

Revista Brasileira de Cartografia (2016) N^o 68/1: 91-107
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA CONVERSÃO DO CERRADO EM ÁREAS AGRÍCOLAS NA REGIÃO DE SAPEZAL, MATO GROSSO, ENTRE OS ANOS DE 1981 E 2011

*Spatial-temporal Analysis of the Conversion of Cerrado Vegetation into
Agricultural Lands in the Sapezal Region (Mato Grosso State)
between 1981 and 2011*

**Rosana Cristina Grecchi¹, Gabriel Bertani¹, Kleber Trabaquini²,
Yosio Edemir Shimabukuro¹ & Antônio Roberto Formaggio¹**

**¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR/OBT**

Av. dos Astronautas, 1758, Bairro Jardim da Granja, 12245-970, São José dos Campos (SP), Brasil
rogrecchi@hotmail.com, {gabrielb, yosio, formag}@dsr.inpe.br

**² Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI
Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM**

Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, 88034-901, Florianópolis (SC), Brasil
klebertrabaquini@epagri.sc.gov.br

*Recebido em 15 de Novembro, 2015/ Aceito em 17 de Fevereiro, 2016
Received on November 15, 2015/ Accepted on February 17, 2016*

RESUMO

O bioma Cerrado brasileiro, reconhecido como um dos *hotspots* de biodiversidade do Planeta, vem recebendo grande destaque no amplo contexto das mudanças globais, em virtude das transformações sem precedentes no uso e cobertura da terra (LULC), como uma das regiões naturais onde ocorreram as maiores taxas de expansão de terras cultivadas nas últimas décadas no País. Entretanto, informações consistentes sobre o uso e cobertura da terra nessas regiões e sua dinâmica temporal ainda são escassas. A área de estudo selecionada compreende uma bacia hidrográfica localizada na Chapada dos Parecis, que representa significativamente o processo de antropizações ocorridas no estado de Mato Grosso nas últimas décadas. A fim de compreender as transformações ocorridas no uso e cobertura da terra nesta área foi utilizado um método de classificação baseada em objeto (OBIA) para mapear LULC para quatro anos (1981, 1991, 2001 e 2011), com base em imagens Landsat. Posteriormente informações sobre as mudanças históricas foram obtidas via um método pós-classificação para os diferentes intervalos de tempo (1981-1991, 1991-2001 e 2001-2011). Os resultados indicam que entre 1981 e 2011 a área de estudo perdeu aproximadamente 3.722 km² de vegetação natural. Em 1981, cerca de 97,8% da área ainda se encontrava coberta pela vegetação de Cerrado e esse percentual foi reduzido para 59,6% em 2011. Destaca-se que, do percentual de vegetação natural remanescente em 2011, 29% são protegidos como terras indígenas e, desta maneira, o percentual remanescente fora dessas áreas protegidas é muito mais baixo (~31%). A taxa de mudança foi maior entre 1991 e 2001 (-2.8% y⁻¹).

Palavras chaves: Cerrado, Uso e Cobertura da Terra, Sensoriamento Remoto, Classificação, Detecção de Mudanças.

ABSTRACT

The Cerrado biome plays a key role within a broader context of unprecedented global changes in land-use and land-cover (LULC) as one of the regions with the greatest expansion of cultivated lands in the past decades in Brazil. At the same time this biome has recognized as a world biodiversity hotspot. In order to understand the environmental impacts resulting from the intensive conversion of the Cerrados in agricultural lands, timely and accurate information is required. We used a remote sensing object-based classification approach for mapping and quantifying historical LULC changes in a watershed located in the Chapada dos Parecis, Mato Grosso State. Change information was obtained using a post-classification method for tree time interval: 1981-1991, 1991-2001, and 2001-2011. Our results show that between 1981 and 2011 the study lost approximately 3,722 km² of natural vegetation. In 1981, 97.8% of the study area was still covered by the Cerrado vegetation. This percentage was reduced to 59.6% in 2011. The rate of change was highest from 1991 to 2001 (-2.8% y⁻¹). We highlight that from the remaining natural vegetation, 29% are protected as indigenous land. Thus, the percentage of natural vegetation remaining outside these protected area are much lower or 31%.

Keywords: Cerrado, Land use and Land Cover, Remote Sensing, OBIA Classification, Change Detection.

1. INTRODUÇÃO

Os Cerrados do Brasil Central vêm sofrendo profundas transformações nas últimas décadas em decorrência da acelerada expansão da atividade agropecuária. Essa expansão, embora represente importantes impactos positivos na economia brasileira, contribuindo significativamente para transformar o País numa potência exportadora de produtos agrícolas (FALEIRO E SOUZA, 2007), tem causado grandes preocupações do ponto de vista ambiental devido aos impactos potenciais sobre os recursos naturais, notadamente solos e água.

Informações sobre tipos de uso e cobertura das terras, sua extensão e os tipos de mudanças ocorridas ao longo do tempo são de suma importância para vários estudos ambientais. Esse tema surgiu como assunto prioritário na agenda ambiental global, várias décadas atrás, com a constatação de que os processos na superfície terrestre influenciam o clima, através da modificação do albedo superficial e dos ciclos da água e do carbono (LAMBIN *et al.*, 2006). Os autores enfatizam que os impactos dessas mudanças sobre os serviços ecossistêmicos são ainda muito maiores, sendo de grande preocupação aqueles relacionados à biodiversidade, degradação dos solos, entre outros.

Os tipos de mudanças de cobertura da terra podem envolver conversões, ou seja, a substituição completa de um tipo de cobertura por outro, ou modificações, que são mudanças mais sutis (ex. degradação florestal, intensificação agrícola), sem resultar em uma mudança de classe (COPPIN *et al.*, 2004). Embora na maior

parte da América Latina e da África, o aumento da produção de alimentos tem sido resultado de uma concomitante expansão e intensificação do uso agrícola (RAMANKUTTY *et al.*, 2006), essa pesquisa concentra-se na análise das conversões do Cerrado em terras agrícolas devido aos impactos que essas transformações podem acarretar em escala de paisagem, como por exemplo a redução de habitats naturais e da biodiversidade, além da perda de outros serviços ecossistêmicos que os sistemas naturais proveem (CASSMAN *et al.*, 2005).

Tecnologias de sensoriamento remoto têm tido destaque na detecção de mudanças, que é definida como o processo de identificar diferenças no estado de um objeto ou fenômeno através de sua observação no tempo (SINGH, 1989). Esse destaque se deve a vantagens tais como capacidade de aquisição repetitiva dos dados, visão sinóptica, e formato digital dos dados (LU *et al.*, 2004) que favorecem métodos acessíveis para se caracterizar, mapear e monitorar as transformações da superfície terrestre (LUNETTA *et al.*, 2002). Segundo Lu *et al.* (2004), os diferentes métodos de detecção de mudanças existentes podem ser enquadrados em dois grandes grupos, de acordo com as informações que podem fornecer: (1) métodos que fornecem informação do tipo mudança/não mudança, como por exemplo diferenciação de imagens e (2) métodos que fornecem informações detalhadas sobre a trajetória das mudanças (“*from-to*” change), como por exemplo o método pós-classificação. Este último método tem sido *amplamente* utilizado pois permite a extração de informações sobre as trajetórias das mudanças

(ex. “de” cerrado “para” uso agrícola), ao mesmo tempo em que permite que mudanças que não são de interesse (e.g. mudanças sazonais) sejam controladas (LU *et al.*, 2004).

Uma vez adotado o método pós-classificação, dois grandes paradigmas para a classificação das imagens podem ser citados: classificação baseada em pixel, e classificação baseada em objetos. Este último, chamado de *Object Based Image Analysis* - OBIA (BLASCHKE, 2010), tem representado uma evolução na extração de informações a partir de imagens de sensoriamento remoto, especialmente para imagens de alta resolução, entretanto também aplicada para imagens de resoluções médias a grosseiras, quando se busca regionalização, ou quando os objetos de interesse são maiores que a resolução empregada (BLASCHKE, 2010). Várias são as vantagens apontadas para a abordagem baseada em objetos. Entre outras, que (1) um número maior de características (*features*) podem ser usadas no processo de classificação dos objetos (ex. atributos espectrais, espaciais, contextuais), quando comparados com a abordagem baseada no pixel (BLASCHKE, 2010), (2) objetos da imagem são mais próximos de objetos reais (PLATT E RAPOZA, 2008), pois ambas informações espectrais e espaciais (contextuais) são usadas na fase de segmentação para identificar regiões homogêneas (JENSEN, 2005) e (3) o efeito *salt and pepper*, normalmente presente em classificações baseada em pixels, é evitado na abordagem OBIA (BLASCHKE, 2010).

