

Análise das mudanças temporais de cobertura da terra na região portuária da Baixada Santista-SP e a proposição de modelos de dinâmica espacial

Renata Sayuri Kawashima¹
Cláudia Maria de Almeida²
Mariana Abrantes Giannotti¹
José Alberto Quintanilha¹

¹ Universidade de São Paulo –USP/EPUSP
Caixa Postal 61548 - 05508-900 – São Paulo - SP, Brasil
resao_sayuri@hotmail.com
mariana.giannotti@usp.br
jaquinta@usp.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE
Caixa Postal 515- 12227-010 – São José dos Campos - SP, Brasil
almeida@dsr.inpe.br

Abstract. The objective of this research was to verify the historical changes in the landscape between three periods, 1985 until 1995, 1995 until 2005 and 2005 until 2013 in temporal analysis of land cover in the port area of Santos. The result of the supervised classification of Landsat imagery allowed us to map the initial and final times of each period and to develop dynamic models of the landscape. Spatial patterns of change in land cover can be analyzed from spatial dynamics modeling. This modeling can describe factors that have influenced territorial changes as well as enable the estimation of future impacts over the simulated environment. The dynamic modeling *software* Dinamica EGO 2.4 allowed building simulation models based on cellular automata and transition functions. The simulated models for 1995 and 2005 were similar to the actual thematic mapping and showed a good evaluation. The transition matrices allowed quantifying the amendments tabled by the total area, and the percentage of each class. The explanatory variables related to secondary roads and to distance to the urban class were the main variables that averaged weights of positive evidence in transitions, with influence over distances of 300 meters of the secondary roads and 500 meters of the Urban class.

Palavras-chave: supervised classification, simulation, spatial dynamic modeling, cellular automata, classificação supervisionada, simulação, modelagem dinâmica espacial, autômato celular.

1. Introdução

Cerca de dois terços da população mundial habitam as zonas costeiras, caracterizando um contingente populacional denso e concentrado onde se localizam as principais metrópoles contemporâneas (MORAIS, 2007). Na região da Baixada Santista, além das estruturas ligadas ao Porto de Santos, as atividades referentes ao turismo de veraneio, a indústria do polo de Cubatão, a atividade da construção civil regional e a exploração de petróleo e gás provenientes da Bacia de Santos têm caracterizado a estrutura econômica e a urbanização da paisagem regional, promovendo mudanças no espaço da cidade portuária, especialmente ligadas à infraestrutura viária e expansão urbana. Assim, o desenvolvimento da zona costeira da Baixada Santista, juntamente com a tendência da expansão portuária, têm promovido mudanças no uso e ocupação do solo. As representações, ou modelos, do processo de alteração da expansão do solo urbano são importantes na análise e simulação das dinâmicas de evolução urbana.

Os modelos de mudanças da paisagem podem ser utilizados para quantificar espacialmente as transições de uso e cobertura da terra ao longo de um determinado período de tempo e investigar a influência de variáveis proximais nessas transições. Para Verburg et al. (2004), esse tipo de modelagem pode ser utilizado para identificar fatores que influenciam o padrão espacial de alteração do uso e cobertura da terra e prever possíveis impactos sobre o ambiente. O objetivo desta pesquisa foi verificar as mudanças históricas na paisagem

ocorridas entre os anos de 1985 e 1995, entre 1995 e 2005, e para o último período entre 2005 e 2013, que resultaram na atual configuração territorial. Além disso, buscou-se o desenvolvimento de modelos dinâmicos da paisagem e a investigação da relação entre as mudanças apresentadas na cobertura da terra e a infraestrutura de transportes na região portuária da Baixada Santista.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A Baixada Santista está localizada na região central do litoral do estado de São Paulo, e a área de estudo enfoca os municípios de Santos, São Vicente, Praia Grande, Cubatão e Guarujá (Figura 1). Esses municípios pertencem à Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), juntamente com outros quatro: Bertioga, Peruíbe, Mongaguá e Itanhaém.

