

Modelagem Dinâmica Espacial da Expansão da Agricultura em Campos Novos-SC

Rodrigo de Campos Macedo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
macedo@dsr.inpe.br

Abstract. Models that use cellular automata as a conceptual basis may assist in the generation of future scenarios, which in turn provide inputs for decision making involving the use of natural resources. The aim of this study is to evaluate and apply the land use and cover change (LUCC) model contained in Dinamica-EGO platform to generate scenarios of agricultural expansion in the municipality of Campos Novos-SC, for the 2003 to 2012 period. The maps were obtained for the years 2002 and 2008, generated from Landsat TM-5 and classified from multiresolution segmentation and object-based. Using the land cover maps, a cross-tabulation map was generated for change, to assist in the preliminary analysis of changes between the years 2002 and 2008. For analysis of the transitions were defined the following processes: degradation, regeneration, concentration, distribution, horizontalization and urbanization. It's possible to see the prevalence of processes related to degradation of native environments. Processes related to the concentration of land occurred at rates slightly higher than processes related to land redistribution. Processes related to urbanization occurring in low rates. The cross-tabulation and the transition matrices were extremely useful for the diagnosis and analysis of the problem addressed. The method of weight of evidence enabled analyzing which variables are most important in each transition. This fact is fundamental in understanding of the LUCC process. The simulation was generated with good similarity with the reference map, showing the potential application to the study of LUCC.

Palavras-chave: dynamic spatial modelling, land use cover change, agricultural expansion, modelagem dinâmica espacial, alterações de uso e cobertura da terra, expansão agrícola.

1. Introdução

A expansão agrícola – especialmente a de monoculturas altamente tecnificadas como a soja (*Glycine max*) – pode ocasionar impactos ambientais negativos, principalmente relacionados aos efeitos provenientes da redução de áreas florestais, tais como perda de biodiversidade associada e redução de recursos e serviços ambientais, como manutenção de água e de microclima, recursos faunísticos e florísticos, amenidades e, principalmente, contaminação de corpos d'água por agrotóxicos.

A maior taxa de ocupação por monoculturas (soja e trigo, principalmente) no estado de Santa Catarina encontra-se no município de Campos Novos, conhecido como “capital catarinense da soja”, propiciando boa indicação para um estudo de caso.

Modelos que utilizam autômatos celulares como base conceitual, podem auxiliar na geração de cenários futuros, que por sua vez, propiciam insumos para tomadas de decisões que envolvem o uso de recursos. Soares-Filho et al. (2001) mencionam que o uso de cenários hipotéticos gerados por modelagem é uma importante ferramenta para o estudo da dinâmica de uso e cobertura da terra, pois permitem o entendimento das forças de tal dinâmica.

O objetivo do trabalho foi o de avaliar e aplicar o modelo de mudança de uso e cobertura da terra contido na plataforma Dinâmica EGO para gerar cenários de expansão agrícola no município de Campos Novos/SC, para os anos de 2003 a 2012, validando-os com os dados do IBGE.

O Dinâmica EGO opera a partir da vizinhança de Moore (janela 3x3) e apresenta a vantagem de utilizar algoritmos estocásticos de alocação de cobertura da terra. Essa plataforma de modelagem é de domínio público e foi desenvolvida pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (SOARES-FILHO et al., 2002).

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

Todas as informações aqui presentes foram extraídas do Arquivo Histórico Municipal Deputado Waldemar Rupp, disponibilizado em www.camposnovos.sc.gov.br e Pandolfo et al. (2002).

O município de Campos Novos localiza-se no sudoeste catarinense (Figura 1), possui 1.850km², sendo que menos de 1% é considerada área urbana. Possui 28.447 habitantes, sendo apenas 20% residente em área rural. Com uma economia baseada essencialmente na agropecuária, apresenta grandes áreas de cultura intensiva, tais como soja e trigo, sendo responsável por uma das maiores arrecadações de ICMS no setor agropecuário.

