

EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA AO LONGO DA RODOVIA DOS TAMOIOS (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – CARAGUATATUBA) NO PERÍODO DE 2000-2008: UMA PRIMEIRA ABORDAGEM*

Fábio Marcelo Breunig¹

Leonardo Freire de Mello²

Palavras-chave: modelagem espacial; população; sensoriamento remoto; expansão urbana

Resumo:

A identificação de tendências de crescimento urbano é importante para o planejamento das cidades, especialmente em um momento em que as mudanças ambientais globais se intensificam e consolidam, aumentando de forma significativa a vulnerabilidade das populações. O objetivo do trabalho foi modelar a evolução das manchas urbanas das cidades de São José dos Campos e Caraguatatuba para o período de 2000 a 2008 e avaliar qualitativamente o impacto da Rodovia dos Tamoios – parte integrante e central nos processos de transformação ambiental e infraestrutural da região leste do Estado de São Paulo – na expansão dessas manchas urbanas utilizando a plataforma Dinamica-EGO[®]. Os dados das manchas urbanas de 2000/2008 foram gerados a partir da interpretação de imagens Landsat-5 TM e CBERS-2b CCD dos anos de 2000 e 2008, respectivamente. Outras variáveis como a hidrografia (rios e lagos), a malha rodoviária (rodovias dos Tamoios, Presidente Dutra e Carvalho Pinto), as áreas de preservação permanente, o oceano e a distância até a mancha urbana de 2000 (calculada iterativamente para cada ano) foram introduzidas no modelo. O intervalo de tempo modelado foi de 8 anos e o passo de 1 ano. A resolução espacial adotada foi de 120 metros. Os dados foram integrados na plataforma Dinamica-EGO[®]. Os resultados mostraram-se satisfatórios, considerando as medidas de similaridade entre o mapa real e o simulado para o ano de 2008. Os coeficientes de similaridade máximos e mínimos (matriz 5x5) para *expander* e *patcher* foram 0,85 e 0,50, respectivamente. Contudo, verificou-se que muitas manchas urbanas isoladas foram criadas pelo modelo. Assim, cabe avançar no sentido de introduzir novas variáveis para qualificar os resultados gerados.

* Trabalho apresentado no XVII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambú-MG – Brasil, de 20 a 24 de setembro de 2010

1 Divisão de Sensoriamento Remoto/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – DSR/INPE e Laboratório de Desenvolvimento Urbano e Mudança Climática/Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP.

2 Laboratório de Desenvolvimento Urbano e Mudança Climática Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP.

EVOLUÇÃO DA MANCHA URBANA AO LONGO DA RODOVIA DOS TAMOIOS (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS – CARAGUATATUBA) NO PERÍODO DE 2000-2008: UMA PRIMEIRA ABORDAGEM²

Fábio Marcelo Breunig

Leonardo Freire de Mello

1. Introdução

A expansão urbana tem sido um tema em foco nos últimos anos. A identificação de tendências é um dos produtos mais importantes que os modelos podem fornecer. Indicações da direção preferencial de crescimento no passado e as tendências para o futuro de curto prazo são importantes para o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do solo das cidades, especialmente num cenário de mudanças ambientais globais que se intensificam e consolidam, aumentando a vulnerabilidade das populações (IPCC, 2010).

A formação de ilhas de calor e o aumento do número de eventos extremos (tempestades, inundações, deslizamento de encostas, etc.) são alguns dos temas que precisam ser estudados, especialmente quando se busca entender e minimizar os impactos ambientais sobre a população. Neste contexto, nos últimos anos os modelos passaram a ser fonte de informações e de criação de cenários utilizados nos processos administrativos e de planejamento (Herold et al., 2005).

Áreas urbanas tipicamente surgem e se desenvolvem próximas a facilidades logísticas como rodovias, estações ferroviárias, portos e aeroportos. No Brasil, as rodovias historicamente têm funcionado como poderosas impulsionadoras de mudanças no uso e cobertura do solo. A Rodovia dos Tamoios – SP 099, de aproximadamente 82 km, liga São José dos Campos, no Vale do Paraíba, à cidade de Caraguatatuba, localizada no Litoral Norte de São Paulo, é

² Este estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto temático "Urban growth, vulnerability and adaptation: social and ecological dimensions of climate change on the coast of São Paulo", financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP.

maciçamente utilizada pela população do Vale do Paraíba e da região metropolitana de São Paulo para acessar o litoral. Todo esse fluxo representa uma força de atração para a formação de novas áreas urbanas ao longo do trajeto (DER-SP, 2010).