A abordagem OBIA tem sido empregada para diferentes aplicações e áreas geográficas, bem como com diferentes tipos de imagens. Dorren *et al.* (2003), p.ex., usaram imagens Landsat para mapeamento de floresta em relevo montanhoso em Vorarlberg, na Áustria; Laliberte *et al.* (2006) usaram imagens QuickBird para Classificação de áreas áridas no Novo México; Vieira *et al.* (2012) usaram imagens Landsat de diferentes datas durante um ano agrícola para mapeamento da cana-de-açúcar no noroeste do Estado de São Paulo (Brasil). Ainda, diferentes estratégias são adotadas para classificação dos objetos (após segmentação), dependendo dos objetivos da pesquisa e características da área de estudo. Por exemplo Laliberte *et al.* (2006) compararam o uso do classificador *nearest*

neighbor e regras de decisão e Suchenwirth *et al.* (2012) combinaram OBIA e mineração de dados (*data mining*).

O conhecimento e a preocupação com o monitoramento da situação e transformação do Bioma Cerrado são ainda recentes se comparados, por exemplo, com as iniciativas já consolidadas voltadas ao monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica (ex. PRODES e DETER - INPE, 2008), a despeito da intensa transformação desde importante Bioma savânico nas últimas quatro décadas. Foi apenas recentemente que o programa PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica) mapeou a cobertura vegetal do bioma Cerrado para o ano de 2002. Subsequentemente uma parceria do MMA e IBAMA (projeto Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS) mapeou os desmatamentos para os intervalos 2002-2008, 2009 e 2010. Segundo MMA (2011), até 2010 ~48% deste bioma havia sido desmatado. Ainda, de acordo com Beuchle *et al.* (2015) essa percentagem chegaria a 52.2% em 2010. Rocha *et al.* (2011) analisaram os dematamentos no bioma Cerrado entre 2002-2009 com base em imagens MODIS, apontando uma concentração de alertas de desmatamento nos estados do Mato Grosso e Bahia. A taxa anual média de desmatamentos no Bioma entre 2002 e 2008 foi de 0.69%, a mais alta entre os biomas brasileiros (MMA 2011). Entretanto, estudos de caso tem reportado taxas de conversão muito mais altas em polos agrícolas (GRECCHI *et al.*, 2013; BRANNSTROM *et al.*, 2008) se comparadas as taxas médias para o bioma. Desta maneira verifica-se que as transformações nas paisagens agrícolas do Cerrado têm sido muito intensas, sendo, porém, ainda pouco detalhadas e suas especificidades pouco conhecidas. Uma análise de estudos prévios sobre detecção de mudanças interanuais nos Cerrados mostrou que vários destes estudos não passaram por um processo de validação dos resultados, alguns estudos ainda são preliminares ou utilizaram apenas duas datas para a análise temporal (Tabela 1).

Desta maneira, considerando-se os desafios metodológico que ainda persistem, a importância do sensoriamento remoto como ferramenta chave para mapeamento e

monitoramento das transformações destas paisagens, e ainda a importância de se conhecer os padrões locais e regionais para avaliação dos impactos dessas transformações, o presente trabalho teve como objetivo principal o mapeamento espaço-temporal das mudanças históricas no uso e cobertura da terra na região de Sapezal, um dos polos de produção

agrícola do Estado do Mato Grosso. Mais especificamente, buscou-se adaptar uma metodologia de classificação OBIA para a área de estudos para obtenção de informações sobre uso e cobertura da terra para os anos 1981, 1991, 2001 e 2011 e o detalhamento das mudanças ocorridas nesse período (1981-2011) com base em uma comparação pós-classificação.

Tabela 1: Exemplos de estudos de detecção de mudança nos Cerrados

Autor (tipo trabalho)	Área de estudo	Sensor	Anos	Objetivos / Classes	Método	Avaliação da acurácia	OBS
Nogueira <i>et al.</i> (2003) (Conferência)	Cerrado Goiás	LANDSAT	1995/ 2001	-	Subtração imagem	-	Preliminar (não apresenta resultados)
Jepson (2005) (Revista)	Cerrado Mato Grosso	LANDSAT TM/ETM+	1986 / 1992 / 1999	Cerrado, Floresta, Agropastoril	Classificação baseada no pixel, não supervisionada (b.3,4,5)	1999	
Brannstrom <i>et al.</i> (2008) (Revista)	Duas áreas no E MT / W BA	LANDSAT TM	1986 2002	Vegetação natural, agropastoril, objeto escuro	Classificação baseada no pixel não supervisionada ISODATA	2002	
Maeda (2008) (Dissertação)	Transição floresta/ cerrado (MT)	LANDSAT TM/ MSS	1973 / 1984 / 2005	Áreas desmatadas inicialmente (2005 identifica culturas e pastos)	Metodologia PRODES / CEI	-	
Sawakuchi <i>et al.</i> (2009) (Conferência)	Transição floresta/ cerrado	LANDSAT TM/ MSS	1981/2000	Floresta / Agropastoril Cerrado / Urbano / Água	Classificação baseada no pixel supervisionada (MAXVER)	-	
Batistella & Valadares (2009) (Revista)	W Bahia	LANDSAT (TM / ETM+)	1985 /2000	Detalhado (diferentes tipos de vegetação)	Interpretação visual	-	
Jesus e Epiphânio (2010) (Revista)	Chapadão do Céu (GO)	LANDSAT TM, MSS, CBERS CCD	1975/ 1979/ 1985/ 1991/ 1995/ 2000/ 2005 e 2008	Agricultura, solo, queimada, regeneração	Análise por componentes principais/ Vetores de Mudanças	Interpretação visual	Não apresenta quantificação das mudanças
Grecchi <i>et al.</i> (2013) (Revista)	Região de Primavera do Leste (MT)	LANDSAT MODIS	1985, 1995, 2005	Vegetação natural, culturas anuais e pastagens	Classificação baseada no objeto (Vizinho mais próximo)	2005 e 1995	

SIAD - Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos; CEI – “Crop Enhancement Index”; PRODES - Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia.

2. ÁREA DE ESTUDO

Área de estudo situa-se na região de Sapezal, centro-norte do Estado do Mato Grosso, no domínio do Bioma Cerrado. Seus limites correspondem às sub-bacias da margem esquerda do rio Papagaio (afluente do rio Juruena), de sua cabeceira até a confluência com o rio Save-Uina, conforme apresentado na Figura 1, totalizando 9.742 km². A área engloba a maior parte do Município de Sapezal e uma pequena parte, ao sul, do município de Tangará da Serra. Situado

na região da Chapada dos Parecis, Sapezal trata-se de um dos municípios mato-grossenses com maior produção agrícola do Estado (e.g. 2º maior produtor de algodão, 2º maior produtor de soja, 4º maior produtor de milho do Estado (IBGE, n.d)). Esta área foi selecionada (1) por se tratar de um dos polos de produção agrícola do Estado, (2) estar no domínio dos Cerrados, e (3) ter sofrido intensas transformações de suas paisagens nas últimas décadas devido à expansão do uso agrícola.

Os principais tipos de solos presentes na área são: Latossolo Vermelho-Escuro (41%), Areias Quartzosas (32%) e Latossolo Vermelho-Amarelo Podzólico (25%) (Seplan-MT, 2001). O clima nesta região é caracterizado como mesotérmico quente e úmido (Seplan-MT, 2001), (com 4 a 5 meses secos). A área selecionada contempla parte de três terras indígenas (TI): a TI TIRECATINGA, homologada em 29-Out-91, da TI PARESI (ao sul), também homologada em 29-Out-91, e uma pequena parte da TI ENAWENE-NAWE (homologada em 02-Out-96) no extremo norte da área. Embora a região de Sapezal tenha sido rota de passagem de viajantes e aventureiros desde o séc. XVIII, a colonização

da região só começou efetivamente com a abertura da fronteira agrícola mato-grossense na década de 1970. O núcleo de Sapezal começou a se formar em meados de 1987, com a abertura da estrada MT – 235 (Estrada Nova Fronteira) e do Loteamento da Cidezal Agrícola (DADOS PREFEITURA SAPEZAL).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa envolveu a extração de informações sobre uso e cobertura da terra a partir de uma série temporal de imagens LANDSAT. As principais etapas da pesquisa encontram-se ilustradas na Figura 2. Inicialmente, foram necessárias avaliações de