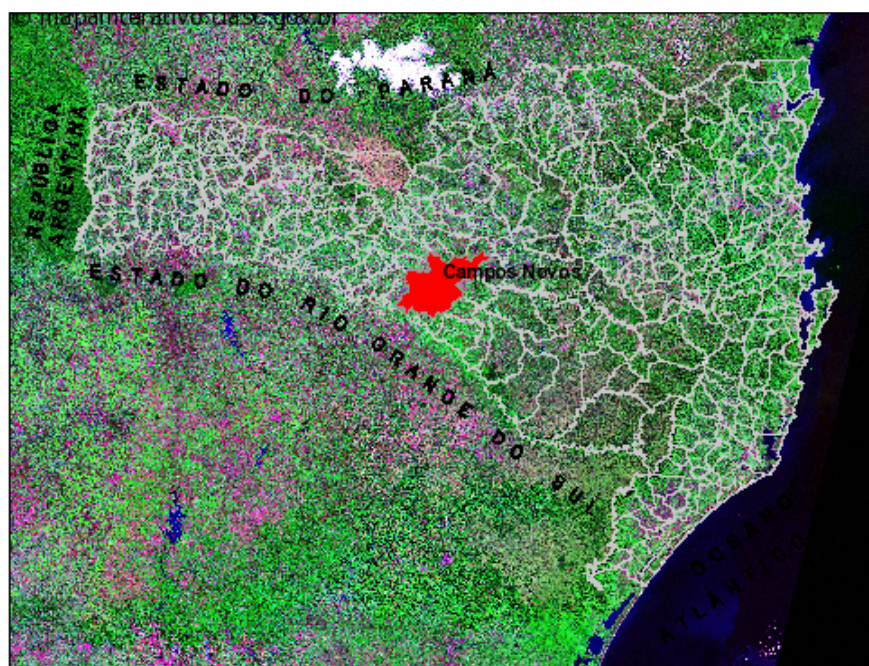


Figura 1. Localização da área de estudo em relação ao Estado de Santa Catarina

A zona agroecológica, a qual compreende este município, é classificada como clima temperado, constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco (mesotérmico brando). A temperatura média pode variar de 15,8 a 17,9°C. A temperatura normal das máximas varia de 22,3 a 25,8°C e das mínimas de 10,8 a 12,9°C. O total de precipitação anual varia entre 1.460 mm a 1.820 mm, com o total anual de dias de chuva entre 129 a 144 dias. A umidade relativa do ar pode variar de 76,3 a 77,7%. Podem ocorrer em termos normais, de 12 a 22 geadas por ano. Os valores de horas de frio abaixo ou iguais a 7,2° C variam de 437 a 642 horas acumuladas por ano. O município apresenta solos profundos, bem drenados e com condições físicas favoráveis ao desenvolvimento radicular. Quando ocorrem em relevo suave ondulado, não oferecem maiores problemas ao uso de máquinas e implementos agrícolas, e a sua susceptibilidade à erosão é apenas moderada. Quando ocorre em relevo ondulado a forte ondulado e apresentam maior suscetibilidade à erosão e maiores impedimentos à mecanização, especialmente quando associada aos cambissolos que podem apresentar pedras em seu perfil. Quimicamente, porém, são solos muito ácidos, com elevada toxidez causada pelo alumínio trocável e com reduzida reserva de nutrientes, especialmente nos horizontes subsuperficiais. Porém, desde que manejados adequadamente, tornam-se aptos tanto para cultivos anuais como para usos menos intensivos, entre os quais a fruticultura de clima temperado, a pastagem e o reflorestamento.

2.2 Procedimentos

A Figura 2 representa o esquema metodológico utilizado.