A Rodovia dos Tamoios também é uma peça fundamental nas atividades de ampliação e modernização da infraestrutura da região leste do estado de São Paulo ora em curso, motivadas e estimuladas pelos processos de dinamização econômica relacionados com a exploração de gás natural e petróleo do campo de Mexilhão e dos campos do chamado Pré-Sal, como, por exemplo, Tupi, e, também, com a ampliação e modernização do Porto de São Sebastião.

Fenômenos extremos como a chamada “Grande Catástrofe” – fortes chuvas que atingiram o município de Caraguatatuba em 1967 e provocaram o deslizamento de grandes volumes de terra e rochas da encosta da Serra do Mar – tendem à ocorrer com frequência e intensidade cada vez maiores.

A Rodovia do Tamoios foi atingida pela chuvas em 1967 e teve que ser recuperada (DER-SP, 2010). Quedas de barreiras e deslizamentos de massas de solo ainda ocorrem com grande frequência ao longo do trajeto da rodovia. Muitas vezes as causas são consequência do eventos atmosféricos extremos e do uso inapropriado do solo. Os impactos se estendem às áreas urbanas, especialmente nas áreas de alta declividade.

Os modelos clássicos estáticos de caráter econômico como os de Von Thünen (1826), Weber (1909), Christaller (1933) e Lösch (1940) evoluíram com o advento da computação. Modelos dinâmicos não espaciais como os de Perraton e Baxter (1974), Butler et al. (1969) e Lowry (1954) e dinâmicos como o EMPIRIC (1965) e TOMM (1964) entraram em pauta devido às novas facilidades oferecidas pela computação de melhor performance.

Os modelos dinâmicos espaciais surgiram na década de 1990 e deram início a uma nova forma de modelagem dos fenômenos dinâmicos espaciais, possibilitando o surgimento de novas soluções, a exemplo dos resultados possíveis de se obter com os modelos SimLucia (1999), DinamicaEGO (1998), iCity (2007), entre outros (discutidos em maior detalhe por Almeida, 2003; Almeida et al., 2005; Herold et al., 2005; Soares Filho et al., 2002, 2008; Batty et al., 1999). Entre os modelos dinâmicos espaciais, um grande número é baseado em automatas celulares, que geralmente produzem resultados mais significativos em termos de modelagem urbana (Herold et al., 2005).

Para realizar a parametrização, os principais modelos dinâmicos espaciais utilizam o cálculo de pesos de evidência, a regressão logística, as redes neurais e/ou as árvores de decisão. O modelo DinamicaEGO[®] foi concebido para modelar o processo de desflorestamento na Amazônia e opera sobre uma grade regular de pixels, sendo orientado a processos. Ele produz grades de probabilidade para cada célula e opera as transições com uma componente aleatória, simulando a ação de tomada de decisão humana e permitindo gerar mudanças através da expansão (*expander*) e formação de manchas (*patcher*), de acordo com as entradas do modelador (Soares Filho et al., 2008; Almeida, 2003). Soares Filho et al. (2008) apresentam uma vasta revisão de todas as funções implementadas no DinamicaEGO[®].

O presente trabalho teve por objetivo (1) modelar, utilizando a plataforma DinamicaEGO[®], a evolução das manchas urbanas das cidades de São José dos Campos e Caraguatatuba para o período de 2000 a 2008 com a plataforma e (2) avaliar qualitativamente o impacto da Rodovia dos Tamoios – especialmente enquanto componente central dos processos de transformação ambiental e infraestrutural da região leste do Estado de São Paulo – na expansão das manchas urbanas dessas cidades através da plataforma DinamicaEGO[®].

2. Metodologia

As etapas metodológicas podem ser apresentadas em três grandes fases: a) preparação dos mapas da mancha urbana dos anos de 2000 e 2008; b) adequação para o DinamicaEGO[®] (Soares Filho et al., 2008) do cubo de variáveis e dos mapas de uso inicial e final; c) elaboração modelo de expansão urbana e calibração.

