

CLASSIFICAÇÃO MULTITEMPORAL ORIENTADA A OBJETOS APLICADA ÀS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA

MULTITEMPORAL OBJECT-ORIENTED CLASSIFICATION APPLIED TO LAND USE AND COVER CHANGE

Marcos Wellausen Dias de Freitas¹, João Roberto dos Santos¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil, freitas, jroberto@dsr.inpe.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo gerar a classificação multitemporal, por métodos orientados a objetos, de imagens Landsat-TM para o mapeamento de uso e cobertura da terra e de suas mudanças na região do Alto Uruguai (fronteira do RS e SC) entre os anos de 2002 e 2008. O procedimento metodológico adotado envolveu: correção geométrica das imagens, segmentação multi-resolução, seleção de amostras, seleção de atributos e classificação por vizinho mais próximo. Os resultados são os mapeamentos com sete classes de uso e cobertura da terra (floresta avançada, campo nativo, silvicultura, agricultura familiar, agricultura de grande porte, urbano e água) e seis processos de mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos de 2002 e 2008 (recuperação, retração agrícola, expansão da silvicultura, expansão agrícola, degradação e urbanização). O método de classificação orientada a objetos apresentou bons resultados do ponto de vista qualitativo, porém em outras etapas da pesquisa em andamento serão incorporadas novas técnicas e gerada a verificação estatística com dados de campo.

Palavras-chave: Classificação orientada a objetos, uso e cobertura da terra, dinâmica da paisagem, GEOBIA.

ABSTRACT

This study aimed to generate multitemporal classification of Landsat-TM images by object-oriented image analysis (GEOBIA) methods, for mapping land use and land cover and its changes in the Alto Uruguay River (border of RS and SC in Brazil) between the years 2002 and 2008. The methodological procedures involved: geometric correction of images, multi-resolution segmentation, selection of samples, attribute selection and classification by nearest neighbor algorithm. The results are land use and cover mappings with seven classes (advanced forest, native grassland, forestry, family agriculture, large farming agriculture, urban and water) and six land use and cover change processes between the years 2002 and 2008 (restoration, agricultural decline, forestry expansion, agricultural expansion, land degradation and urbanization). The method of object-oriented classification showed good results in terms of quality, but at other stages of the ongoing research new techniques will be incorporated and will be generated the statistical verification with field data.

Keywords: Object-oriented classification, land use and cover, landscape dynamics, GEOBIA.

INTRODUÇÃO

As mudanças de uso e cobertura da terra, conhecidas internacionalmente como LUCC (Land Use and Cover Change), são um dos principais fatores de atenção na atualidade frente às mudanças ambientais globais em curso a partir de meados do século XX. Na área da Bacia do Rio Uruguai, que apresenta áreas com intensas dinâmicas de uso e cobertura, são escassos ainda os dados que possibilitem análises a respeito dos padrões e processos de LUCC e a sua respectiva modelagem. O objetivo deste estudo foi realizar o mapeamento multitemporal do uso e cobertura da terra e das suas respectivas mudanças entre os anos de 2002 e 2008 na escala de 1:100.000.

Para isto, foi realizada a classificação de imagens Landsat-TM com a utilização de métodos orientados a objetos, com análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA), que se baseia em técnicas de segmentação multi-resolução e que na classificação permite a incorporação de informações temáticas e contextuais (relações espaciais de conectividade e vizinhança, forma, textura e espectrais) (LANG, 2008; BLASCHKE, 2010). Tais métodos já foram aplicados para a detecção de mudanças de uso e cobertura da terra em regiões europeias com dados Landsat-TM, Spot Pan e Ikonos (JANOTH *et al.*, 2005). No Sul do Brasil e com classes semelhantes, foi feita a classificação do uso e cobertura da terra com imagens Quickbird (PINHEIRO e KUX, 2005).

METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada a área de estudo, os materiais e o procedimento metodológico adotado que envolveu correção geométrica das imagens, segmentação multi-resolução, seleção de amostras, seleção de atributos e classificação por vizinho mais próximo.

Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) corresponde a 18 municípios localizados no Alto da Bacia do Rio Uruguai, na fronteira do RS e SC, com destaque para Lages e Campos Novos (ambos em SC) e apresenta uma área de aproximadamente 12.000 km². É uma área típica do Planalto Basáltico ou Meridional com altitudes entre 600 e 1200 metros com grande e dinâmica ocupação por diferentes formas de pecuária, agricultura, silvicultura, barragens e outros tipos de uso da terra.

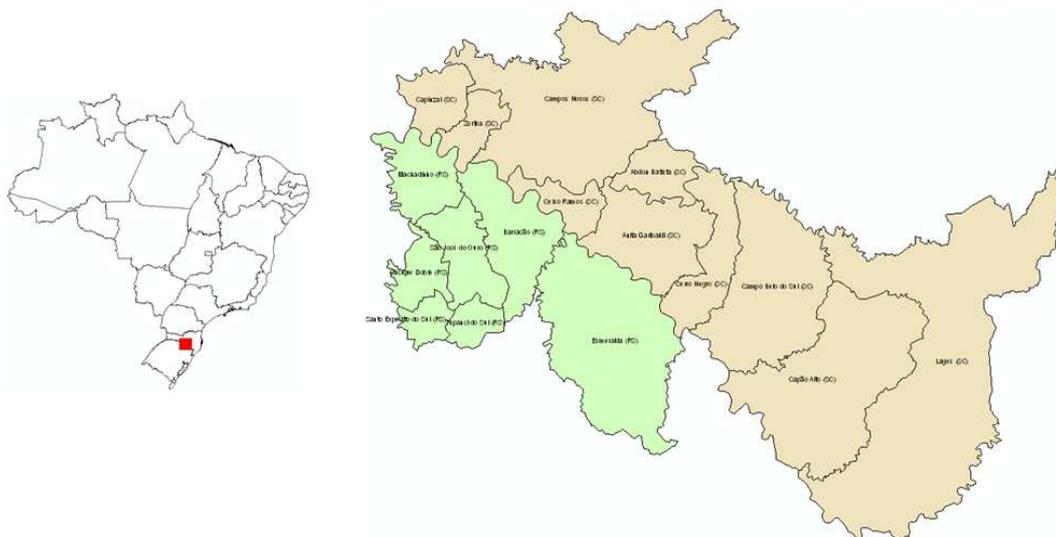


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.
Figure 1. Study area location map.

Materiais

Para o mapeamento de uso e cobertura da terra foram utilizadas imagens Landsat-5 TM, cenas 221/79 (12/11/2002 e 03/10/2008) que cobre mais de 75% da área, 221/80 (25/09/1999 e 03/10/2008) e 222/79 (24/09/1999 e 29/10/2009), com resolução espacial de 30 metros e seis bandas (1, 2, 3, 4, 5, e 7). A base cartográfica foi composta por cartas topográficas da DSG na escala 1:100.000 e de malhas oficiais do IBGE de municípios (17 no total). Os *softwares* utilizados foram o Definiens Developer 7 para classificação orientada a objetos, Envi 4.6 para a correção geométrica e Idrisi Andes para a operação de tabulação cruzada.

Correção geométrica

O procedimento de correção geométrica é um fator essencial para o sucesso da classificação multitemporal de uso e cobertura da terra e de mudanças temáticas, pois pequenos deslocamentos geométricos entre as imagens acarretam em uma série de mudanças fictícias e difíceis de serem editadas (SALINERO, 2002). Neste trabalho, foram utilizadas como referência as imagens Landsat-TM ortorretificadas pela NASA que apresentaram deslocamentos compatíveis com a base cartográfica na escala 1:100.000 e tem o sistema de projeção UTM WGS-84. O procedimento adotado foi de registro das imagens com base nas referências através de polinômio de 1º grau, com erro médio quadrático (RMS) inferior a 1 pixel e reamostragem por vizinho mais próximo.