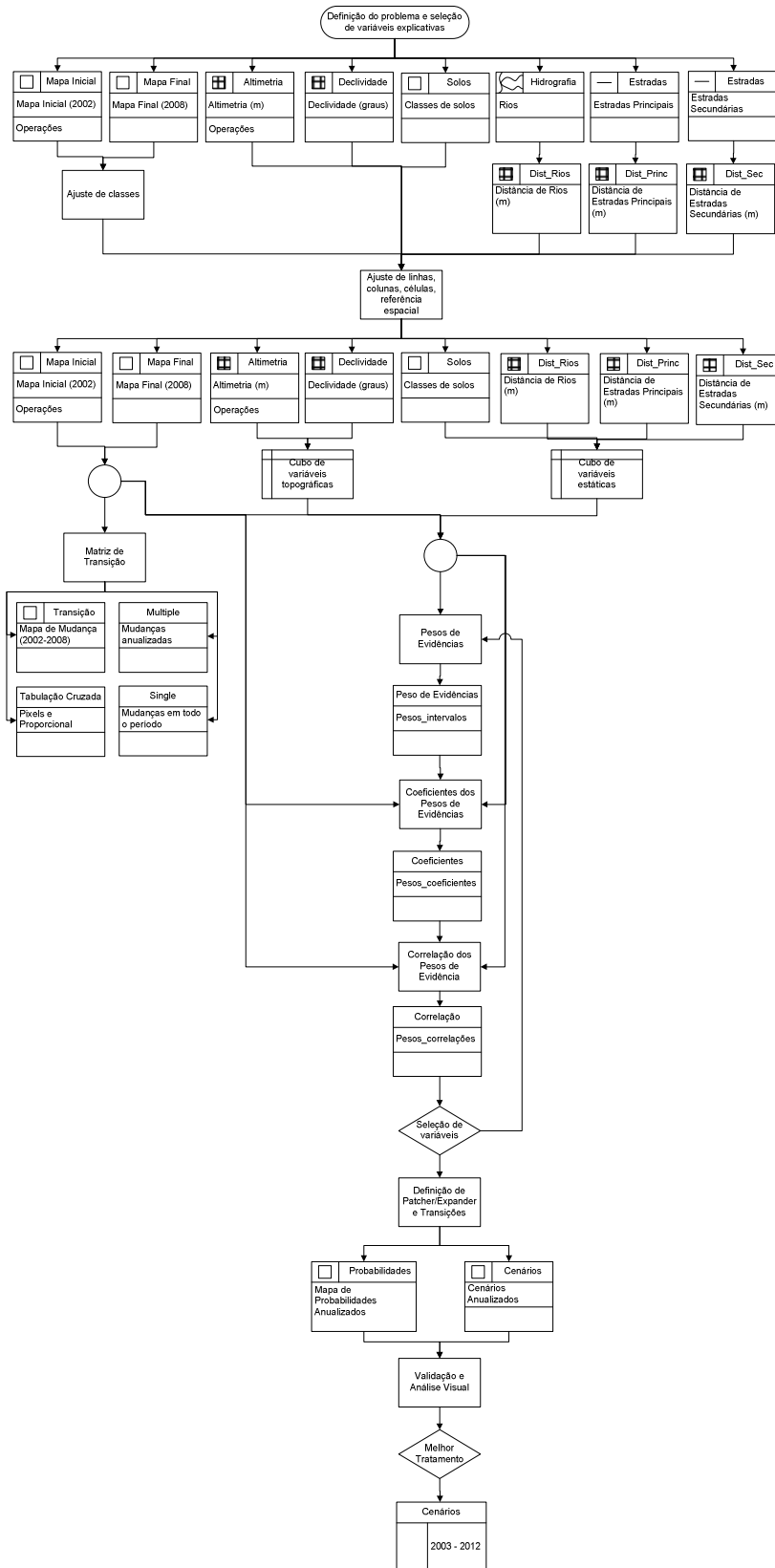


Figura 2. Procedimento metodológico

2.2.1 Preparação dos dados, seleção das variáveis explicativas e geração dos cubos de variáveis

Foram obtidos mapas referentes aos anos de 2002 e 2008, gerados a partir de imagens TM-5, corrigidas geometricamente a partir das imagens Geocover e, classificadas a partir de segmentação multiresolução e classificação orientada a objetos no software Definiens Developer 7.0, com posterior edição manual. Em relação à preparação dos mapas para processamento posterior, foi padronizada a classe “Corpos d`água” em ambas as datas, pelo motivo deste artigo não se propor a quantificar mudanças relacionadas a esta classe.

As classes mapeadas foram: Corpos d`água; Campos nativos; Florestas nativas; Florestas exóticas; Agricultura homogênea (intensiva); Agricultura heterogênea (familiar); Áreas urbanizadas.