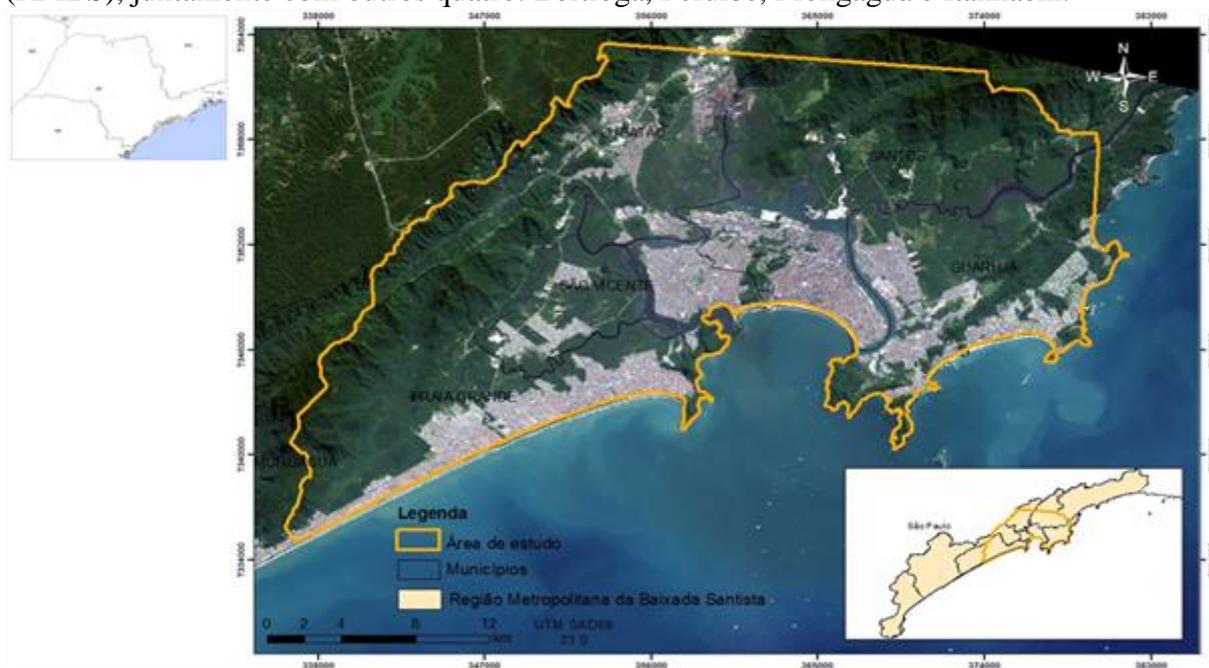


Figura 1- Localização da área de estudo na Região Metropolitana da Baixada Santista.

2.2 Classificação das imagens de satélite

As datas do imageamento foram 12/03/1985, 28/06/1995, 06/05/2005, com o satélite Landsat 5 TM, e 12/05/2013 com o satélite Landsat 8 TM, pertencentes à órbita 219 e ponto 77, e bandas espectrais do azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e médio.

Foi realizado o georreferenciamento das imagens, com aproximadamente 19 pontos de controle medidos sobre a base topográfica do IBGE (1985), escala 1:50.000. Utilizou-se o polinômio de primeiro grau e o interpolador do vizinho mais próximo. A avaliação das classificações seguiu a metodologia de Congalton (1991), com a geração de 50 amostras de teste, ou de avaliação, para cada classe.

Aplicou-se a classificação supervisionada com o algoritmo de máxima verossimilhança (MaxVer), com a etapa de treinamento (coleta) das amostras representativas para cada classe. A classificação das imagens de satélite visou à obtenção dos mapas de cobertura da terra da região portuária da Baixada Santista, e a descrição de suas classes baseou-se nas proposições do projeto CORINE (BOSSARD et al., 2000).

O procedimento de edição da imagem pós-classificada procura minimizar os erros de omissão e comissão (SHIMABUKURO et al., 2008). Eliminou-se polígonos menores de um *pixel*, substituindo-o pelo valor do *pixel* predominante ao seu redor, e realizou-se um corte na

área de estudo para remover as áreas da linha de praia e da costa litorânea, seguindo a delimitação dos limites municipais e, ao norte, o limite da imagem de satélite.

Outra forma de reduzir o erro nas análises multitemporais foi proceder com a tabulação cruzada entre os mapeamentos temáticos gerados e verificar as possíveis transições. Para isso, utilizou-se o *software* Idrisi 3.2. e o algoritmo de tabulação cruzada. Assim, o mapa do período subsequente foi acertado considerando apenas as permanências e transições possíveis, tais como: Floresta→Urbano; Floresta→Campo; Floresta→ Solo; Manguezal→Urbano; Manguezal→Campo; Manguezal→Solo; Campo→Urbano; Campo→Solo; Solo→Urbano. E ainda, a transição Água→Urbano foi considerada para o período entre 2005 e 2013.