2.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada pode ser representada pelas manchas urbanas dos municípios de São José dos Campos, Paraibuna e Caraguatatuba, no estado de São Paulo (Figura 1).

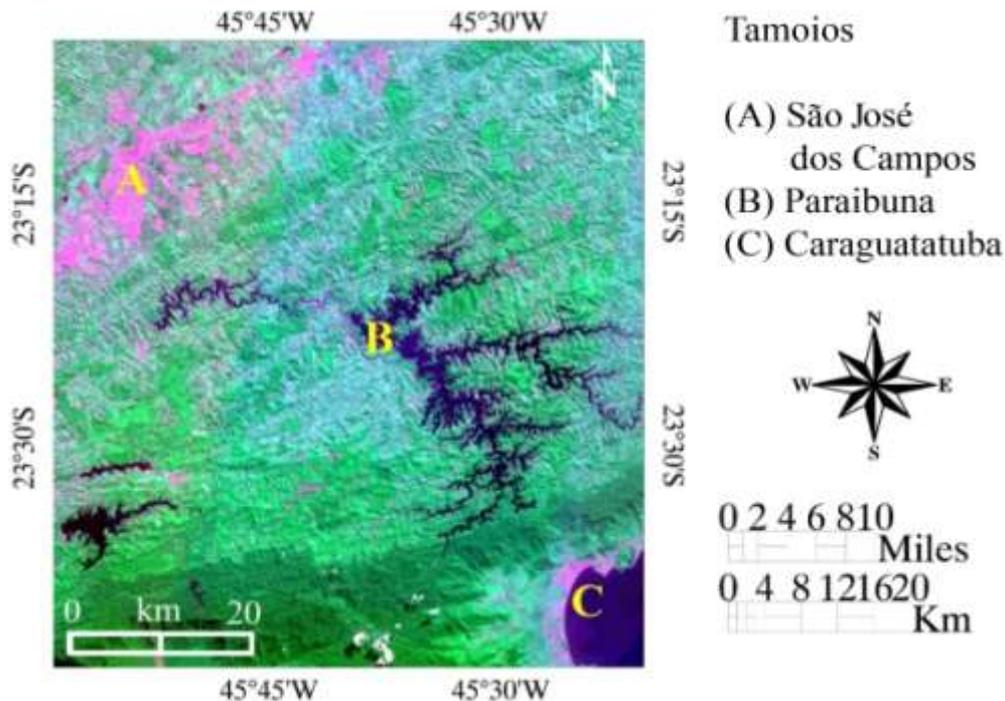


Figura 1. Localização da área de estudo. A) São José dos Campos; B) Paraibuna; C) Caraguatatuba. Composição falsa-cor RGB-342 das imagens CBERS-2b, de 26/04/2008.

Estes municípios apresentaram um forte crescimento populacional entre os anos de 2000 e 2008 (IBGE, 2008). São José dos Campos apresentou um crescimento de 10% e Caraguatatuba aproximadamente 11%. Apesar a pequena participação populacional de Paraibuna entre os municípios estudados, este teve sua população reduzida em cerca de 3% de acordo com as estimativas do IBGE (2008).

2.2 Construção do banco de dados

As manchas urbanas das cidades de São José dos Campos, Paraibuna e Caraguatatuba foram digitalizadas a partir de uma base de imagens do sensor TM Landsat-5 (para o ano de 2000) e da imagem CCD CBERS-2b (para o ano de 2008) com 30 e 20 metros de resolução espacial, respectivamente. Ambas as imagens foram registradas em função da base ortorretificada geocover (NASA, 2000). As estradas, áreas de preservação permanente e oceano foram digitalizados utilizando como referência a imagem geocover de 2000. Os dados de hidrografia (rios e lagos) foram obtidos do banco de dados do trabalho de Pereira et al. (2006).

Todos os dados foram gerados no aplicativo ENVI® (ITT, 2008) e na sequência transferidos para o SPRING (Camara et al., 1996) de forma a gerar um banco único e com as mesmas

características cartográficas. Na sequência os dados foram exportados no formato *geotiff* e importados para o IDRISI[®] (Clark Labs, 2008). Apesar dos dados terem sido gerados a partir de imagens de 20 e 30 metros, estes foram re-amostrados para 120 metros para reduzir o custo computacional.

