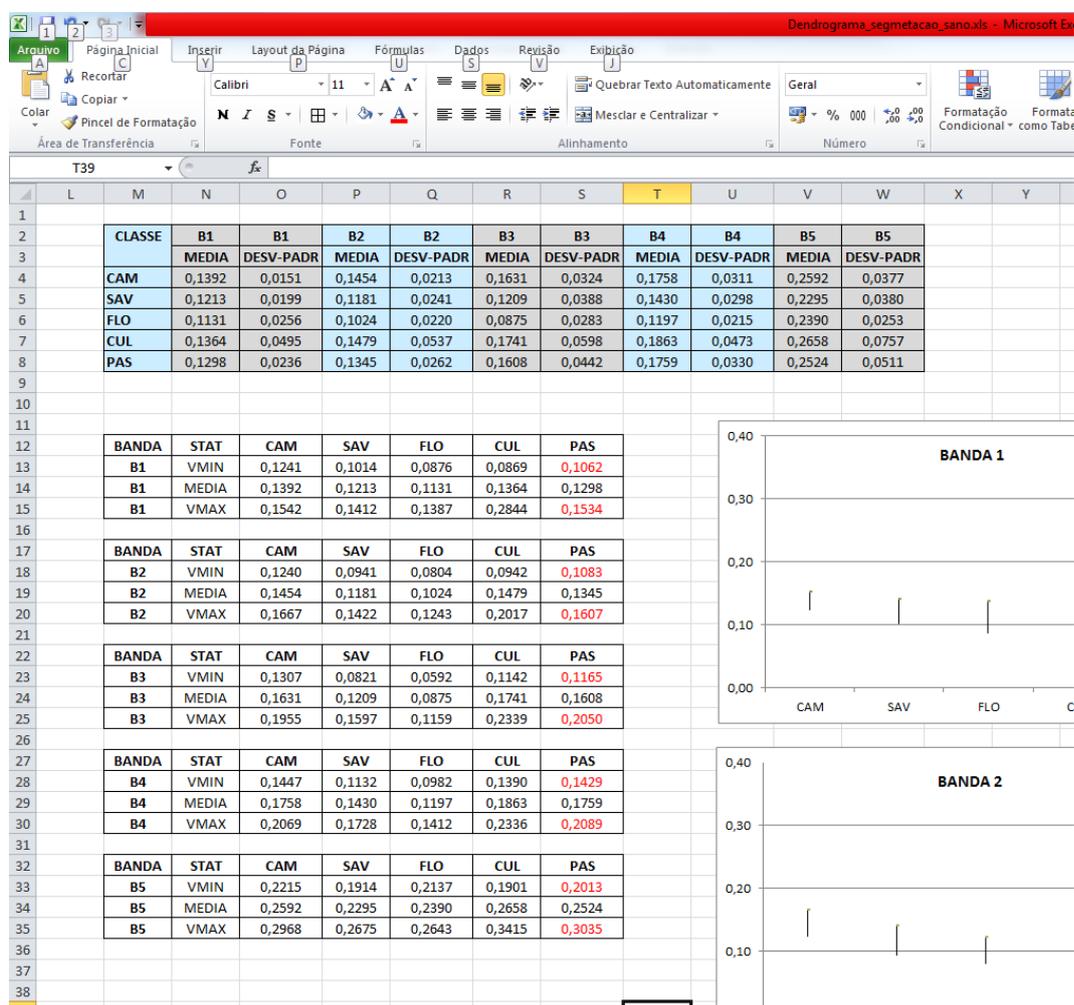
Ponto 126
Fitofisionomia: Pastagem
Latitude: 13 18 55,5
Longitude: 50 22 49,2

APÊNDICE C

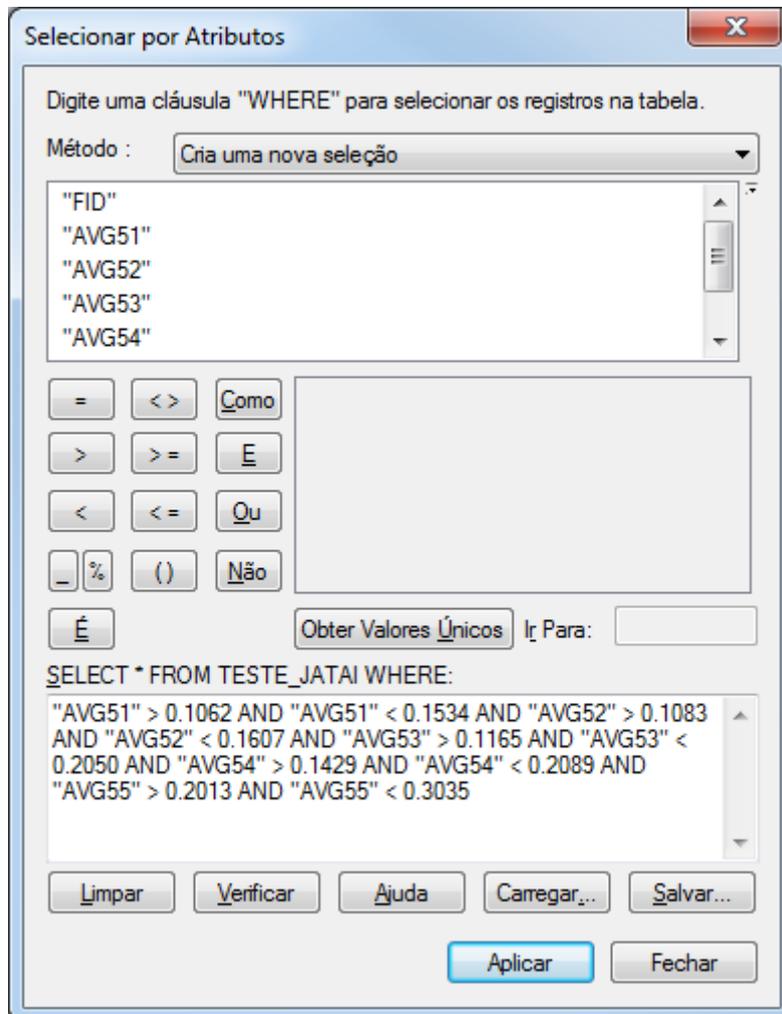
Tutorial da classificação semi-automática

Passo 1 – Calcular a média e o desvio-padrão dos valores de reflectância por banda espectral e por classe de cobertura vegetal (tabela abaixo).

Passo 2 - Calcular os valores mínimo e máximo de reflectância por banda espectral e por classe de cobertura vegetal (tabela abaixo).



Passo 3 - No ArcGIS, selecionar todos os polígonos que estão dentro dos intervalos mínimo e máximo de reflectância nas cinco bandas espectrais. A figura abaixo mostra um exemplo para a pastagem cultivada.



Passo 5 – Salvar a classificação em shapefile separado (ex: JATAI_PASTAGEM).

Passo 6 – Verificar a lógica dessa classificação automática na composição colorida do RapidEye (análise visual da classificação).