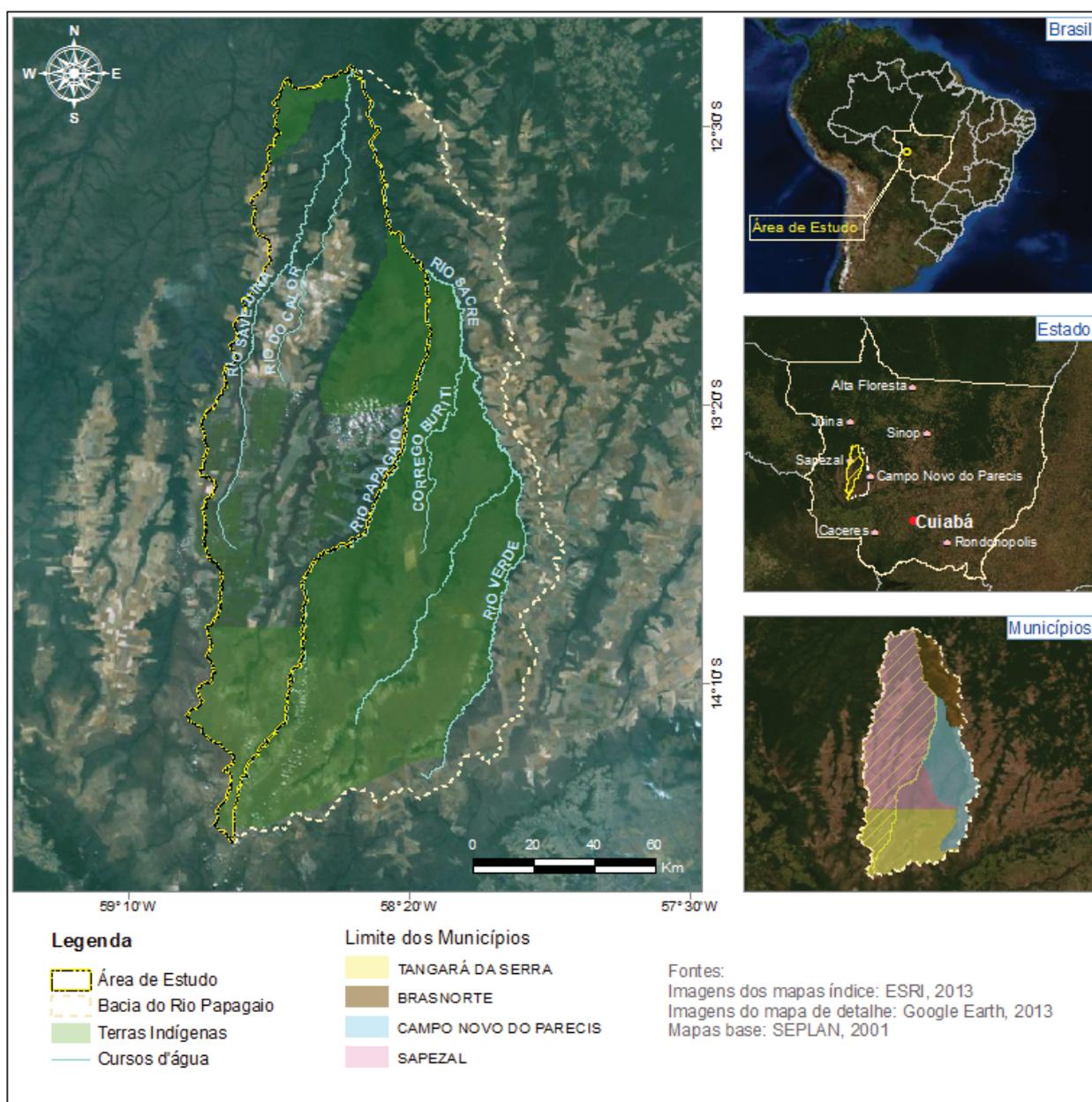


Fig. 1 - Localização da Área de Estudo. Destaque para as TI, que ocupam 29% da área selecionada.

imagens de diferentes datas, coletas de dados auxiliares, e compreensão do comportamento e da separabilidade das classes. Informações coletadas em campo foram essenciais para a caracterização do uso e cobertura da terra, bem como para a validação da classificação mais recente.

3.1 Imagens de satélite – série histórica

Uma série temporal de imagens LANDSAT TM/ETM+ e MSS, do período seco (julho) foi utilizada neste estudo (Tabela 2). Imagens do período seco foram selecionadas devido à frequente cobertura por nuvens durante as estações mais chuvosas (outubro a abril). A seleção das imagens levou em conta: 1) qualidade e menor cobertura de nuvens, 2) datas próximas para os diferentes anos visando minimizar diferenças fenológicas e atmosféricas

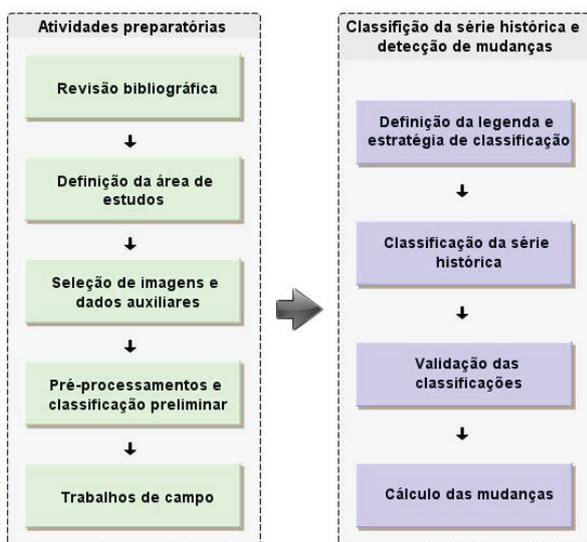


Fig. 2 - Fluxograma das etapas do trabalho.

(JENSEN, 2005).

A região de interesse é parcialmente coberta pelas cenas LANDSAT 228/69 e 228/70 (órbita/ponto), para as imagens TM/ETM+, e pelas cenas 245/69 e 245/70, para as imagens MSS.

A janela temporal utilizada (1981, 1991, 2001, 2011), visou cobrir o período de tempo em que as transformações no uso e cobertura da terra foram mais expressivas. Adicionalmente, imagens GEOCOVER (GLCF, n.d), disponíveis para a área de estudo foram adquiridas para servirem de referência no processo de correção geométrica da série temporal.

3.2 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados em janeiro de 2013 e visaram o reconhecimento geral da área de estudo, identificação dos principais tipos de uso e cobertura, e uma amostragem sistemática de pontos de controle para a validação da classificação da imagem mais recente (2011). Um total de 182 pontos foi descrito em campo.

Ressalta-se que a amostragem de campo foi condicionada também pela acessibilidade das áreas e condições das estradas. Adicionalmente, destaca-se que cerca de 29% da área de estudo é demarcada como reservas indígenas (Figura 1), não tendo sido, desta forma, percorridas.

Observa-se que não foi avaliado o grau de alteração das formações vegetais (e.g. queimadas, degradação de outra natureza), mas sim áreas convertidas para outras categorias (e.g. culturas anuais, áreas urbanas), visto que o objetivo desta pesquisa foi conhecer a evolução das áreas agrícolas e consequente perda de formações vegetais naturais.

Tabela 2: Dados de sensoriamento remoto usados nesta pesquisa

Imagens	Datas de aquisição	Sat./ Sensor	Órbita	Ponto	Resolução (m)
LANDSAT ¹	25-07-2011	L 5 TM	228	69/70	30
	21-07-2001	L 7 ETM+	228	69/70	30
	18-07-1991	L 5 TM	228	69/70	30
	25-07-1981	L2 MSS	245	69/70	60
GEOCOVER ² (Referência)	14-06-2005	L 7 ETM+	228	69/70	30
	07-09-2001	L 7 ETM+	228	70	30
	05-07-2001	L 7 ETM+	228	69	30
	23-06-1988	L5 TM	228	70	30
	31-07-1990	L5 TM	228	69	30
	15-06-1975	L2 MSS	245	70	60

¹ Base de dados INPE / ² Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>)

3.3 Pré-processamento das imagens

As imagens que compuseram a série histórica foram corrigidas geometricamente visando remover distorções e tornar possível a sobreposição das mesmas. O registro se deu através de um procedimento imagem-imagem, usando-se como referência imagens LANDSAT Geocover. Foram usados 30 pontos de controle por imagem, função polinomial de segunda ordem e reamostragem pelo método do vizinho mais próximo. O erro quadrático médio (RMSE) para os diferentes anos foi ≤ 0.5 pixels, como proposto na literatura (JENSEN, 2005).