2.3 Informações de entrada e adequação dos dados para o modelo DinamicaEGO[®]

Os dados de entrada para o modelo DinamicaEGO[®] foram:

- a) Mancha urbana das cidades de 2000;
- b) Mancha urbana das cidades de 2008;
- c) Variáveis categóricas:
 - Oceano;
 - Áreas de preservação permanente;
- d) Variáveis não-categóricas:
 - Distância até a rodovia dos Tamoios;
 - Distância até as demais principais rodovias da região (Presidente Dutra e Carvalho Pinto);
 - Distância até os principais rios da região de estudo;
 - Distância até os principais lagos e reservatórios da região de estudo;
 - Distância dinâmica da mancha urbana de 2000.

As manchas urbanas de 2000 e 2008 foram ajustadas para os formatos de dados *unsigned32bit* (1=não urbano; 2 = urbano) e as variáveis do cubo de variáveis categóricas e não categóricas foram salvas no formato *signed32bits_interger*. O *software* utilizado para realizar estes procedimentos foi o IDRISI[®] (Clark Labs, 2008).

2.4 Elaboração e calibração do modelo

O modelo de expansão urbana implementado no DinamicaEGO[®] consiste na determinação da matriz de transição. Esta matriz permite ao modelo determinar o quanto vai mudar a cada passo do modelo e no total (passos múltiplos ou simples, respectivamente). Para calcular estas matrizes de transição o modelo demanda um mapa de uso do solo inicial e final. Além disto, nessa etapa foram definidos oito passos. O intervalo de modelagem foi de oito anos.

A segunda etapa do modelo consiste na determinação das amplitudes de cada fatia (faixa) das variáveis não-categóricas (por exemplo distância da área urbana de 100 em 100 metros). Assim, o modelo requer o uso do solo (urbano e não urbano) referente ao início da modelagem, ao final e, ainda, o cubo de variáveis (categóricas e não-categóricas). Foi definida a transição de 1 para 2, ou seja, de uso não urbano para urbano.

Os coeficientes referentes aos pesos de evidência, que determinam a taxa de variação de cada faixa e para cada variável não-categórica, são gerados na terceira etapa do modelo. Nessa etapa o modelo espacial DinamicaEGO[®] demanda os mapas de uso do solo inicial e final (urbano e não urbano), o cubo de variáveis e a matriz com os *ranges* calculados na etapa anterior.

A correlação entre cada uma das variáveis que entraram no modelo é calculada na etapa quatro. Este procedimento permite selecionar variáveis altamente correlacionadas e eliminar algumas delas, visto que possuem o mesmo cunho explicativo e se forem incluídas aumentam o custo computacional.

A execução do modelo em si é feita na quinta etapa, onde o usuário define a quantidade de expansão e formação para o modelo. No presente estudo foram utilizados os valores apresentados na Tabela 1. Outros valores foram testados, contudo, os resultados mais confiáveis foram encontrados com estes valores. Para gerar as saídas foram usadas as matrizes de transição simples e múltipla, de forma a fornecer um único resultado para o ano final e resultados anuais, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros da expansão (*expander*) e formação (*patcher*) usados no modelo.

| Parâmetro | Expansão (<i>expander</i>) | Formação (<i>patcher</i>) |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Área média (ha) | 10 | 7 |
| Variância média (ha) | 14 | 10 |
| Isometria | 1,5 | 1,5 |

3. Resultados

3.1 Resultados associados a parâmetros de entrada no modelo

A partir das matrizes de transição (Tabela 2) foi possível calcular os pesos de evidência para cada *range* de cada variável. Os resultados das dos pesos de evidência podem ser vistos na

Figura 2. Em relação ao cálculo da distância à mancha urbana de 2000, verificou-se que influenciou positivamente até uma distância de 2.280 metros da área urbana. Após esta distância ela passa a interferir negativamente ou de forma nula no cálculo da probabilidade de mudança de não urbano para urbano.