Classificação multitemporal orientada a objetos

A etapa inicial do processo de classificação foi a segmentação multi-resolução das imagens que permite a geração de classificações hierárquicas de acordo com os parâmetros implementados (DEFINIENS, 2007). Neste caso, em todas as cenas classificadas foram utilizados os mesmos parâmetros de escala (10, 25 e 50), forma (0,1) e compactação (0,5), sendo o nível hierárquico utilizado para a classificação o de escala 25.

A etapa seguinte foi a definição e seleção de amostras onde as classes de uso e cobertura da terra foram devidamente hierarquizadas e separadas de acordo com comportamentos diferentes encontrados na área de estudo. As classes mais simples de discriminação foram água e urbano, enquanto a classe mais heterogênea para interpretação foi a agricultura familiar que apresenta confusão espectral com classes como campo nativo e vegetação secundária. O principal critério para definição desta classe foi o padrão com maior heterogeneidade que é o principal elemento neste tipo de uso.

Com base nas amostras coletadas de cada classe foi utilizada a ferramenta de otimização do espaço de atributos, que possibilita a seleção a ser considerada na classificação, a partir da escolha dos atributos de entrada e do número de atributos de saída desejados. O resultado pode ser visto no exemplo da Figura 2 onde é apresentada a distância de separação (variou entre 0,4 e 1,0 de acordo com a cena) que é o critério para seleção do número de atributos (variou de 7 a 10). Como pode ser visto no exemplo, a maioria dos atributos selecionados foi de característica espectral (média e desvio padrão das bandas 4, 5 e 7, além do brilho) e apenas um atributo de forma foi utilizado (índice de forma), o que prevaleceu em praticamente todas as cenas classificadas.

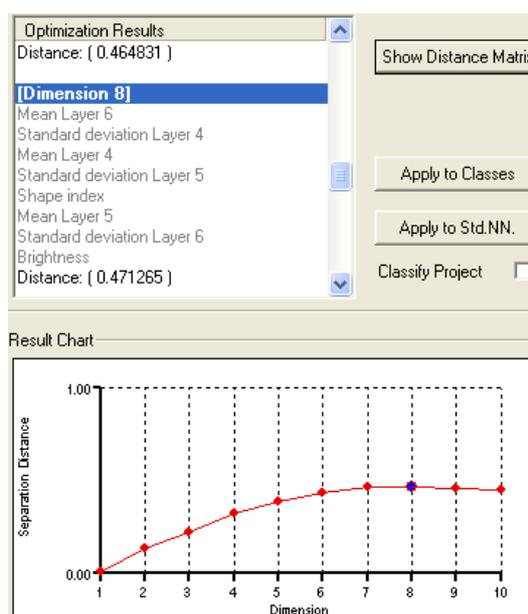


Figura 2. Ferramenta de otimização do espaço de atributos.

Figure 2. Feature space optimization tool.

O algoritmo de classificação utilizado foi o de vizinho mais próximo que segue o princípio de classificar os objetos da imagem de acordo com a amostra mais próxima entre eles. Este classificador retorna valores de pertinência (*membership*) entre 0 e 1 baseados na distância dos objetos para o seu vizinho mais próximo no espaço de atributos, com o valor sendo igual a 1 quando o objeto for idêntico a amostra. Caso a amostra apresente diferenças entre as amostras vizinhas, um valor de pertinência fuzzy de 0 a 0,999 é assinalado de acordo com a distância mais próxima no espaço de atributos da amostra de determinada classe. Os atributos utilizados são escolhidos pelo usuário e foram utilizadas as ferramentas de seleção de atributos mencionada na etapa anterior. Como sugerido em DEFINIENS (2008), o processo de classificação por vizinho mais próximo foi gerado de forma iterativa, com o uso inicial de poucas amostras e a incorporação e refinamento de amostras de forma dinâmica, até a chegada aos resultados mais satisfatórios para cada cena.