2.3 Preparação da base de dados

O banco de dados geográfico foi montado na plataforma SPRING 5.2.3. Um conjunto de variáveis de distância foi selecionado para analisar as mudanças ocorridas por período observado. Assim, foram construídos mapas de distância para as bases vetoriais de: a) áreas urbanas; b) áreas industriais; c) base viária atualizada por período das rodovias e vias secundárias; e) ferrovias; f) hidrografia simples; g) hidrografia dupla; h) hidrografia completa; i) distância às áreas protegidas. Além das variáveis de distância, foi gerada a variável categórica das áreas protegidas e obtida a variável numérica dos dados de altimetria e declividade.

As variáveis vetoriais foram importadas como modelo temático e, depois de gerado o mapa de distância para cada variável, foram exportadas como grade regular numérica. Os mapas temáticos de cobertura da terra apresentaram o formato de saída em Geotiff, e as variáveis numéricas em ASCII. Foi necessária uma série de procedimentos de conversão entre formatos: para os mapas de cobertura da terra, por exemplo, foi realizado um reordenamento das classes em números sequenciais, e posteriormente, os mapas foram exportados em formato .rst no ambiente do *software* IDRISI. Em seguida, os mapas em formato .rst foram convertidos na extensão .ers (*software* ER MAPPER) com o formato “*Unsigned8BitInteger*” e valor nulo igual a 0 (zero).

Os arquivos de grades dos mapas de distância foram importados em seu formato ASCII para o ambiente IDRISI, definição de coordenadas espaciais, número de linhas e colunas e exportadas no formato matricial .rst. Esse arquivo deu entrada no *software* ER MAPPER para compor o cubo de variáveis estáticas, as quais foram exportadas com a extensão .ers em formato “*Signed32BitInteger*”, com valor nulo igual a – 2127283648. Dessa forma, foram gerados os mapas de variáveis estáticas para cada período, unidas em um cubo de dados em formato .ers. Para cada período foram utilizadas as mesmas variáveis com atualização das áreas urbanas, industriais e do sistema viário com as fotografias aéreas disponíveis de cada época.

2.4 Modelagem da dinâmica espacial

Utilizou-se o *software* Dinamica EGO 2.4, uma ferramenta livre desenvolvida pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais, permitindo a construção de modelos de simulação baseado em autômatos celulares com o emprego de funções de transição concebidas para reproduzir as dimensões e as formas das alterações da paisagem (SOARES-FILHO et al., 2002).

As simulações foram realizadas baseando-se nas taxas de transição calculadas pelas matrizes de transição, bem como nas probabilidades de transição das células, determinadas pelo método de pesos de evidência. As saídas das simulações foram continuamente calibradas até se atingir resultados satisfatórios, que foram por fim validados.

Dessa forma, as principais etapas seguidas para construção da modelagem no Dinamica EGO foram:

- 1- Cálculo do percentual de mudanças das classes através das matrizes de transição.
- 2- Cálculo das faixas de discretização das variáveis explicativas.
- 3- Cálculo dos pesos de evidência (W^+), método bayesiano baseado na teoria da probabilidade condicional e que foi utilizado para cálculo da probabilidade de mudança, representando a influência de cada categoria (ou faixa de valores) de certa variável espacial na probabilidade espacial de uma dada transição $i \rightarrow j$ para cada célula (SOARES-FILHO et al., 2007).
- 4- Análise da correlação dos pesos entre as variáveis de entrada para todas as transições.
- 5- Simulação e calibração.
- 6- Validação do mapa final observado e simulado.

3. Resultados e discussão

3.1 Classificação das imagens

O resultado da classificação das imagens possibilitou a geração dos mapas temáticos de cobertura da terra para os períodos de 1985, 1995, 2005 e 2013, representados na Figura 2.