Tabela 2. Valores obtidos pelo cálculo das matrizes de transição para cada passo de um ano.

| Modelo | Keyv e value |
|-----------------------|-------------------------|
| <i>Simple_steps</i> | 1,002 e 0,00341910054 |
| <i>Multiple_steps</i> | 1,002 e 0,0004891601857 |

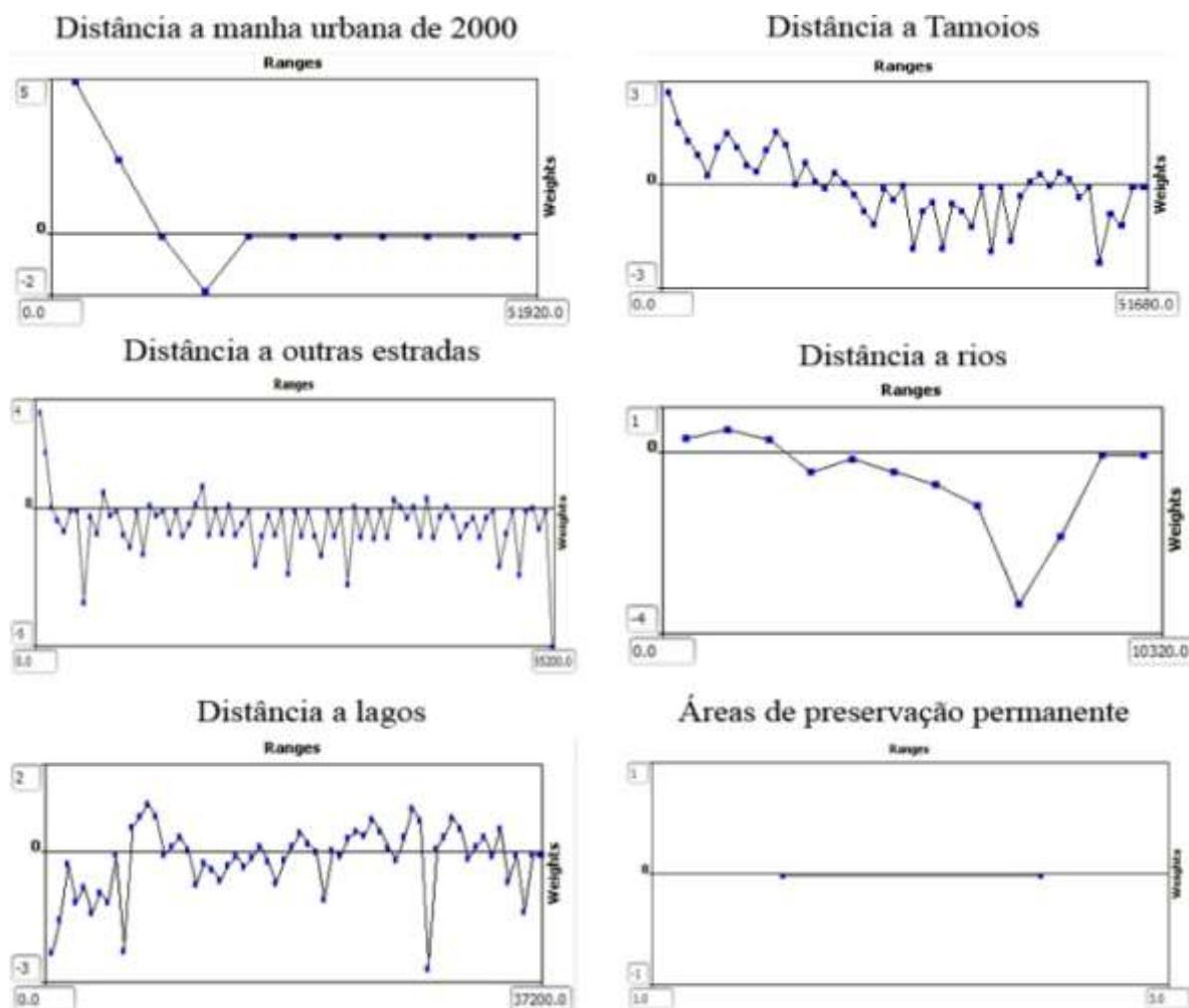


Figura 2. Variação dos pesos de evidência para cada variável não categórica e categórica.

Em relação à variável “distância à Rodovia dos Tamoios”, apresentou um peso de evidência positivo até 11.500 metros, após esta distância possuiu interferência negativa. Os rios exercem poder atrativo até aproximadamente 1.500 metros.