O procedimento de classificação foi finalizado com a edição final cena a cena, pela geração dos mosaicos para cada ano e o recorte de acordo com a área de interesse. Por fim, foi gerada uma tabulação cruzada das classificações finais para a quantificação e mapeamento das mudanças de uso e cobertura da terra entre 2002 e 2008.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta parte são apresentados e discutidos os resultados do mapeamento multitemporal de uso e cobertura da terra, com as respectivas classes adotadas, e das mudanças de uso e cobertura da terra entre 2002 e 2008, com seus processos identificados. Além disto, é realizada uma discussão a respeito do estado atual da pesquisa, os problemas identificados nesta abordagem metodológica e as técnicas que podem ser incorporadas em novas etapas da pesquisa.

Mapeamento multitemporal de uso e cobertura da terra

O mapeamento multitemporal da área de estudo (Figuras 3 e 4) revelou que esta apresenta uma grande heterogeneidade em relação às classes de uso e cobertura da terra, como citado por PINHEIRO e KUX (2005), sendo necessária a realização de um agrupamento dos principais tipos de uso e cobertura, considerados a seguir.

A classe **Floresta** engloba áreas remanescentes de Floresta Ombrófila Mista com a presença de formações aluviais, montanas e alto-montanas (IBGE, 1992), nas áreas pouco propícias para ocupação agrícola, bem como manchas de vegetação secundária avançada. A classe denominada como **Campo Nativo** (regionalmente conhecidos como campos de cima da serra) corresponde a formações de estepe denominadas como Campos Gerais Planálticos (IBGE, 1992) que compreendem campos limpos, sujos e alagadiços (PINHEIRO e KUX, 2005), além de apresentar uma forma mista de uso e cobertura, pois seu desenvolvimento é condicionado pela interação com atividades antrópicas de cunho pecuário. A classe de **Agricultura Familiar** representa um padrão bastante heterogêneo de ocupação com a formação de mosaicos compostos de pequenas extensões de pastagens, intercaladas com diferentes culturas e capoeiras em diferentes estágios de sucessão, estando localizadas em área de relevo mais ondulado e com solos mais rasos. A classe de **Agricultura de Grande Porte** é composta por culturas extensas de soja, trigo, milho e outras nas manchas de solos mais desenvolvidos nas áreas suave-onduladas do planalto. A classe de **Silvicultura** é composta por atividades de reflorestamento com espécies como *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. As demais classes foram **Urbano** com as manchas de ocupação urbanas e **Água** com rios, represas e lagos.