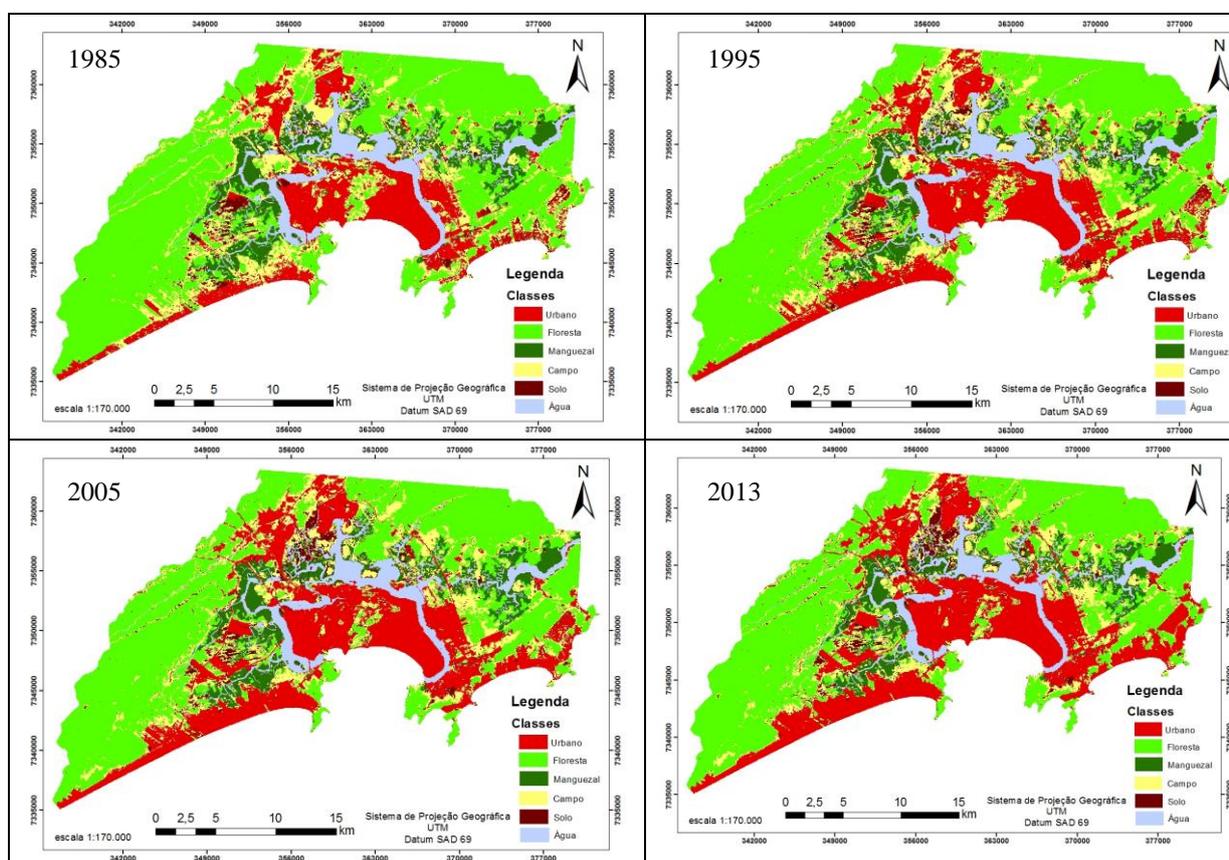


Figura 2-Mapeamento temático de cobertura da terra de 1985, 1995, 2005 e 2013.

Em geral, podemos notar que as áreas representadas como Campo em 1985 foram ocupadas pelo crescimento urbano nos períodos subsequentes, isto é, em 1995, 2005 e 2013. Regiões classificadas como Solo também deram lugar às ocupações urbanas, seguindo a rodovia de ligação, principalmente para o município de Praia Grande. Isto também foi observado na porção insular de São Vicente, onde, após a ocupação das planícies mais secas, os manguezais foram invadidos e aterrados para construção de novos loteamentos residenciais ou para expansão das áreas portuárias (AFONSO, 2005).

3.2 Análises das mudanças temporais

A quantificação das áreas, em hectares, ocupadas por cada classe nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2013, e a diferença, em percentuais, estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Quantificação das classes em área (ha) e a diferença entre os anos em percentuais.