Outras variáveis mostraram-se muito irregulares, agindo de forma positiva e negativa para distâncias variadas. Isso acontece porque muitas manchas urbanas estão localizadas a distâncias distintas destas variáveis (e.g. distância aos lagos/reservatórios e às outras estradas). Em relação a variável categórica “áreas de preservação permanente”, teve valor nulo porque é imutável ao longo do tempo.

3.2 Resultados do modelo de expansão urbana

O primeiro resultado (Figura 3) refere-se ao mapa de probabilidade de mudança. Verifica-se que as maiores probabilidades de mudança encontram-se próximo às manchas urbanas. Esse resultado era esperado e está associado ao *expand* (Cor vermelho escuro na Figura 3). Ainda analisando esta figura, verifica-se que a Rodovia dos Tamoios define uma pequena área de influência, principalmente no centro da figura, que pode influenciar a formação (*patcher*) de áreas urbanas isoladas. As áreas em azul escuro representam regiões que apresentam baixa probabilidade de mudança.

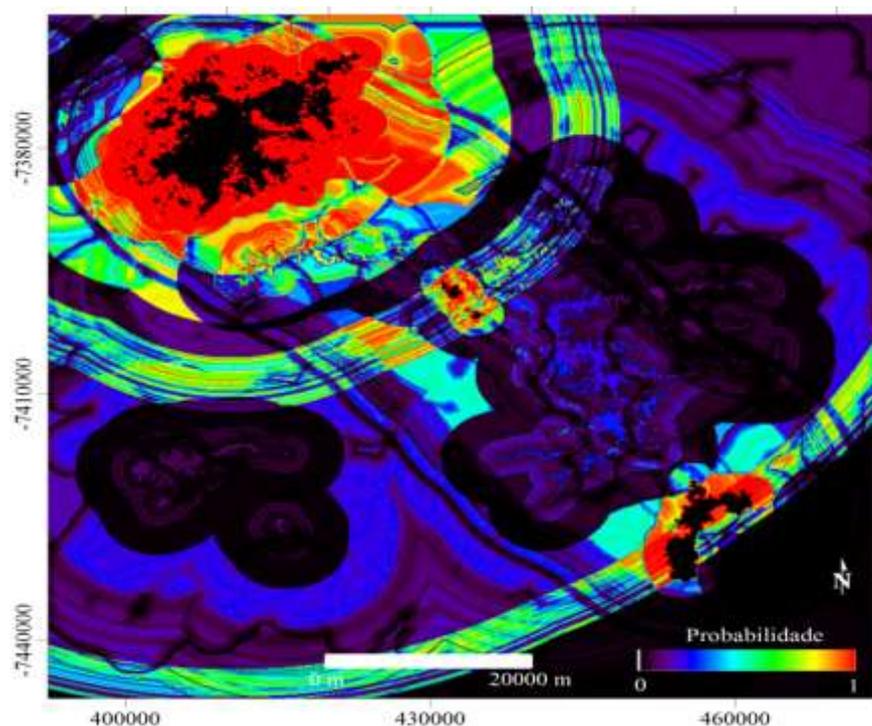


Figura 3. Mapa de probabilidade de mudança de não urbano para urbano (passo 8). Azul = baixa probabilidade; vermelho = alta probabilidade de mudança. Origem das coordenadas: meridiano de 53°W e Equador.

Os resultados positivos do modelo podem ser vistos na Figura 4 (amarelo = classe 2) que mostram que em regiões próximas a mancha urbana (*expand*) os acertos foram mais

significativos do que nas que se formaram isoladamente (*patcher*). Esse efeito é esperado visto que a tendência da população é buscar morar em áreas próximas aos centros comerciais e de prestação de serviços.

Apesar da inclusão da Rodovia dos Tamoios, a maior expansão da cidade foi para noroeste. Esse resultado mostra que não apenas as estradas determinam a expansão urbana, mas também que outros fatores não incluídos no modelo são importantes. Contudo, essas informações podem ser importantes no sentido de orientar a administração pública a otimizar os investimentos (Herold et al., 2005) e direcionar os futuros loteamentos.

Verificou-se que foram geradas muitas áreas isoladas (*patcher*) que não correspondem à realidade (representadas por pequenas manchas) e que correspondem a erros associados à falta de dados para a entrada no modelo.