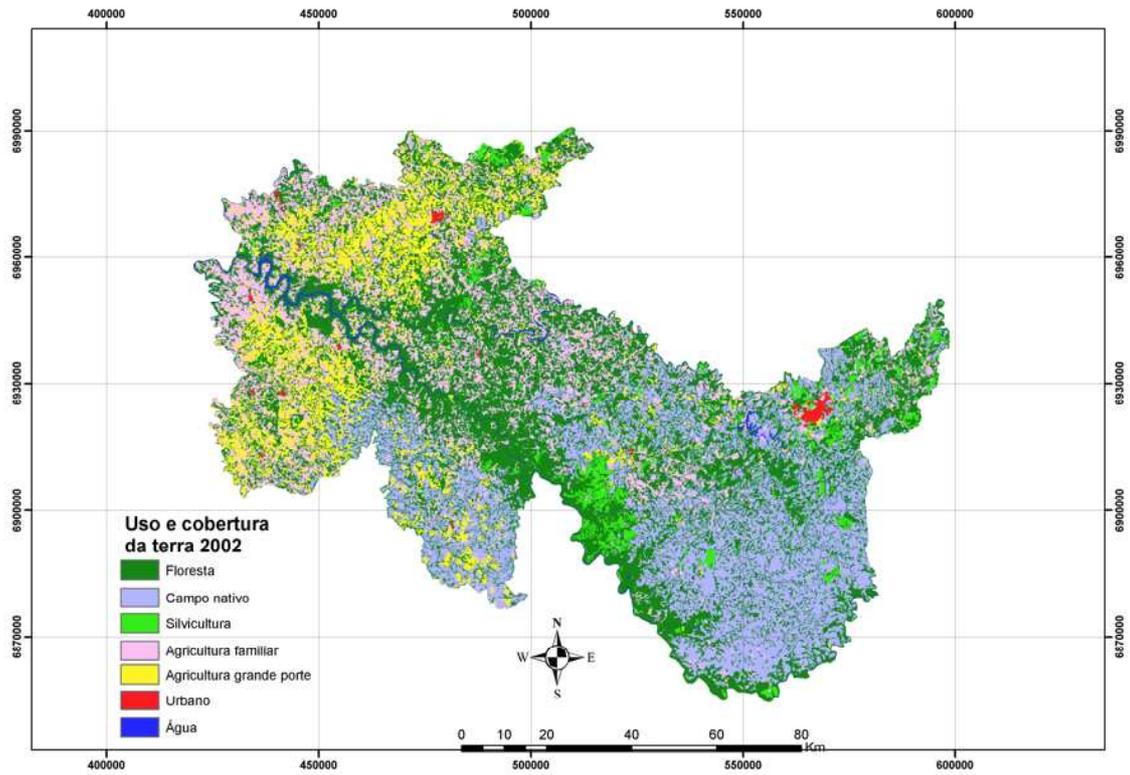


Figura 3. Mapa de uso e cobertura da terra de 2002.
Figure 3. Land use and cover map of 2002.