Correções atmosféricas não foram aplicadas visto que as imagens foram classificadas de maneira independente, não tendo havido extensão no tempo de amostras de treinamento ou valores dos atributos (*threshold*), conforme recomendado por Jensen (2005). Segundo este autor, correção atmosférica é desnecessária quando os dados de treinamento e os dados a serem classificados estiverem na mesma escala relativa (corrigidos ou não corrigidos). Este autor ressalta também não ser necessária correção atmosférica quando transformações lineares dos dados são aplicadas (e.g. NDVI) visando apenas analisar mudança da cobertura do solo no tempo, e não mudanças biofísicas (caso em que estas correções seriam necessárias).

Após a correção geométrica, mosaicos das cenas 228/69 e 228/70, foram construídos para cada ano estudado (1981, 1991, 2001, 2011). Esses mosaicos foram recortados com os limites da área de interesse (AI). Os limites da bacia de estudo foram extraídos de maneira automática, a partir do modelo digital de elevação (SRTM) (RABUS *et al.*, 2003), através da extensão ArcSWAT no ArcGIS.

3.4 Classes de interesse

Visando compreender a conversão da vegetação natural em sistemas agrícolas, as seguintes classes temáticas foram analisadas (Tabela 3):

3.4.1 Terras Agrícolas

A classe “terras agrícolas” refere-se às culturas anuais (especialmente soja, milho e algodão) predominantes na área de estudo. Áreas

de pastagem são bastante localizadas nesta bacia, conforme verificado tanto em campo quanto em mapeamentos prévios (SEPLAN-MT, 2001). O uso agrícola, por sua dinâmica, é representado por diversos tipos de cobertura (ex. solo exposto, cobertura vegetal, cobertura morta, etc). Na presente pesquisa buscou-se cartografar as terras agrícolas como uma categoria, portanto não discriminando os diferentes tipos de culturas ou coberturas do solo. Informações sobre a produção agrícola municipal são disponíveis para o município de Sapezal a partir de 1997 (Figura 3), ocasião em que a área plantada era de 200.000 ha (predominantemente soja) (IBGE, n.d).

3.4.2 Vegetação Natural

A classe definida neste estudo como “vegetação natural” consiste de diferentes fisionomias do bioma Cerrado, incluindo formações savânicas e florestais. Para fins de classificação das imagens, considerou-se duas categorias, “cerrado ralo” e “cerrado denso”, depois reagrupadas em uma única classe “vegetação natural”. Significativa parte desta vegetação encontra-se protegida na forma de reservas indígenas. A reserva mais ao sul da área compreende fisionomias bastante abertas (com porções de solo exposto), e sinais de bastante alteração por queimadas.

As áreas de Reserva Indígena foram avaliadas por interpretação de imagens disponíveis e análise de mapeamentos anteriores (PROBIO, SEPLAN, GlobCover 2009 (ESA, 2015)), uma vez que não puderam ser acessadas durante os trabalhos de campo.

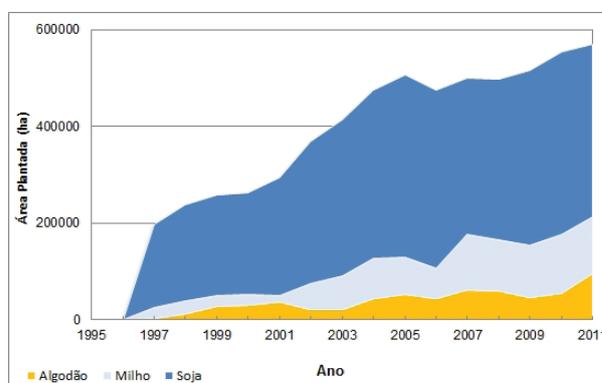


Fig. 3 - Evolução da área plantada de soja, milho, e algodão no município de Sapezal (IBGE, n.d).

3.4.3 Corpos d'Água

Os “corpos d’água” na área de estudo consistem de pequenos rios, córregos e pequenas represas. A maioria destes corpos d’água não é detectável na resolução das imagens usadas. Visto que a parcela mapeável desta classe perfaz uma porcentagem muito pequena da área de estudo (<0.1%), estas áreas não foram mapeadas individualmente. Optou-se por cartografar essas áreas juntamente com a classe “Vegetação” visto que as pequenas áreas mapeadas em testes preliminares consistiram de pequenas represas contornadas por vegetação.

3.4.4 Área Urbana

A classe “área urbana” refere-se à área urbana do Município de Sapezal, passível de mapeamento apenas a partir de 2001. Por corresponder a apenas um polígono na abordagem deste trabalho, esse foi classificado por interpretação visual.

3.4.5 Áreas Recém-Abertas

Parte das áreas convertidas, especialmente para as datas mais antigas, consiste de áreas onde

a vegetação original foi suprimida, porém ainda não havia evidências de uso agrícola ou havendo evidências de um desmatamento incompleto. Optou-se por classificá-las como uso agrícola pela vocação e dinâmica da região, visto que estas áreas recém-abertas são normalmente integradas à produção num curto período de tempo.

3.5 Método empregado

Uma abordagem de classificação orientada a objeto (OBIA), que consiste na segmentação de imagem e posterior classificação dos objetos, foi empregada no presente estudo para quantificação da expansão agrícola na área de interesse nos últimos 30 anos. Esta abordagem foi selecionada por propiciar o agrupamento dos pixels em regiões homogêneas na fase de segmentação, sendo apropriado no presente caso pelo fato dos objetos-alvo (áreas agrícolas e remanescentes de vegetação natural) serem muito maiores que o tamanho do pixel (30m). Adicionalmente, nesse tipo de abordagem, a análise de um objeto não precisa se limitar aos atributos espectrais, podendo também ser descritos de

Tabela 3: Esquema de classificação

Legenda presente pesquisa	Principais classes de uso e cobertura	Mapeamentos prévios	
		Mapa de vegetação e uso (Seplan-MT, 2001)	PROBIO (MMA, 2014)
Terras agrícolas/ áreas recém-abertas	Culturas anuais (especialmente soja, mas também milho, algodão)	USO AGROPECUÁRIO - culturas anuais	ÁREAS ANTRÓPICAS - Agricultura - Ac
		USO AGROPECUÁRIO - pastagem	
Vegetação natural	Formações savânicas (Cerrado)	Savana Arborizada (cerrado) - Sa Savana Florestada (cerradão) - Sd Área de Queimada	Savana Arborizada (Saf) Savana Parque (Sps)
		Matas galeria	Formação riparia Floresta Est. Sem. Aluvial (Fa) Floresta Est. Sem. Montana (Fs)
Área urbana	Área urbana de Sapezal	-	-
Corpos d'água	Rios e pequenas represas	-	-

PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira) do Ministério do Meio Ambiente - Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado.

acordo com sua forma, textura ou contexto. Ainda, este método permite a integração de conhecimento do intérprete, referidos como sistemas baseados em conhecimento (PINHO, 2006). O *software* utilizado para a segmentação e classificação das imagens foi eCognition developer 8 (DEFINIENS, 2008).

Durante o processo de definição da estratégia de classificação, vários testes foram realizados, incluindo a aplicação do método supervisionado do vizinho mais próximo (NN) e a geração de árvores de decisão a partir do método de mineração de dados (data mining). Nesta fase foi verificado que áreas com cobertura vegetal rala e porções de solo exposto ao sul da área eram classificadas como áreas agrícolas (ver Figura 4 a-d). Tais áreas encontram-se

dentro dos limites da reserva indígena (na porção sul da área de estudos), sendo um local de difícil classificação devido à ausência de dados de campo e por se tratar de uma área com queimadas frequentes, tendo sido mapeado anteriormente como área queimada (SEPLAN-MT). Entretanto, com base na análise de imagens históricas disponíveis, apesar da presença de alguma infraestrutura e possivelmente algumas alterações antrópicas, não se observou a conversão para uso agrícola consolidado. Adicionalmente no mapeamento Globcover (ESA, 2015) estas áreas foram mapeadas com vegetação arbustiva (*shrublands*) abertas a fechadas. Após as análises mencionadas, optou-se por mapear essas áreas como áreas de Cerrado.