Entre os dados importantes que devem ser incluídos em trabalhos futuros estão os mapas de declividade, probabilidade de escorregamento e capacidade hídrica do solo. Com a inclusão destas novas variáveis, será possível avaliar melhor o impacto de eventos extremos sobre a área de estudo em questão.

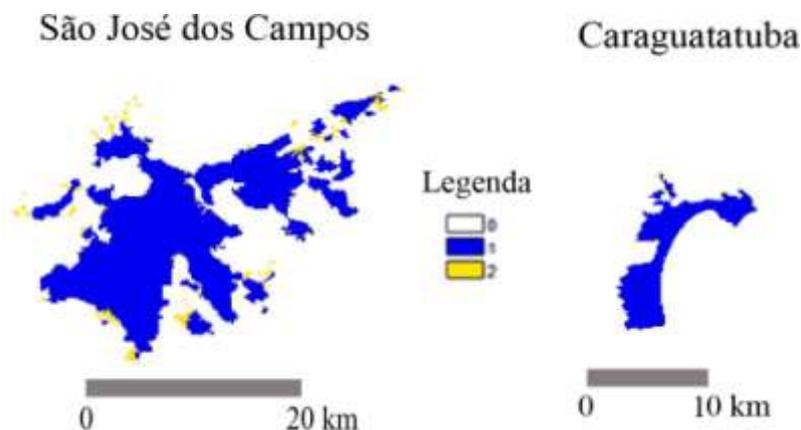


Figura 4. Identificação das áreas de acerto do modelo (amarelo). As áreas em azul não apresentaram mudança nos oito anos analisados e as em branco são áreas não urbanas. O mapa da direita representa a cidade de São José dos Campos e o mapa da esquerda refere-se ao município de Caraguatatuba. (Obs. Escala aproximada).

3.3 Validação do modelo

As medidas de similaridade entre o mapa de referência para 2008 e o simulado de 2008, foram calculados os coeficientes máximos e mínimos de semelhança (Figura 5). Os resultados para matrizes foram satisfatórios. Outros valores de *expander* e *patcher* foram testados, contudo, não apresentaram resultados melhores.