Ximenes et al. (2008) salientam que a escolha adequada das variáveis explicativas é determinante para o sucesso do uso de modelos, pois através de suas relações com a variável dependente são definidas as células com maior ou menor probabilidade de transição de cobertura da terra. As variáveis explicativas selecionadas para o fenômeno a ser modelado foram: altimetria, declividade, solos, hidrografia e estradas principais e secundárias. A carta de solos foi rasterizada e as cartas de hidrografia e estradas foram convertidas em grades de distâncias, todos com pixel de 30m. Após toda a rasterização dos dados, foi padronizado o número de linhas e colunas de todos os insumos utilizados. As variáveis “altimetria” e “declividade” foram agrupadas em um único arquivo (cubo de variáveis topográficas). As demais também foram agrupadas em um cubo de variáveis categóricas e estáticas. As variáveis estáticas contínuas (obtidas a partir de dados vetoriais) selecionadas para as simulações de cenários de mudança de uso e cobertura foram a Distâncias de Rios, Distâncias de Estradas Principais e Distâncias de Estradas Secundárias.

2.2.2 Geração do mapa de mudança, tabulação cruzada e das matrizes de transição

Utilizando-se os mapas de uso e cobertura do solo, foram gerados um mapa de mudanças e uma matriz de tabulação cruzada, visando auxiliar nas análises preliminares das mudanças ocorridas entre os anos de 2002 e 2008. O cálculo das probabilidades globais de transição refere-se ao total de mudanças para cada tipo de transição da cobertura da terra em um dado período de simulação sem levar em consideração as particularidades espaciais locais, que são aquelas pertencentes a cada célula da área de estudo em termos de características do sítio físico ou de infra-estrutura. Com base nos mapas de uso e cobertura do solo, foram calculadas taxas de transição em um passo simples, ou seja, do período completo (6 anos) e em passos múltiplos, correspondente ao ano, derivada de uma matriz ergódica. Para análise das transições, foram convencionados seguintes processos:

- Degradação – Redução de ambientes nativos, ou seja, qualquer mudança que reduza a área de campos e florestas nativos;
- Regeneração – Aumento de ambientes nativos, ou seja, qualquer mudança que aumente a área de campos e florestas nativos;
- Concentração – Aumento de agricultura homogênea e de florestas exóticas, em detrimento de agricultura heterogênea;
- Distribuição – Aumento de agricultura heterogênea em detrimento de agricultura homogênea e florestas exóticas;
- Horizontalização – Mudanças entre agricultura homogênea e florestas exóticas;
- Urbanização – Aumento de Áreas urbanizadas em detrimento de ambientes produtivos, ou seja, florestas exóticas e agricultura (homogênea e heterogênea).

2.2.3 Determinação dos intervalos dos pesos de evidência e de seus coeficientes

Trata-se do cálculo de intervalos para categorizar variáveis contínuas, tais como distâncias da própria classe. Este resultado foi insumo para o cálculo dos coeficientes de peso de evidência. Os coeficientes calculados foram utilizados para derivar os mapas de

probabilidade de transição, utilizados nas simulações. Cada transição foi tratada separadamente.

Como a determinação dos pesos das variáveis explicativas pressupõe a independência de eventos (Teorema de Bayes), houve a necessidade de verificar a existência de tal pressuposto, através dos testes de análises de significância e de análise de entropia, considerando-se os seguintes índices: *Crammer* (V) e o *Joint Information Uncertainty* (JIU). Estes índices operam com valores reais e percentuais, respectivamente, e avaliam a dependência espacial das variáveis utilizadas. Conforme Bonham-Carter (1994), valores abaixo de 0,5 sugerem uma tênue dependência espacial entre as variáveis consideradas. Desta forma, adotou-se o limiar de 0,5 para se decidir sobre a inclusão (V ou JIU < 0,5) ou exclusão (V ou JIU \geq 0,5) de variáveis no modelo.

2.2.4 Definição dos parâmetros *Patcher* e *Expander*

Esse dois parâmetros referem-se a dois algoritmos de transição, responsáveis pela alocação de mudanças de cobertura da terra. A função *Expander* responde pela expansão de manchas previamente existentes de certa classe de cobertura da terra. A função *Patcher*, por sua vez, destina-se a gerar novas manchas, através de um mecanismo de constituição de sementes (SOARES-FILHO et al., 2002).