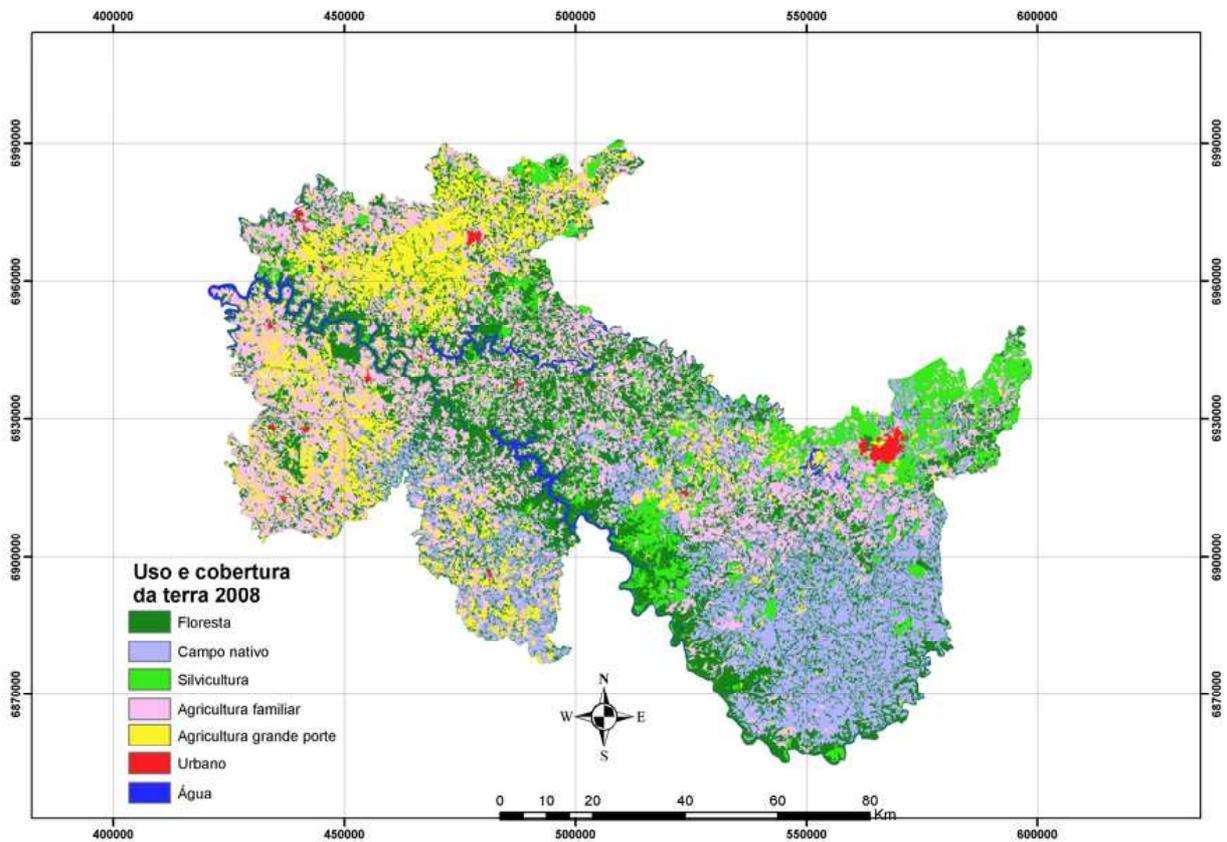


Figura 4. Mapa de uso e cobertura da terra de 2008.
Figure 4. Land use and cover map of 2008.

O resultado da quantificação em área das classes de uso e cobertura da terra (Figura 5) revela que no período de 2002 a 2008 houve um aumento das atividades agrícolas, em especial da agricultura familiar (de 18,26 para 28,53%) e silvicultura (de 3,35 para 8,21%) em detrimento das classes de cobertura como florestas (de 40,3 para 28,68%) e campos nativos (de 25,33 para 19,11%). As classes que mantiveram um comportamento estável foram a agricultura de grande porte (de 11,35 para 12,77%) e urbano (de 0,4 para 0,57%), sendo que o aumento da classe de água (de 0,99 para 2,02%) se deve a barragem da Campos Novos construída neste período.

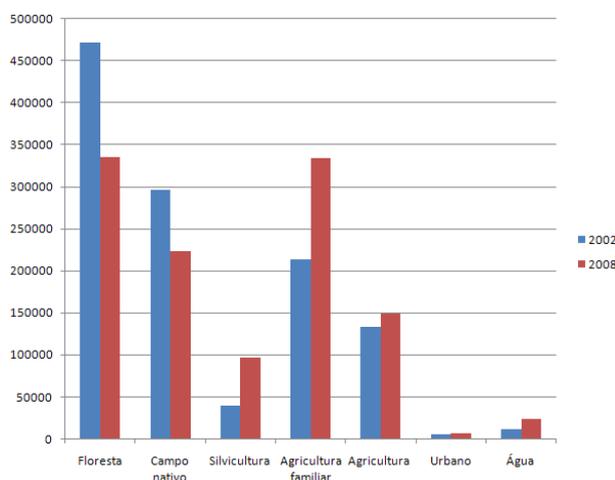


Figura 5. Comparação das áreas (hectares) das classes de uso e cobertura da terra em 2002 e 2008.
Figure 5. Comparison of areas (hectares) of land use and cover classes in 2002 and 2008.

Mudanças de uso e cobertura da terra

Foram definidos os seguintes processos de mudanças de uso e cobertura da terra entre 2002 e 2008, baseados nas seguintes conversões (Figura 6), mapeamento (Figura 7) e com as respectivas áreas:

- Recuperação: áreas de agricultura familiar que evoluíram para vegetação secundária avançada que corresponderam a 3,56% da área total;
- Retração agrícola: áreas de agricultura de grande porte e de silvicultura que passaram à agricultura familiar que representaram 3,83% da área total;
- Expansão da silvicultura: áreas agrícolas que passaram a atividades de reflorestamento que representaram 1,05% da área total;
- Expansão agrícola: áreas de agricultura familiar e de silvicultura que passaram à agricultura de grande porte que representaram 3,53% da área total;
- Degradação: áreas de floresta e campo nativo que passaram a usos agrícolas e de silvicultura¹ que apresentaram a maior área (19,01% da área total);
- Urbanização: todas as classes que foram integradas às manchas urbanas que representaram apenas 0,16% da área total.