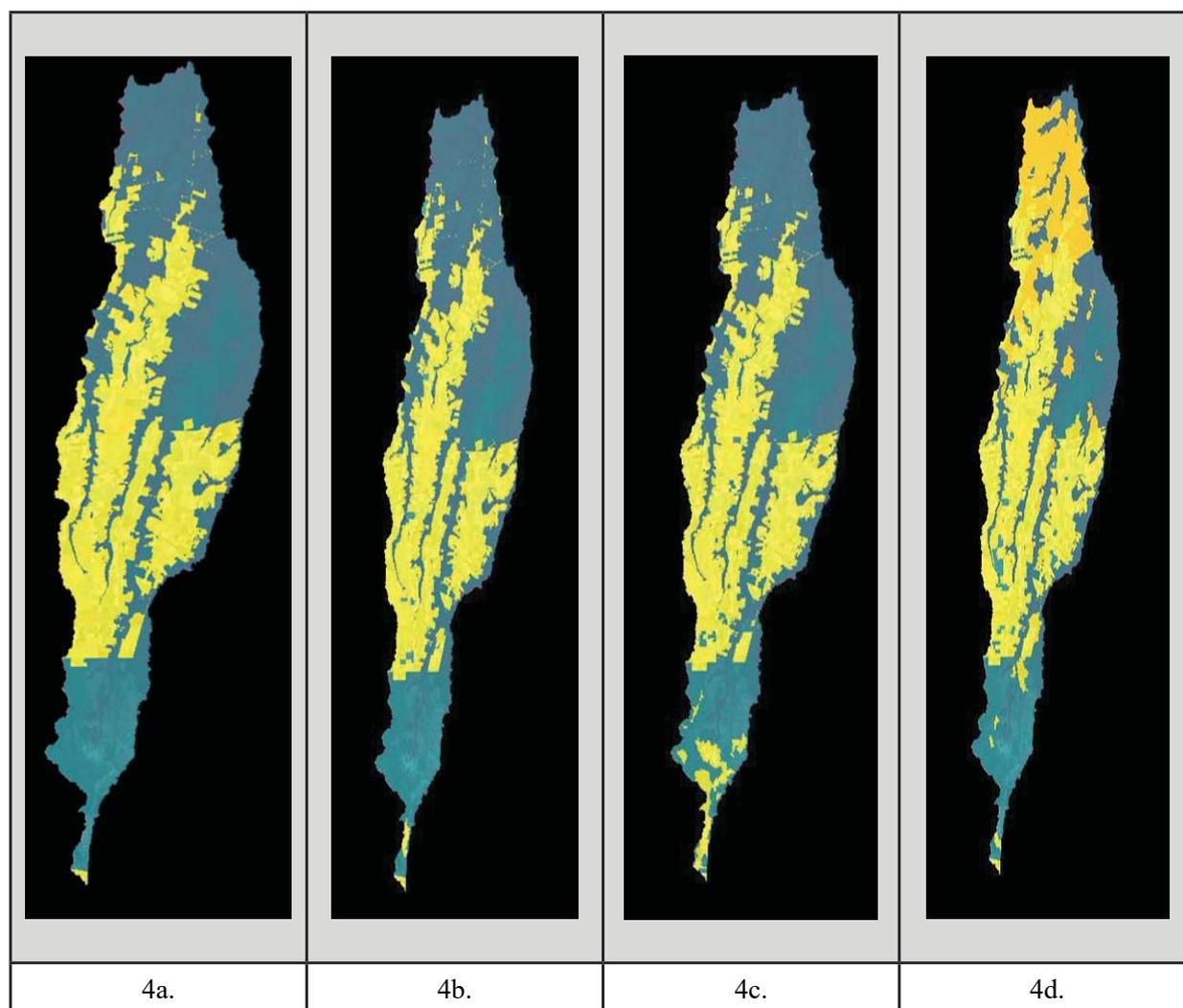


Fig. 4 - Exemplo do resultado 2010 (a) e de resultados obtidos em testes preliminares usando diferentes classificadores: (b) classificador NN mostrando pequenos erros ao sul da área (b), árvore de decisão obtida a partir do método de mineração de dados que resultou em erros de classificação na porção sul da área, (d) outro exemplo de árvore de decisão obtida a partir do método de mineração de dados que resultou em importantes erros de classificação na porção norte da área.

Desta maneira um esquema de classificação com 2 níveis de segmentação foi empregado conforme apresentado na Tabela 4. O primeiro nível visou a estratificação da área em “reserva indígena” e “não reserva”, através do uso de um *layer* temático “Reservas Indígenas” no processo de segmentação, gerando uma informação contextual que foi utilizada como informação auxiliar na classificação dos objetos no nível seguinte. As classes de interesse foram organizadas de maneira hierárquica e classificadas em um processo de eliminação, a partir de uma árvore de decisão construída com base em dados de campo, informações secundárias e análise interativa de diferentes feições descritivas (média das bandas, NDVI, geometria, etc) para separar as classes de interesse. Cada ano da série temporal foi classificado de maneira independente e os limiares para classificação dos objetos derivados da própria imagem. A escala de segmentação também precisou ser ajustada, pois, para os anos 1981 e 1991 as áreas convertidas representavam polígonos muito menores que nos anos mais recentes (2011 e 2001). Um fluxograma com o processo de classificação, adaptado para cada ano, pode ser observado nas Figuras 5 e 6.

Destaca-se que a estratégia utilizada foi a mesma para a série temporal e apenas ajustada para as especificidades de cada ano, e ainda que não houve edição manual dos resultados para a validação. A abordagem de classificação empregada visou uma solução simplificada e apta a discriminar áreas agrícolas de áreas de cerrado (objetivo deste trabalho), na qual a integração de regras de classificação definidas pelo usuário (*expert knowledge*) foi imprescindível.

Abordagem semelhante, usando um primeiro nível de segmentação (*chessboard*) com base em *layer* temático foi utilizada por Goltz *et al.* (2009), para identificação de áreas de reforma de cana de açúcar. Adicionalmente, a abordagem de classificação por eliminação foi empregada por Jobin *et al.* (2008) para identificação de habitats.

A exatidão das classificações foi avaliada através de uma matriz de erro (CONGALTON,

Tabela 4: Sumário dos parâmetros de segmentação

Nível	Nível 1	Nível 2
Algoritmo	Chessboard	Multiresolution
Escala	10000	100 (2011, 2001) 50 (1991, 1981)
Color/ Shape	-	0.9/0.1
Smoothness/ Compactness	-	0.5/0.5
Layers	Temático “reserva”	Bandas TM
Objetivos	Identificação dos limites das Reservas indígenas	Identificação de áreas agrícolas e vegetação natural

Validação dos resultados

1991). Um conjunto de 272 pontos de referência foi utilizado para o ano 2011, sendo 182 pontos coletados em campo (137 para uso agrícola e 45 para vegetação natural) e 92 pontos gerados aleatoriamente para a área da Reserva indígena (área de vegetação supostamente inalterada) a qual não foi possível acessar em campo. Uma verificação visual de cada ponto gerado para a área da reserva foi realizada visando confirmar a classificação a priori como vegetação natural, caso contrário sendo reclassificados como uso antrópico.

Para o ano 2001, inicialmente considerou-se a utilização do mapa do projeto PROBIO (MMA, 2015) como referência, o qual mapeou o Bioma Cerrado para o ano 2002 (apenas um ano de diferença) e com base em imagens LANDSAT. Entretanto, após uma análise desses dados para a área de estudo, verificou-se que uma parte considerável da reserva indígena ao sul foi classificada como área agrícola (parte da área discutida anteriormente), e outra parte similar foi classificada como cerrado. Para os demais anos não foram identificados dados de referência para validação. Beuchle *et al.* (2015) destacam a dificuldade de se obter dados de campo ou imagens de alta resolução para validação de mapas de cobertura, e usam a interpretação de interpretes independentes como alternativa visando avaliar a “consistência” das classificações.

Desta maneira, a avaliação dos resultados para os anos 1981, 1991, 2001 foi efetuada a partir da interpretação visual por dois interpretes independentes que trabalharam em conjunto

e chegaram a um consenso, desta maneira gerando uma referência com 150 pontos para cada ano. Esses 150 pontos foram selecionados aleatoriamente a partir do conjunto de pontos de campo (usados para validação da classificação de

2011). Desses 150 pontos, oito foram indicados como “não avaliados” para os anos de 1981 e 1991, e cinco para o ano de 2001. Vale observar que esses pontos “não avaliados” se situam nas áreas ao sul discutidas anteriormente.