Além da proporção entre expansão e criação, são necessários os seguintes parâmetros: média e variância da área de mudança (calculadas a partir da vetorização do mapa de mudança) e isometria (1,5 para todos os tratamentos).

Visando obter a melhor configuração, foram testados cinco tratamentos, com os seguintes parâmetros¹:

1. 100% *Patcher* p/ todas as transições;
2. 100% *Expander* p/ todas as transições;
3. 50% *Patcher*; 50% *Expander* p/ todas as transições;
4. 100% *Patcher* p/ Degradação, Regeneração, Horizontalização, Distribuição & 100% *Expander* p/ Concentração, Urbanização;
5. Melhor dos tratamentos com aumento de dez vezes no tamanho médio das áreas de expansão agrícola.

2.2.5 Calibração do modelo

Por fim, foram avaliadas as simulações produzidas pelo modelo. O método aplicado foi o desenvolvido por Hagen (2003), baseado no conceito de “*fuzziness of location*” (dubiedade de localização), no qual a representação de uma célula é influenciada por ela mesma, e, em menor magnitude, pelas células na sua vizinhança. Trata-se de um teste de comparação de similaridade *fuzzy* entre o mapa simulado e o mapa-referência. Neste caso, empregou-se uma função de decaimento constante calculada a partir dos seguintes tamanhos de janelas: 1x1, 3x3, 5x5, 7x7 e 9x9. Utilizando-se o melhor tratamento avaliado, foram gerados cenários para o período compreendido entre os anos de 2002 a 2012.

3. Resultados

Através da operação de tabulação cruzada, foi gerado o mapa de mudança (Figura 2), representando quase 20% da área do município.

Visualmente é possível perceber a prevalência de processos relacionados à degradação de ambientes nativos, ou seja, expansão agrícola (homogênea e heterogênea) em detrimentos de áreas anteriormente ocupadas com campos e florestas nativas. Há ocorrência de regeneração – regeneração de florestas nativas em áreas anteriormente ocupadas com agricultura heterogênea – mas é nitidamente menor que os processos de degradação. Em relação às mudanças horizontalizadas, ou seja, agricultura homogênea e florestas exóticas, há certa proporcionalidade e equilíbrio nas taxas de mudança. Processos relacionados à concentração

¹ Considerando-se média e variância calculadas.

de terra ocorreram ligeiramente superiores aos processos relacionados à redistribuição de terras. E processos relacionados à urbanização ocorreram em taxas baixíssimas.

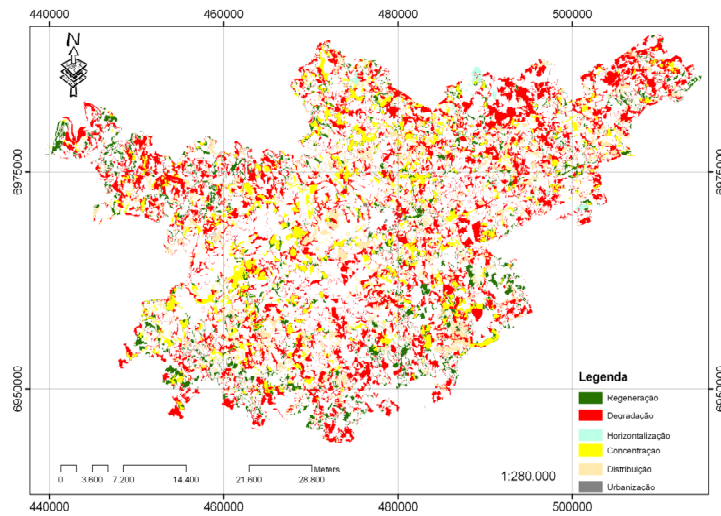


Figura 2. Mapa com os processos de mudança de uso e cobertura

Os resultados provenientes dos cálculos das matrizes de transição global estão expressos na Figura 3. É possível perceber que os processos relacionados à degradação somam quase metade de todas as mudanças ocorridas. É interessante notar que, apesar de a agricultura heterogênea ter aumentado com taxas proporcionais em relação à agricultura homogênea em 2008, esta, por sua vez, teve um maior decréscimo de área em 2002, o que explica taxas de concentração de terra maiores que de redistribuição. Visando calcular o saldo após o período de mudanças, foram subtraídos os decréscimos de 2002 com os acréscimos de 2008, cujos resultados podem ser visualizados na Figura 4.

