

Urbanização e Vulnerabilidade Social em Zonas Costeiras: A Construção de um Modelo de Simulação das Dinâmicas Residenciais de Caraguatatuba, SP*

Flávia da Fonseca Feitosa[†]
Raian Vargas Maretto[‡]
Antônio Miguel Vieira Monteiro[§]
Tathiane M. Anazawa^{**}

Resumo

Este trabalho busca avançar na investigação das dinâmicas residenciais e de vulnerabilidade social no Litoral Norte Paulista, mais especificamente em um recorte que compreende o município de Caraguatatuba. Nesta área, onde inúmeros investimentos de suporte para o tratamento e distribuição de gás e derivados do petróleo vem sendo planejados e executados, espera-se uma série de transformações relacionadas ao aumento do ritmo de expansão urbana e à integridade dos ecossistemas locais. Para explorar questões decorrentes destas transformações, é importante compreender as áreas urbanas como um sistema socioecológico complexo, cujas propriedades emergem e evoluem a partir da interação entre componentes diversos e heterogêneos. Buscando capturar esta complexidade inerente ao sistema urbano, este trabalho baseia-se na utilização de *métodos de modelagem e simulação computacional*. Partindo de um paradigma processual da modelagem, o artigo tem como objetivo apresentar o processo de construção de um modelo baseado em autômatos celulares para a simulação de possíveis cenários e tendências das dinâmicas de configuração das áreas residenciais ocupadas por famílias em distintas condições de vulnerabilidade social. O propósito deste modelo não é o de produzir previsões exatas sobre o futuro das áreas urbanas em questão, e sim de estimular debates, questionamento, críticas e trocas generalizadas de informações entre grupos interessados, de forma a melhor informar sobre a natureza do urbano costeiro e subsidiar a elaboração e implementação de políticas urbanas consequentes para a região.

Palavras-chaves: vulnerabilidade social; zonas costeiras; modelagem computacional; autômatos celulares

* Trabalho apresentado no XVIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Águas de Lindóia/SP – Brasil, de 19 a 23 de novembro de 2012

[†] Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). E-mail: flavia@dpi.inpe.br

[‡] Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). E-mail: raian@dpi.inpe.br

[§] Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) e Divisão de Processamento de Imagens (DPI), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). E-mail: miguel@dpi.inpe.br

^{**} Divisão de Processamento de Imagens (DPI), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). E-mail: tathiane@dpi.inpe.br

Urbanização e Vulnerabilidade Social em Zonas Costeiras: A Construção de um Modelo de Simulação das Dinâmicas Residenciais de Caraguatatuba, SP

1. INTRODUÇÃO

Embora dotadas de problemas característicos da produção do espaço urbano brasileiro, as cidades litorâneas diferenciam-se por apresentar uma série de particularidades decorrentes das vantagens locacionais proporcionadas pela interface terra-mar (AFONSO, 2006; MORAES, 2007). De acordo com Moraes (2007), tais vantagens locacionais estão relacionadas a atividades e usos que são próprios do litoral, entre eles a exploração dos recursos marinhos, a circulação de mercadorias e pessoas por intermédio do transporte marítimo e a apropriação da orla marítima como espaço de lazer e turismo. Estas características singulares da zona costeira, associadas ao fato dos terrenos próximos ao mar serem relativamente raros, acentuam o ritmo e as tendências da urbanização brasileira, gerando um mercado de terras cada vez mais competitivo.

No acelerado processo de urbanização das cidades litorâneas, a exploração das atividades de turismo e veraneio e a progressiva periferação das camadas de baixa renda destacam-se como elementos determinantes dos padrões de uso e ocupação do solo destas regiões. Enquanto o turismo e o veraneio, através do aumento da demanda pela construção de equipamentos turísticos e segundas residências, impulsionam a competitividade e especulação no setor imobiliário, populações excluídas e sem acesso ao mercado formal de terras alojam-se em áreas impróprias à ocupação, muitas vezes de proteção ambiental, como encostas íngremes e zonas sujeitas a inundações (MORAES, 2007). São estas populações as mais sensíveis a potenciais perigos socioambientais, não apenas pela fragilidade dos lugares que ocupam, precariedade de suas habitações e consequente exposição a riscos, mas também por sua incapacidade de reação e dificuldade de adaptação (HARDOY; PANDIELLA, 2009; HOGAN; MARANDOLA, 2009). Estas situações tornam-se ainda mais evidentes e problemáticas no contexto das mudanças climáticas e ambientais, que prevê um acréscimo dos perigos associados à elevação do nível dos oceanos e alteração de padrões de precipitação que provocam o aumento na intensidade e frequência de eventos extremos como tempestades, que são gatilhos para os escorregamentos de massa e enchentes (MCGRANAHAN *et al.*, 2008; NICHOLLS *et al.*, 2007).