Ano	1985	1995	1985-1995	2005	1995-2005	2013	2005-2013	1985-2013
Classes	Área (ha)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	(%)
Sem Dado	62193,51	62193,51	0%	62193,51	0%	62193,51	0%	0%
Urbano	10308,24	13566,42	32%	15757,65	16%	17323,74	10%	68%
Floresta	33072,21	30257,46	-9%	28881,45	-5%	28378,89	-2%	-14%
Manguezal	5858,19	5540,13	-5%	5248,62	-5%	5070,96	-3%	-13%
Campo	11298,78	10769,22	-5%	10059,48	-7%	9123,93	-9%	-19%
Solo	2082,42	2486,61	19%	2672,64	7%	2912,4	9%	40%
Água	5095,26	5095,26	0%	5095,26	0%	4905,18	-4%	-4%
Total	129908,6	129908,6	0%	129908,6	0%	129908,6	0%	0%

Em relação ao período global entre 1985 e 2013, notou-se um acréscimo de 68% da classe Urbano, em decorrência da redução, principalmente, das classes de Floresta (14%) e Campo (19%). Durante esse período, a classe referente ao ecossistema Manguezal contabilizou redução total de suas áreas em 13%, porém a uma taxa relativamente constante, quase 5% de perda a cada 10 anos.

A classe Urbano obteve acréscimo de 32% em sua área entre 1985 e 1995. Nos períodos posteriores, também houve aumento de suas áreas com menores percentuais, 16% em 2005 e 10% em 2013. Outra classe que sofreu acréscimo foi a classe Solo, aumentando em 19% no primeiro período, 7% em 2005, e 9% em 2013. Por outro lado, as classes Floresta, Manguezal e Campo apresentaram redução, a classe Floresta em 9% entre 1985 e 1995, 5% entre 1995 e 2005, e 2% entre 2005 e 2013. O mesmo ocorreu com a classe Manguezal, com redução constante em 5% entre os dois primeiros períodos, e 3% no último período. No último período, entre 2005 e 2013, a classe Água apresentou redução em 4% de sua extensão. Este fato remete à construção de terminais portuários, Embraport e Brasil Terminal Portuário (BTP), construídos sobre o estuário.

3.3 Matrizes de transição

A matriz de transição relata o número de células que mudaram de uma classe para outra. A Tabela 2 representa a matriz de transição de passo único, ou seja, os percentuais totais obtidos durante o período de dez anos, entre 1985 e 1995.

Tabela 2 - Matriz de transição de passo único (em percentuais) no período entre 1985 e 1995.

Período: 1985-1995	Matriz de transição de passo único (percentuais)		
De/Para	Urbano	Campo	Solo
Floresta	0,89%	7,00%	0,62%
Manguezal	0,48%	2,95%	2,00%
Campo	20,46%	-	6,25%
Solo	29,93%	-	-

A maior contribuição para o acréscimo de áreas construídas nesse período foi a transição de Solo para Urbano (29,93%), depois a transição da classe Campo para Urbano (20,45%). As classes Floresta e Manguezal transitaram em torno de 0,9% e 0,5%, respectivamente.

De forma semelhante, é possível observar a conversão da classe Floresta para Campo em 7%, e de Manguezal para Campo em aproximadamente 3%.

As mudanças entre as classes para o período de 1995 e 2005 estão demonstradas nas Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de transição de passo único (em percentuais) no período entre 1995 e 2005.

Período: 1995-2005		Matriz de transição de passo único (percentuais)		
De/Para	Urbano	Campo	Solo	
Floresta	0,38%	3,91%	0,25%	
Manguezal	0,69%	1,51%	3,07%	
Campo	13,13%	-	5,22%	
Solo	25,06%	-	-	

A conversão das classes Campo e Solo continuam como maiores representantes para o aumento da classe Urbano, representando 13% e 25% respectivamente. O Manguezal também transitou em 0,69% para a classe Urbano, e a classe Floresta teve uma contribuição relativamente menor, em 0,38%, para essa transição.

A Tabela 4 a seguir mostra os percentuais de transição de passo único entre 2005 e 2013.

Tabela 4- Matriz de transição de passo único (em percentuais) no período entre 2005 e 2013.

Período: 2005-2013		Matriz de transição de passo único (percentuais)		
De/Para	Urbano	Campo	Solo	
Floresta	0,19%	1,20%	2,20%	
Manguezal	0,39%	2,20%	0,80%	
Campo	9,67%	-	4,22%	
Solo	12,29%	-	-	
Água	3,73%	-	-	

Pode-se notar que as tendências não estão na contribuição direta das áreas de vegetação para áreas urbanas, mas estão sendo alocadas, principalmente, pela conversão das áreas degradadas, representadas pelas classes de Campo e Solo, para a classe Urbano, embora em menores proporções se comparadas com os períodos anteriores. O Campo contribuiu em 9,6% de suas áreas para Urbano e Solo em 12,29%.