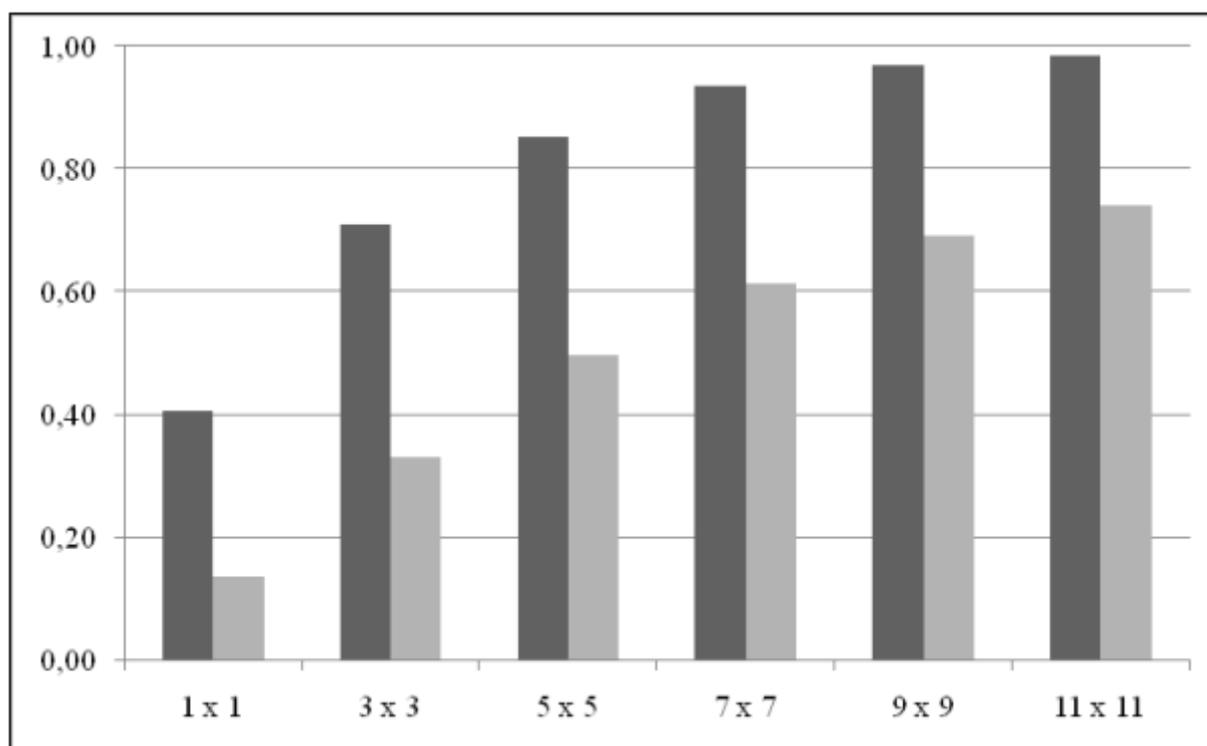


Figura 5. Variação do índice máximo e mínimo (cinza escuro e claro, respectivamente) do ajuste entre o mapa real e o simulado para o ano de 2008.

Em geral, os resultados de um modelo dependem muito das variáveis utilizadas na parametrização e calibração do modelo (Herold et al., 2005). Desta forma, os mínimos de similaridade podem estar associados à falta de alguma variável. No presente estudo, acredita-se que variáveis geomorfológicas como a declividade poderiam melhorar os resultados.

4. Considerações finais

- O modelo apresentou concordâncias aceitáveis com o mapa de referência de 2008.
- Manchas isoladas foram criadas, o que não concorda com a realidade.
- Resultados melhores poderiam ser encontrados se fosse incluída a grade de relevo e variáveis geomorfológicas como, por exemplo, a declividade das vertentes.

d) A Rodovia dos Tamoios parece não ser um determinante para a expansão urbana das cidades estudadas, apesar de ter influência sobre o surgimento de algumas novas áreas urbanas no trecho entre as duas cidades, em especial na direção da cidade de Paraibuna.

5. Referências

- ALMEIDA, C. M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil.** 2003. 321 p. (INPE-10567-TDI/942/A). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos. 2003. Disponível em: < <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.18.07.29> >. Acesso em: 15 dez. 2008.
- ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G.; SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, C. C.; PENNACHIN, C. L.; BATTY, M. GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 4, p. 759-774, 2005.
- BATTY, M.; XIE, Y.; SUN, Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 23, n. p. 205-233, 1999.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, v. 3 p. 395-403, 1996.
- CLARK LABS. IDRISI ANDES©. **IDRISI GIS and Image Processing System.** Clark University 950 Main Street, Worcester MA 01610-1477 USA, 2008.
- HEROLD, M.; COUCLELIS, H.; CLARKE, K. C. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 29, p. 369–399, 2005.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER-SP). **MALHA RODOVIÁRIA/Histórico de Rodovias.** Disponível em: < <http://www.der.sp.gov.br/home.aspx> >. Acesso em 1 de março de 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.
Cidades.Disponível em: < WWW.ibge.gov.br >. Acesso em: 10 de novembro de 2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). IPCC reports.
Disponível em: < http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data.htm >. Acesso em 1 de março de 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Imagens de satélite.**
Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> >. Acesso em: 10 de novembro de 2008.

ITT. ENVI Software - Image Processing & Analysis Solutions. **Software ENVI-IDL.**
Version 4.5., 2008.

NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Earth Science Enterprise Scientific Data Purchase Program. Geocover.** Versão 2000. Disponível em: < <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/> >. Acesso em: 10 de novembro de 2008.

PEREIRA, M. N.; GONCALVES, C. D. A. B.; SOUZA, I. M. E. ; GARCIA, S.; PORTELA, A. G.; ALMEIDA, C. M.; FLORENZANO, T. G. Uso de Imagens de Satélite como Subsídio ao Estudo do Processo de Urbanização. **Revista de Estudos sobre Urbanização, Arquitetura e Preservação**, São Paulo, SP, v. 46, p. 6-33, 2006.

SOARES FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. S.; SUAREZ, A. F.; SILVESTRINI, R. A.; e colaboradores. **DinamicaEGO Project.** Disponível em: < <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/> >. Acesso em: 15 de dezembro de 2008.

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 modeling**, v. 154. p. 217–235, 2002.