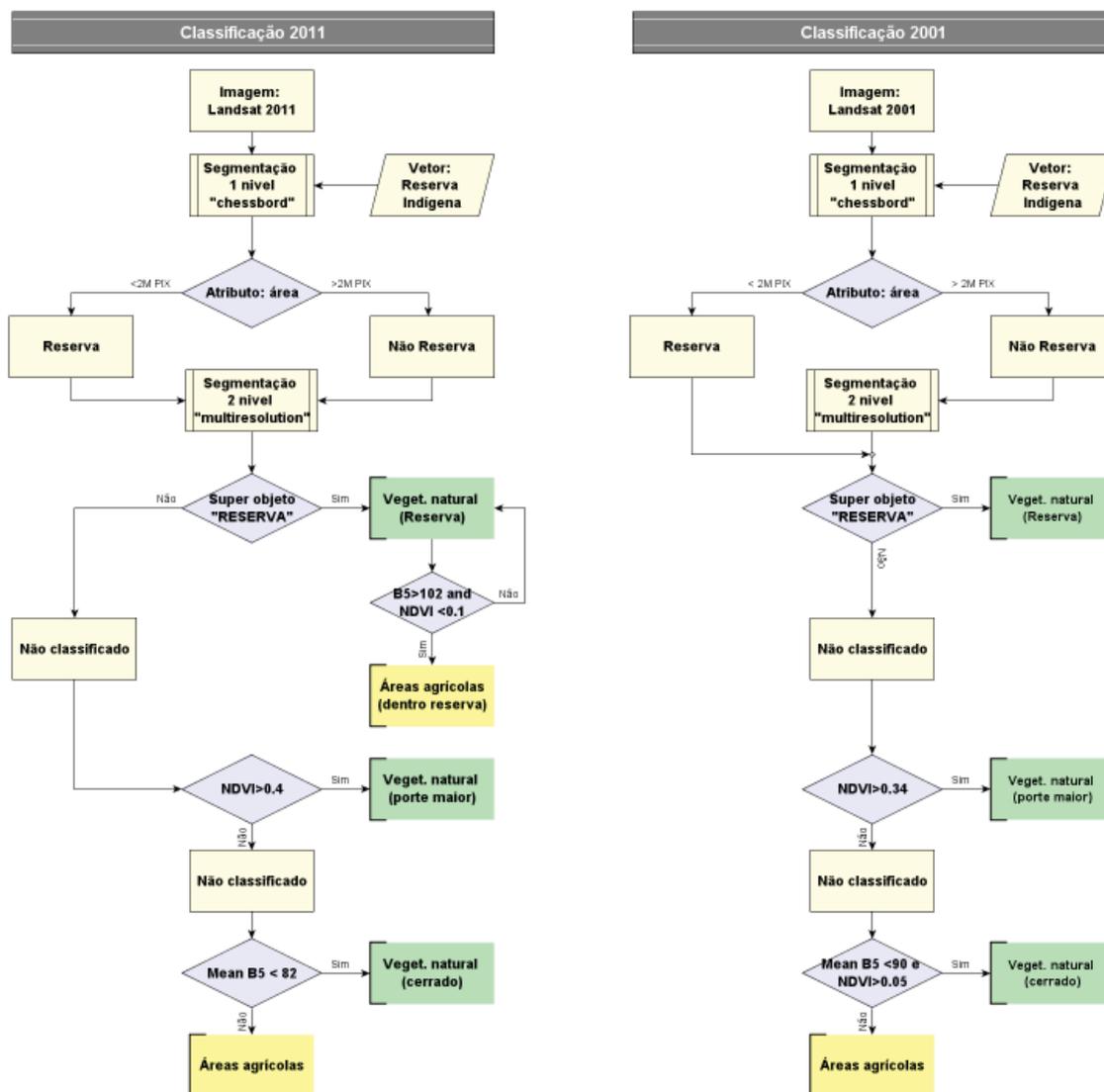


Fig. 5 - Metodologia de classificação 2011 e 2001.

3.7 Quantificação das mudanças

A análise das transformações incluiu a geração de matrizes de mudança para os diferentes períodos, através da comparação (em pares) dos mapas resultantes do processo de classificação e a quantificação das taxas anuais de mudanças a partir da Eq. 1 (PUYRAVAUD, 2003). Como análise complementar, os mapas de uso e cobertura da terra foram comparados (via SIG) com o mapa de aptidão agrícola do Estado do Mato Grosso na escala 1:250.000 (SEPLAN-MT, 2001), simplificado em quatro categorias

(aptidão boa, regular, restritiva e não apto), visando analisar como as mudanças ocorridas respeitaram ou não restrições ambientais, e também comparar com os padrões de mudança em outro polo agrícola do Mato Grosso onde essa análise foi empregada (GRECCHI *et al.*, 2014).

$$P = \frac{100}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1} \quad (1)$$

onde:
P é a porcentagem de “perda de floresta” por ano

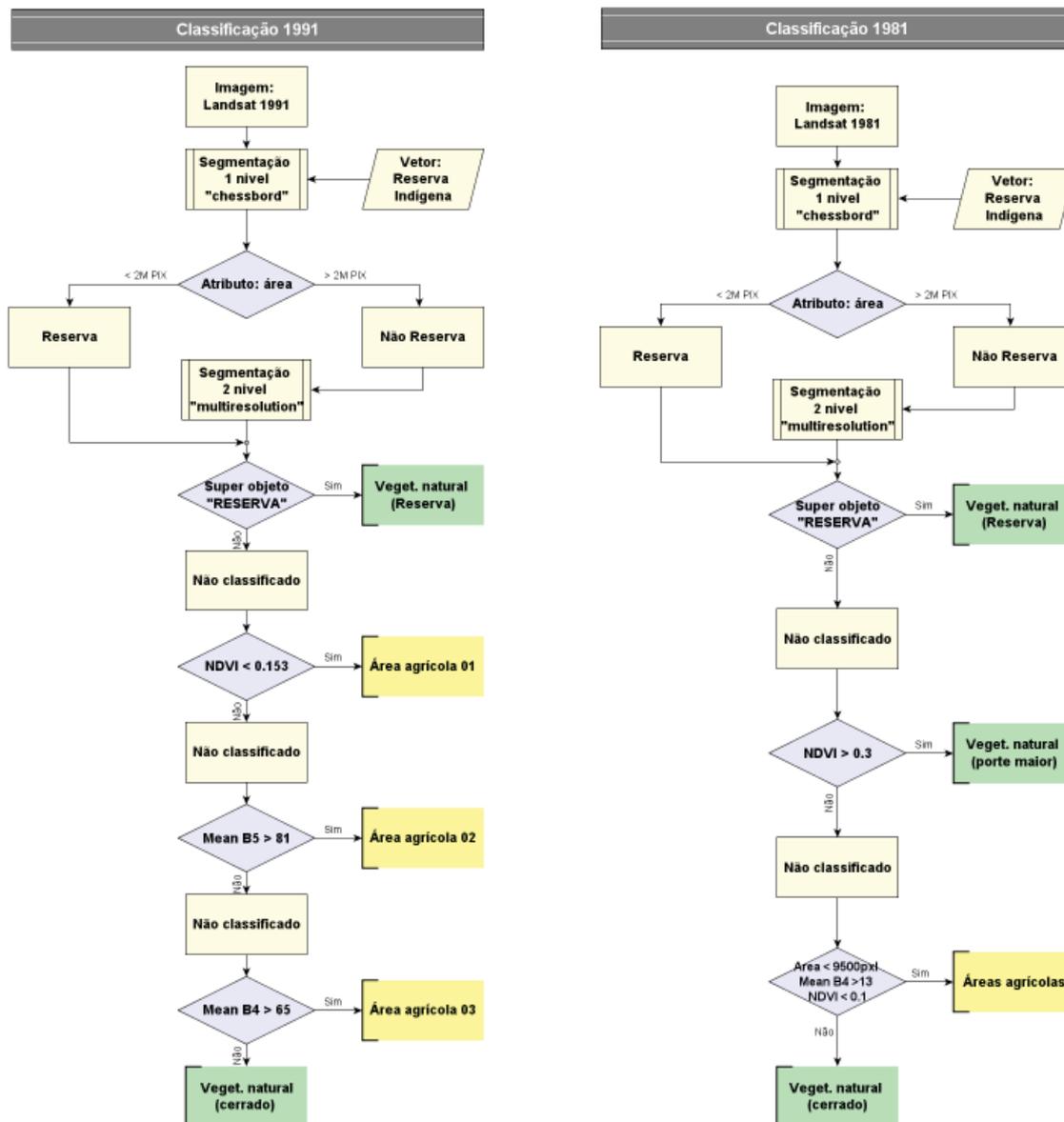


Fig. 6 - Metodologia de classificação 1991 e 1981.

A_1 e A_2 são as quantidades de “cobertura de floresta” no tempo t_1 e tempo t_2 respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das classificações para os anos 1981, 1991, 2001 e 2011 são apresentados na Figura 7, juntamente com gráficos mostrando a percentagem de cada classe nos diferentes anos.

As exatidões globais obtidas para as classificações foram 92,73%, 87,59%, 94,37% e 93,66% para os anos 2011, 2001, 1991 e 1981 respectivamente, conforme apresentado na Tabela 5. Exemplos de matriz de erro para os anos 2011 e 2001 são apresentados na tabela 6. Verifica-se que os erros mais expressivos em 2011 foram de comissão para a classe “terras agrícolas” e omissão para “vegetação natural”.