Ainda se contabilizou a conversão da classe Água para Urbano em 190,08 hectares (3,73%), representando as novas instalações portuárias construídas sobre o estuário nesse período.

3.4 Pesos de evidência

A análise dos pesos de evidência indica a influência exercida em relação à proximidade, ou categoria, de cada variável utilizada nas transições por período. Para os três períodos analisados, a distância das vias secundárias entre 200 e 300 metros influenciam na atração de novas áreas construídas, referentes à transição da classe Floresta para a classe Urbano. A partir desse ponto, os valores de pesos de evidência tenderam a diminuir e exercer influência negativa.

A variável dinâmica de distância à classe Urbano tende a influenciar novas áreas construídas em detrimento das áreas florestais. Em todos os períodos, a faixa de distância com a variável dinâmica de distância à classe Urbano esteve positiva para a mudança entre 200 e 300 metros. A partir dessa distância, passaram a não exercer influência nesse tipo de transição.

3.5 Modelos simulados

Em geral, os modelos simulados gerados obtiveram resultados satisfatórios, os quais são apresentados nas Figuras 3 e 4.

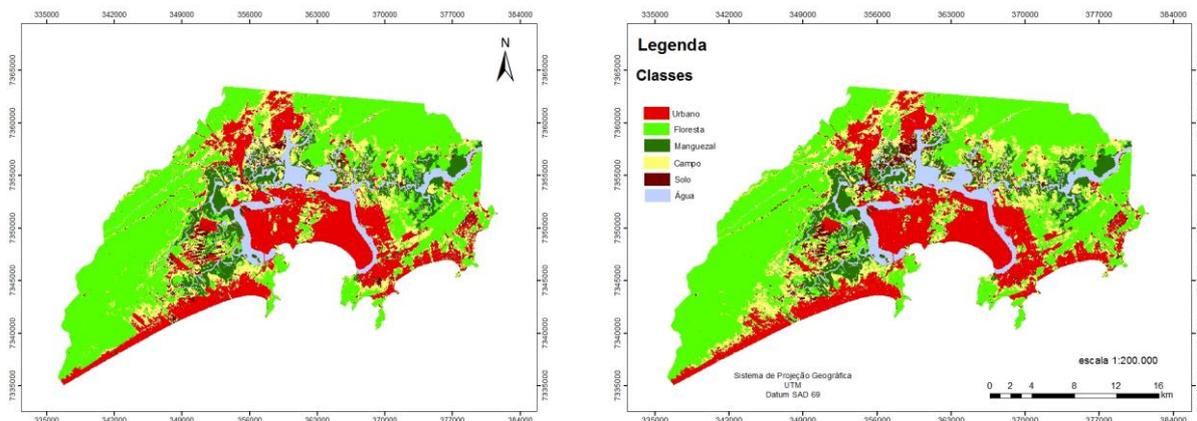


Figura 3 - Mapeamento realizado na imagem do ano de 1995 (esquerda) e o modelo simulado para o ano de 1995 (direita).

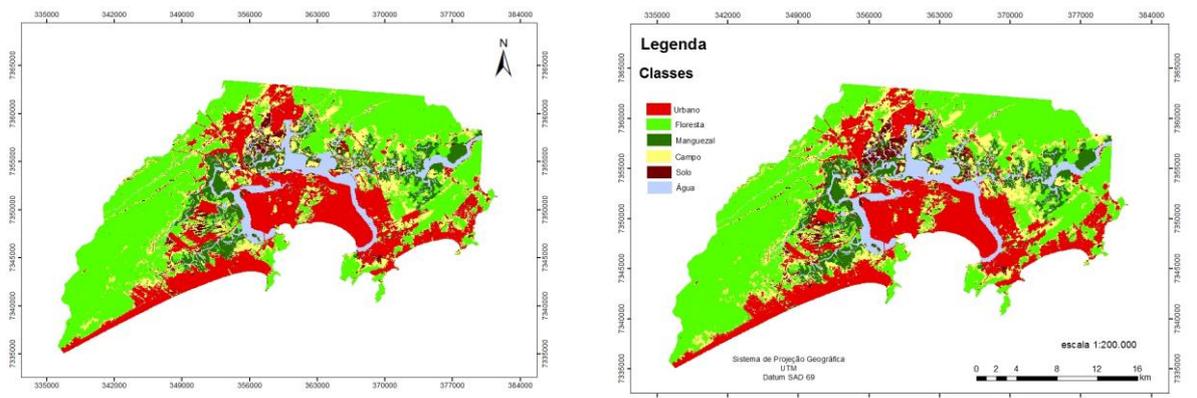


Figura 4 - Mapeamento realizado na imagem do ano de 2005 (esquerda) e o modelo simulado para o ano de 2005 (direita).