¹ As conversões de áreas de cobertura da terra para silvicultura foram consideradas no processo de degradação pelos efeitos negativos referentes à biodiversidade, em relação aos serviços ambientais que oferecem do ponto de vista das mudanças ambientais globais (BAPTISTA e RUDEL, 2006).

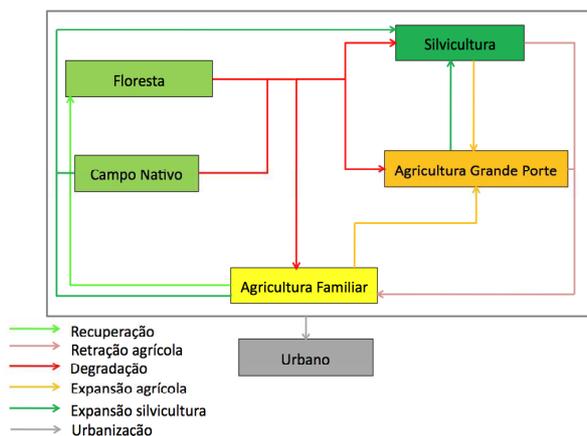


Figura 6. Processos de mudanças de uso e cobertura da terra entre 2002 e 2008.
 Figure 6. Land use and cover change processes between 2002 and 2008.