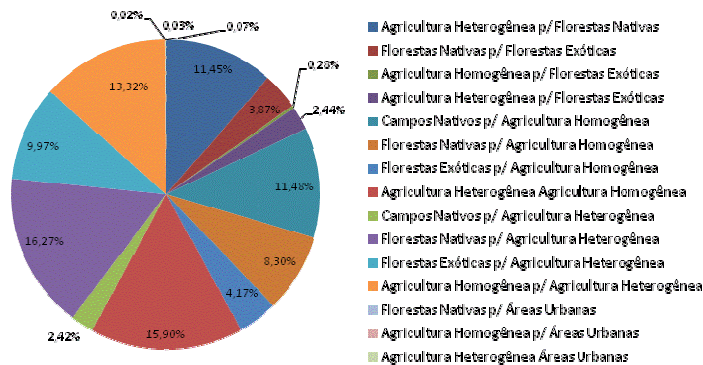


Figura 3. Proporção das mudanças ocorridas entre as duas datas analisadas

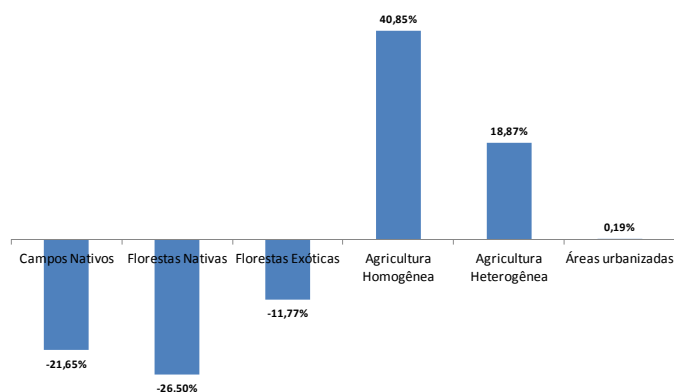


Figura 4. Balço das mudanças ocorridas, por classe

Após a exclusão das variáveis e re-determinação dos pesos de evidências, os testes avaliados não apresentaram quaisquer problemas. Previamente à avaliação estatística das mudanças simuladas, realizou-se avaliação visual, comparando-se com o mapa final (referência). Após a avaliação visual e análise estatística, foi escolhido o Tratamento 2 para gerar os cenários compreendidos no período de 2003 a 2012 (Figura 5).

4. Considerações Finais

Questões técnicas

A determinação da tabulação cruzada e das matrizes de transição foram extremamente úteis para a o diagnóstico e análise do problema abordado. O método de peso de evidência possibilitou analisar quais variáveis são as mais importantes em cada transição. Tal fato tem papel fundamental no entendimento do processo de mudança de uso e cobertura. A simulação gerada teve boa similaridade com o mapa de referência, mostrando o potencial da aplicação para o estudo de mudanças de cobertura e uso do solo.

Problema Empírico

Campos Novos mantém sua característica agrícola, sem apresentar grandes mudanças relacionada a urbanização ou alteração de sua matriz produtiva. Houve expansão agrícola durante o período analisado, em detrimento de ambientes nativos, tais como matas e campos serranos. Além da expansão agrícola, houve aumento na concentração fundiária, ou seja, aumento de agricultura homogênea em relação à agricultura familiar (heterogênea).

5. Referências Bibliográficas

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994, 305 p.

Campos Novos. Disponível em: <<http://www.camposnovos.sc.gov.br>>. Acesso em: 01.dez.2010.

HAGEN, A. Multi-method assessment of map similarity. In: 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2003, Palma, Spain. **Anais...** Palma: Universitat de les Illes Balears, 2003. p. 171–182.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAM, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. **Atlas climáticos digital do Estado de Santa Catarina** (CR-Rom). Florianópolis: Epagri, 2002.