Tabela 5 - Validação do resultado do modelo de simulação para o ano de 1995.

Tamanho da Janela	Decaimento exponencial		Decaimento constante	
	Mínima Similaridade	Máxima Similaridade	Mínima Similaridade	Máxima Similaridade
3	0,464	0,478	0,502	0,531
5	0,499	0,528	0,579	0,639
7	0,518	0,552	0,639	0,718
9	0,528	0,565	0,688	0,777
11	0,533	0,571	0,728	0,823

Tabela 6 - Validação do resultado do modelo de simulação para o ano de 2005.

Tamanho da Janela	Decaimento exponencial		Decaimento constante	
	Mínima Similaridade	Máxima Similaridade	Mínima Similaridade	Máxima Similaridade
3	0,488	0,493	0,538	0,553
5	0,530	0,550	0,630	0,676
7	0,550	0,576	0,694	0,760
9	0,560	0,588	0,741	0,817
11	0,565	0,594	0,775	0,859

A validação empregou a metodologia da incerteza da localização de uma classe dentro de sua vizinhança de células, conhecido como *fuzziness of location*, gerado por Hagen (2003), considerando janelas de 3x3 a 11x11 *pixels*. As simulações foram selecionadas com base na validação do método e por análises visuais com seus mapas reais. Seus valores estão representados nas Tabelas 5 e 6.

4. Conclusões

A metodologia permitiu identificar as mudanças temporais de cobertura da terra, quantificando as alterações apresentadas pelas áreas totais de cada classe, além de discriminar os percentuais de células, ou *pixels*, transitáveis de uma classe para outra com as matrizes de transição obtidas pelo *software* Dinamica EGO. A quantificação das matrizes de transição foi especialmente importante para gerar modelos da dinâmica da paisagem.

Esses modelos podem ser úteis na avaliação dos cenários futuros para o território, além de permitir avaliar a influência de variáveis explicativas atuantes para cada transição de cobertura da terra. As variáveis explicativas relacionadas com as vias secundárias e com a distância dinâmica à classe Urbano foram as mais decisivas e as que apresentaram valores de pesos de evidência positivo nas transições, com influência predominantemente nas faixas de distâncias até 300 m das vias secundárias e até 500 m da classe Urbano.

Os modelos simulados para 1995 e 2005 foram semelhantes aos mapeamentos temáticos reais e apresentaram boa avaliação. Para futuros estudos com modelagem dinâmica da paisagem é recomendável a utilização de escalas maiores que possibilitem a identificação dos usos do solo e as diretrizes de ocupação contidas nos atuais planos diretores municipais.

Referências Bibliográficas

- Afonso, C. M. Transformação Ambiental e Paisagística na Baixada Santista, SP. **Paisagem Ambiente: ensaios**, n. 20, p. 85 – 130, 2005.
- Bossard, M.; Feranec, J.; Otahel, J. CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report n. 40. Copenhagen: EEA, 2000.
- Congalton, R. G. A Review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing Environment*, v. 37, p. 35-46, 1991.
- Hagen, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Science**, v. 17, n. 3, p. 235-249, 2003.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1985. **Bases e referenciais**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>>. Acesso em: 13 fev. 2014.
- Morais, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do Litoral Brasileiro**. 2ed. São Paulo: Annablume, 2007. 232p.
- Shimabukuro, Y. E.; Almeida-Filho, R.; Kuplich, T. M.; Freitas, R. M. de. Mapping and monitoring land cover types in Corumbiara área, Brazilian Amazônia, using Landsat TM and JERS-1 SAR multitemporal data. **Revista Ambiente Água**, v. 3, n. 1, 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 Modelling**, v.154, p. 217- 235. 2002.
- Soares-Filho, B. S; Cerqueira, G. C.; Araújo, W. L.; Voll, E. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, p. 74-86, 2007.
- Verburg, P. H.; Schot, P. P.; Dijst, M J.; Veldkamp. A. Land Use change modeling: current practice and research priorities. **GeoJournal**, v.61, p. 309-324, 2004.