Para 2001 observou-se a situação oposta, sendo os erros maiores de omissão para uso antrópico e de comissão para vegetação. Os índices Kappa variaram de 0,86 a 0,66, que são considerados excelente e bom respectivamente de acordo com Landis e Koch (1977).

As mudanças de cobertura para o período de análise mostram que (Tabela 7 e Figura 8) até o início da década de 80 apenas 2% dos Cerrados tinham sido convertidos em áreas agrícolas. Na década seguinte (1981-1991) as terras agrícolas expandiram a uma taxa de 18,2% ao ano passando de 208,65 km² em 1981 para 1293,83 km² em 1991. De 1991 a 2001, a taxa de conversão seguiu alta, diminuindo consideravelmente na última década (2001-2011). Em contrapartida,

a vegetação natural foi reduzida de 98% em 1981 para 60% em 2011. Dos 60% de Cerrado remanescentes em 2011, destaca-se que 29% estão dentro dos limites de Reservas Indígenas. Desta maneira, se excluirmos as áreas de cobertura vegetal em áreas de Reserva, o percentual de vegetação remanescente cai para 31%.

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentadas as matrizes de mudança para os períodos 1981-2011 (período total de análise) e para 1991-2001, período no qual ocorreram as maiores mudanças (21% dos Cerrados foram convertidos nesse período). Consequentemente a taxa média de perda de vegetação natural foi mais alta entre 1991 e 2001 em relação aos outros períodos, conforme observado na Tabela 7.

Embora as taxas de conversão tenham diminuído na última década (2001-2011), verifica-se que em 2001 o uso agrícola já estava consolidado, diferentemente dos anos anteriores, em que o uso agrícola era mais fragmentado e envolto pelo Cerrado.

Embora com um percentual muito pequeno, algumas áreas desmatadas/cultivadas em datas mais antigas foram classificadas novamente como vegetação, caracterizando um processo de regeneração. Foi observado em campo que algumas áreas abertas em região de solos mais arenosos foram abandonadas. Um trabalho recente de mapeamento da cobertura vegetal (HANSEN *et al.*, 2013) também indicou o ganho de cobertura (*forest cover gain*) da ordem de 0,3% para essa área. Entretanto, ressalta-se que o percentual

dessas áreas é muito baixo (<0,5%), conforme apresentado na tabela 8, e uma parte também pode ser decorrente de erros de classificação.

As taxas de perda de vegetação natural para a área de estudos diminuíram de 1991-2001 para 2001-2011, mostrando a mesma tendência de estudos anteriores (GRECCHI *et al.*, 2013, BEUCHLE *et al.*, 2015), porém conforme já verificado em outros estudos de caso, as taxas de perda de Cerrado são mais altas nos polos agrícolas se comparadas a taxas médias apresentadas para o bioma. Por exemplo, Beuchle *et al.* (2015) apresentam taxas de -0,79%/ano para o intervalo 1990-2000 e -0,44%/ano para 2000-2010, intervalos similares aos dessa pesquisa para os quais as taxas médias anuais foram de -2,8%/ano e -1,0% para 1991-2001 e 2001-2011 respectivamente. Ressalta-se, conforme já mencionado, que essas taxas seriam maiores se não consideradas as áreas de reserva indígena, o que denota a fundamental importância dessas áreas (reservas) para a preservação da vegetação natural.

A comparação da evolução das áreas agrícolas na AI com o mapa de aptidão agrícola e de solos do Estado mostrou que houve um aumento significativo de ocupação de solos considerados de aptidão restrita e inaptos ao uso agrícola, passando de 3,9% em 1981 a 11,5% em 2011. O padrão nessa área foi semelhante ao observado por Grecchi *et al.* (2013) para a região de Primavera do Leste, com o aumento do uso de terras consideradas mais frágeis, uma vez que as terras de melhor aptidão foram sendo esgotadas.

Tabela 5: Acurácia das classificações para os diferentes anos

	Exatidão do produtor %	Exatidão do usuário %	Exatidão Global %	Índice Kappa
2011				
Terras agrícolas	97,81	89,33	92,73	0,86
Vegetação natural	88,32	97,58		
2001				
Terras agrícolas	80,00	96,97	87,59	0,75
Vegetação natural	96,92	79,75		
1991				
Terras agrícolas	81,82	100,0	94,37	0,86
Vegetação natural	100,0	92,45		
1981				
Terras agrícolas	52,63	100,0	93,66	0,66
Vegetação natural	100,0	93,18		

Tabela 6: Matriz de erro para os anos 2011 e 2001

Dados referência 2011					
Classificação	2011	Terras agrícolas	Vegetação natural	Total	
		Terras agrícolas	134	16	150
		Vegetação natural	3	121	124
		Total	137	137	274
Dados referência 2001					
Classificação	2001	Terras agrícolas	Vegetação natural	Total	
		Terras agrícolas	64	2	66
		Vegetação natural	16	63	79
		Total	80	65	145

Tabela 7: Situação da cobertura para os anos de análise e taxas anuais de mudança

	1981		1991		2001		2011	
	Área (km ²)	%						
Terras agrícolas	208,65	2	1.293,83	13	3.352,43	34	3.926,67	40
Vegetação natural	9.524,45	98	8.446,06	87	6.389,94	66	5.802,92	60
Taxa anual de perda de vegetação natural (%)			1981-1991		1991-2001		2001-2011	
	-1,2		-2,8		-1,0			

Tabela 8: Matriz de mudança global: 1981-2011

"para" 2011 (% área)					
"de"	1981	Vegetação natural	Terras agrícolas	Total	
		Vegetação natural	59,52%	38,33%	97,90%
		Terras agrícolas	0,16%	1,98%	2,14%
		Total	59,68%	40,32%	100,00%

Tabela 9: Matriz de mudança para o período: 1991-2001

"para" 2001 (% área)					
"de"	1991	Vegetação natural	Terras agrícolas	Total	
		Vegetação natural	65,14%	20,60%	86,00%
		Terras agrícolas	0,44%	13,82%	14,00%
		Total	66,00%	34,00%	100,00%

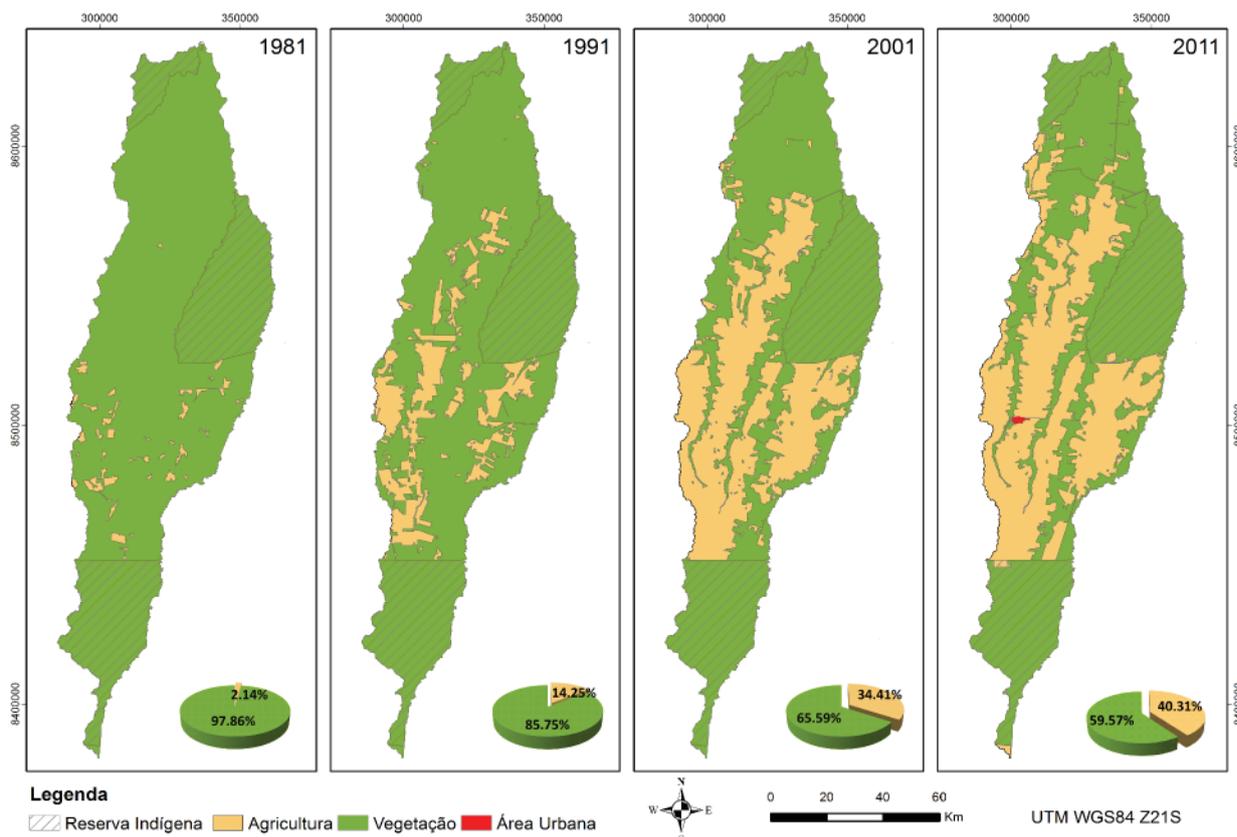


Fig. 7 - Mapas mostrando a dinâmica das variações de uso e cobertura da terra dos anos 1981, 1991, 2001 e 2011.

CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que a área analisada sofreu importantes transformações no uso e cobertura da terra entre os anos de 1981 e 2011 como resultado da expansão agrícola. Neste período, 38% dos Cerrados foram convertidos em terras agrícolas.

Os resultados apresentados nesse trabalho fornecem o status da área de estudo em termos de cobertura vegetal e sua evolução ao longo do tempo, dados estes fundamentais como ponto de partida para diversos estudos sobre os impactos que essas transformações podem acarretar, como por exemplo, avaliar emissões, impactos na biodiversidade, na capacidade desses sistemas de prover serviços ambientais, entre outros.

O método OBIA usado para extrair informações de uso e cobertura a partir de imagens LANDSAT mostrou-se adequado para cartografar a conversão de áreas de Cerrado em campos agrícolas, gerando resultados com acurácia relativamente elevada e limites das classes condizentes com objetos reais. Adicionalmente, a possibilidade de integração

de informações contextuais (área da reserva indígena) no processo de classificação foi essencial para evitar erros de classificação já observados em mapeamentos anteriores.

Destaca-se que a metodologia desenvolvida para esse polo agrícola tem o potencial para ser adaptada a outras áreas agrícolas no Estado com características semelhantes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo Auxílio à Pesquisa 2011/22027-2) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq (Processo PDJ: 150841/2012-4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 65, p. 2-16, 2010.
- BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E;

- ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian *Cerrado* and *Caatinga* biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v.58, p.116-127, 2015.
- 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, 2008.
- CASSMAN, K. G., WOOD, S., CHOO, P. S., COOPER, H. D., DEVENDRA, C., DIXON, J., GASKELL, J., KHAN, S., LAL, R., LIPPER, L., PRETTY, J., PRIMAVERA, J., RAMANKUTTY, N., VIGLIZZO, E., KADUNGURE, S., KANBAR, N., KHAN, Z., LEAKEY, R., PORTER, S., AND THARME, R. (2005) **Cultivated Systems. Ecosystems and human well-being: current state and trends**, Island Press, Washington DC, 745-794 p.
- CONGALTON, R. A review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, p. 35-46, 1991.
- COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Review Article Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, 2004.
- DEFINIENS. **Definiens Developer 7: User Guide**. München, p.506. 2008
- DORREN, L. K. A.; MAIER, B.; SEIJMONSBERGEN, A. C. Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification. **Forest Ecology and Management**, v. 183, p. 31-46, 2003.
- ESA. GLOBCOVER 2009. **Global Land Cover Maps**. Disponível em: <http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php>. Último acesso: Setembro 15, 2015.
- FALEIRO, F. G.; SOUZA, E. S. **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para o Cerrado**. Planaltina-DF, p.138. 2007.
- GLCF. Landsat GeoCover. **Global Land Cover Facility**, Maryland, n.d. Disponível em: <<http://www.landcover.org/research/portal/geocover/>>. Acesso em: May 11, 2010.
- GRECCHI, R.; GWYN, Q. H.; BÉNIÉ, G.; FORMAGGIO, A. Assessing the spatio-temporal rates and patterns of land-use and land-cover changes in the Cerrados of southeastern Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 15, p. 5369–5392, 2013. ISSN 1366-5901.
- HANSEN, M. C., POTAPOV, P. V., MOORE, R., HANCHER, M., TURUBANOVA, S. A., TYUKAVINA, A., *et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, 342, 850e853, 2013.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal. **Sistema IBGE de recuperação Automática - SIDRA**, n.d. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: April 5, 2010.
- INPE. Monitoramento da cobertura florestal da Amazonia por Satélites. Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD E QUEIMADAS 2007-2008. 47 p, São José dos Campos, 2008.
- JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective**. 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005. 526 ISBN 0-13-145361-0.
- JEPSON, W. A disappearing biome? Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**, v. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.
- JESUS, S. C. E EPIPHANIO, J. C. N. **Sensoriamento Remoto Multissensores para a Avaliação Temporal da Expansão Agrícola Municipal**. Bragantia, v.69, n.4, p.945-956, 2010.
- LALIBERTE, A.; KOPPA, J.; FREDRICKSON, E.; RANGO, A. Comparison of Nearest Neighbor and Rule-based Decision Tree Classification in an Object-oriented Environment. **2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing**, p. 3923-3926, 2006. ISSN 0-7803-9510-7.
- LAMBIN, E. F.; GEIST, H.; RINDFUSS, R. R. Introduction: Local Processes with Global Impacts. In: LAMBIN, E. F. e GEIST, H. (Ed.). **Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts**. Berlin: Springer, 2006. p.205. (Global Change – The IGBP Series).

- LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2401, 2004.
- LUNETTA, R. S.; EDIRIWICKREMA, J.; JOHNSON, D. M.; LYON, J. G.; MCKERROW, A. Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA. **Remote Sensing of Environment**, v. 82, n. 2-3, p. 258-270, 2002.
- MAEDA, E. E. Influência das Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos na Região da Bacia do Alto Rio Xingu. 2008. 102 **Master's thesis** INPE, São José dos Campos.
- MMA. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Disponível em <http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm> / Último acesso 25.04.15.
- MMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por Satélite. Acordo de cooperação técnica MMA-IBAMA. **Monitoramento do Bioma Cerrado: 2009-2010. 2011**. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatoriofinal_cerrado_2010_final_72_1.pdf.
- PLATT, R. V.; RAPOZA, L. An Evaluation of an Object-Oriented Paradigm for Land Use / Land Cover Classification. **The Professional Geographer**, v. 60, p. 87-100, 2008.
- PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada a classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. Dissertação de Mestrado, INPE, 2006. 180 p.
- RABUS, B., M. EINEDER, A. ROTH, AND R. BAMLER. 2003. "The Shuttle Radar Topography Mission: A New Class of Digital Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar." **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** 57: 241–262.
- RAMANKUTTY, N. *et al.* Global Land-Cover Change: Recent Progress, Remaining Challenges. In: LAMBIN, E. F. e GEIST, H. (Ed.). **Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts**. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. p.9-39.
- ROCHA, G. F., FERREIRA, L. G., FERREIRA, N. C., & FERREIRA, M. E. "Detecção de Desmatamentos no Bioma Cerrado entre 2002 e 2009: Padrões, Tendências e Impactos". **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, p. 341-349, 2011.
- SAWAKUCHI, H. O.; BALLESTER, M. V. R. Análise temporal da estrutura da paisagem em uma zona de ecótono entre floresta amazônica e cerrado e a importância das unidades de conservação. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. INPE. p.6203-6209.
- SEPLAN-MT. **Mapas temáticos 1: 250.000**. Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso (PRODEAGRO). Cuiabá: Secretaria do Estado de Planejamento e Coordenação Geral (Seplan) 2001.
- SINGH, A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989-1003, 1989.
- SIVRIKAYA, F.; ÇAKIR, G.; KADIOGULLARI, A. I.; KELES, S.; BASKENT, E. Z.; TERZIOGLU, S. Evaluating land use/land cover changes and fragmentation in the Camili forest planning unit of northeastern Turkey from 1972 to 2005. **Land Degradation & Development**, v. 18, n. 4, p. 383-396, 2007.
- SUCHENWIRTH, L. O.; GÄRTNER, P.; FÖRSTER, M.; KLEINSCHMIT, B. Combining Object-Based Image Analysis and Data Mining for Carbon Assessment in Floodplains. **Proceedings of the 4th GEOBIA**: 96-101 p. 2012.
- VIEIRA, M. A.; FORMAGGIO, A. R.; RENNÓ, C. D.; ATZBERGER, C.; AGUIAR, D. A.; MELLO, M. P. Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 553-562, 2012.