SOARES-FILHO, B. S.; ASSUNÇÃO, R. M.; PANTUZZO, A. E. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **BioScience**, v. 51, n. 12, p. 1059-1067, 2001.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 217-235, 2002.

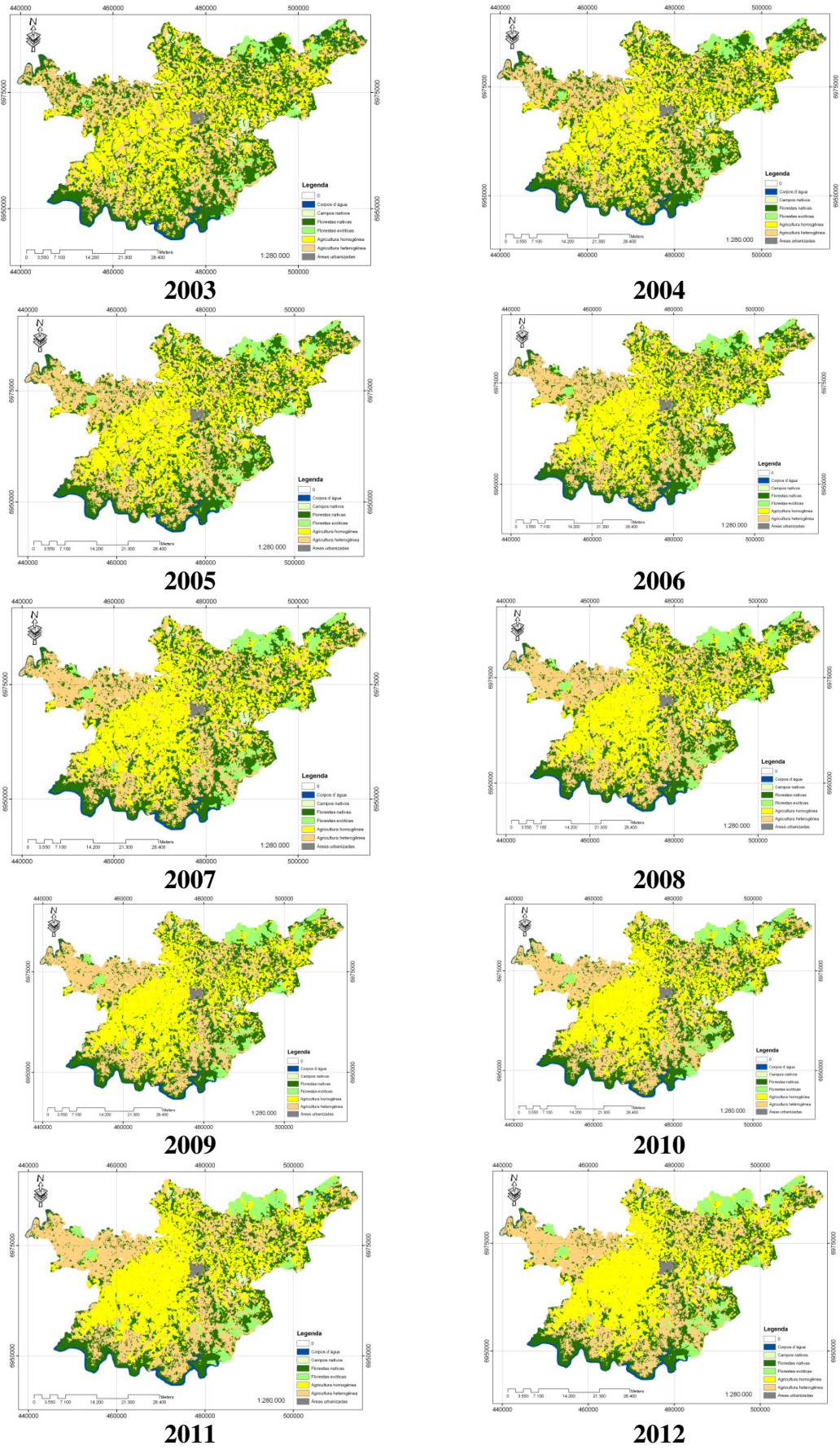


Figura 5. Cenários gerados para o período de 2003 a 2012