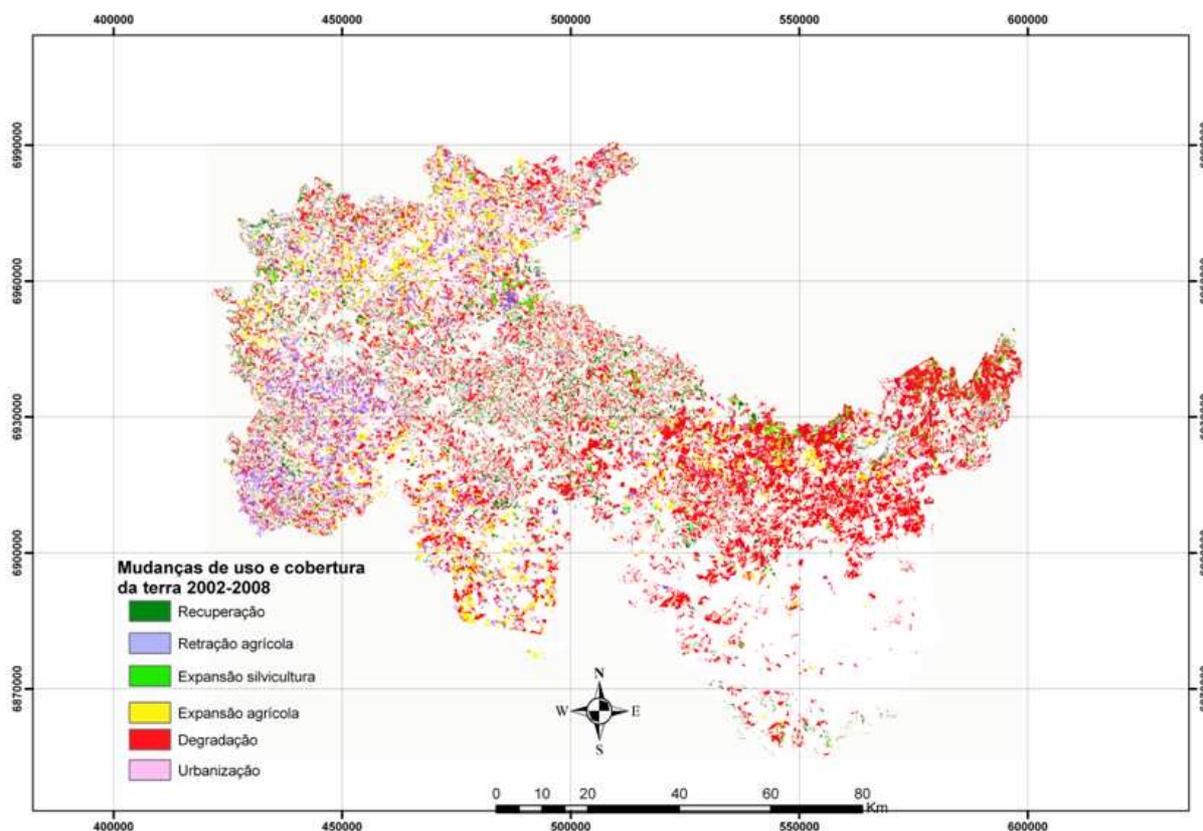


Figura 7. Mapa dos processos de mudanças de uso e cobertura da terra entre 2002 e 2008.
 Figure 7. Land use and cover change processes mapping between 2002 and 2008.

Discussão

A metodologia utilizada neste trabalho proporcionou resultados satisfatórios, porém apresentou deficiências do ponto de vista operacional, como a necessidade de edição temática no processo de classificação final. Nas novas fases da pesquisa em andamento, serão testadas algumas abordagens metodológicas para a maior dinamicidade do processo de edição e diminuição de erros de interpretação, com a incorporação no processo de classificação de procedimentos de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra como, por exemplo, a rotação radiométrica por eixo de não-mudança (RCEN) (MALDONADO *et al.*, 2007). Conjugadas a tais metodologias, será testado o uso de regras de decisão pela metodologia de funções nebulosas de pertinência (*membership fuzzy functions*) com o desafio de se apresentar uma metodologia a mais unificada possível,

sem maiores alterações entre cenas. Por fim, cabe verificar em campo a qualidade do mapeamento a partir de amostras das classes mapeadas e a geração de análises estatísticas para avaliação de incertezas, baseadas na matriz de confusão e índice kappa (LANDIS e KOCH, 1977).

CONCLUSÕES

Os resultados mostram que o procedimento metodológico adotado foi adequado ao mapeamento do uso e cobertura da terra e de suas mudanças, fazendo uso de classificação multitemporal de dados com resolução espacial média, como do Landsat-TM. Novas técnicas podem ser adotadas para o incremento da operacionalização do processo de classificação multitemporal, como técnicas de detecção de mudanças. A área de estudo apresentou uma dinâmica acentuada de uso e cobertura da terra, com destaque para o processo de degradação dos remanescentes florestais e dos campos nativos e o incremento das atividades de agricultura familiar. Tais dados gerados, após a necessária avaliação em campo, serão utilizados para a modelagem computacional da dinâmica da paisagem, seguindo modelos espacialmente explícitos para a geração de cenários que assumem um papel fundamental na teoria e prática de planejamento territorial e gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, S. R.; RUDEL, T. K. A re-emerging Atlantic forest? Urbanization, industrialization and the forest transition in Santa Catarina, southern Brazil. *Environmental Conservation*, v.33, n.3, p.195–202, 2006.
- BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 65, p. 2-16, 2010.
- DEFINIENS. *Definiens Developer 7 reference book*. München: Definiens AG, 2007, 197p.
- DEFINIENS. *Definiens Developer 7 users guide*. München: Definiens AG, 2008, 506p.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, p. 159-174, 1977.
- LANG, S. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. In: Blaschke, T. et al. *Object-based image analysis: spatial concepts for knowledge driven remote sensing applications*. Berlin: Springer-Verlag, 2008, p. 3-27.
- IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: IBGE, 1992, 91p.
- JANOTH, J. et al. Procedimentos baseados em segmentação para análise de mudanças e classificação com dados de satélite de alta resolução. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. H. *Sensoriamento Remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores, métodos inovadores*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, Cap. 10, p. 105-113.
- MALDONADO, F. D. et al. Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, n. 8, p.1789 - 1804, 2007.
- PINHEIRO, E. S.; KUX, H. H. Imagens Quickbird aplicadas ao mapeamento do uso e cobertura da terra do Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. H. *Sensoriamento Remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores, métodos inovadores*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, Cap. 27, p. 262-281.