Diante desta realidade, o papel do planejamento na busca do ordenamento do uso do solo torna-se ainda mais decisivo na definição do futuro das cidades litorâneas. Evidencia-se, portanto, a necessidade de uma maior compreensão das fragilidades urbanas em zonas costeiras para o estabelecimento de políticas e ações proativas de adaptação e mitigação. Partindo da adoção do termo *vulnerabilidade* como um conceito mediador promissor para a elaboração de respostas a este desafio (FEITOSA; MONTEIRO, 2012), este trabalho busca avançar na investigação das dinâmicas residenciais e de vulnerabilidade social no Litoral Norte Paulista, mais especificamente em um recorte que compreende o município de Caraguatatuba. Nesta área, onde inúmeros investimentos de suporte para o tratamento e distribuição de gás e derivados do petróleo vem sendo planejados e executados, espera-se uma série de transformações relacionadas ao aumento do ritmo de expansão urbana, das ameaças à integridade dos ecossistemas da região e, conseqüentemente, alterações nas condições de vulnerabilidade das populações locais.

Para explorar questões decorrentes destas transformações, é importante compreender as áreas urbanas como um sistema socioecológico complexo (GROVE, 2009; OSTROM,

2009), cujas propriedades emergem e evoluem a partir da interação entre componentes diversos e heterogêneos. Uma alternativa analítica para capturar esta complexidade inerente ao sistema urbano são os *métodos de modelagem e simulação computacional*. Os modelos de simulação possuem a vantagem de superar a natureza estática de mapas e indicadores, incorporando uma dimensão dinâmica e processual que proporciona novas perspectivas aos estudos de vulnerabilidade. Além disso, representam uma ferramenta promissora para a troca de experiência e conhecimentos entre pesquisadores de distintos domínios disciplinares, tomadores de decisão e outros representantes da sociedade. No entanto, para que os modelos assumam este papel de mediação é necessária uma nova forma de pensar, na qual o modelo como produto cede espaço ao **processo de construção e uso do modelo**. Neste caso, o objetivo do modelo não é o de fornecer respostas quantitativas exatas a uma pergunta e sim estabelecer um instrumental para compartilhar visões, estruturar discussões, testar e gerar hipóteses e levantar novas questões (FEITOSA; MONTEIRO, 2012).

De acordo com este paradigma processual da modelagem, modelos de simulação podem ser entendidos como um laboratório capaz de auxiliar na compreensão de um problema de duas maneiras: (a) no processo de construção deste laboratório, que é contínuo; e (b) na interpretação, verificação e avaliação dos experimentos de simulação. Ilustrando aspectos do item (a), este artigo tem como objetivo apresentar o processo de construção de um modelo baseado em autômatos celulares para a simulação de dinâmicas de ocupação urbana em Caraguatatuba. Este modelo enfatiza a exploração de possíveis cenários e tendências das dinâmicas de configuração das áreas residenciais ocupadas por famílias em distintas condições de vulnerabilidade social. A ideia não é apresentar os resultados de experimentos de simulação (item b), e sim viabilizar uma melhor compreensão de detalhes pertinentes à etapa de construção deste modelo-laboratório, o que é fundamental para que sejam reconhecidas suas potencialidades e suas limitações. É importante ter em mente que um modelo de simulação será sempre uma simplificação do sistema de interesse, e de que as análises realizadas sobre ele devem considerar que seu poder explanatório depende de vários fatores, entre eles as premissas consideradas, forma de implementação e dos dados utilizados.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O sistema socioecológico do Litoral Norte de São Paulo abrange quatro municípios: Caraguatatuba, Ubatuba, São Sebastião e Ilhabela. Juntos, estes municípios contam com uma população de 281.779 habitantes (Tabela 1; IBGE, 2010) e uma área de 1.977 km² dotada de uma expressiva diversidade ecológica que abrange praias, a Serra do Mar e a Mata Atlântica. Nas duas últimas décadas, a região apresentou um crescimento populacional anual médio de 3,5%, superior ao do estado de São Paulo (1,42%) e do país (1,38%). Este crescimento acelerado deve-se, em parte, aos recursos paisagísticos da região e seu apelo à implementação de empreendimentos voltados ao turismo, com destaque para as residências secundárias, que representam cerca de 43% do total de domicílios da área (IBGE, 2010). A região abriga ainda equipamentos que reforçam sua localização estratégica e impulsionam o crescimento, como o Porto de São Sebastião e o terminal marítimo Almirante Barroso (TEBAR), operado pela Petrobrás e especializado na carga e descarga de petróleo e derivados.

O crescimento da população e das atividades turísticas no período 1991-2010 veio acompanhado de um aumento de cerca de 200% do número de domicílios (de 91.128 para 182.635, muitos destinados para segunda residência; IBGE, 1991, 2010) e de 31% das áreas destinadas a usos urbanos (de 95 para 127 km²; SMA, 2005, LANDSAT, 2010). O ritmo destas mudanças tende a permanecer intenso com o planejamento e recente inauguração de uma série de investimentos em infraestrutura na região, muitos deles relacionados ao suporte

para o tratamento e distribuição de gás e derivados do petróleo. Assim, com o crescimento das atividades ligadas à indústria petroquímica na região, espera-se para o Litoral Norte uma série de impactos relacionados ao aumento dos fluxos migratórios e do ritmo da expansão urbana (HOGAN et al., 2009; CARMO et al. 2012).

Entre os municípios desta região, destaca-se Caraguatatuba, que representa não apenas o município com maior volume populacional (Tabela 1), como também o que apresenta a maior disponibilidade de áreas para expansão urbana e o maior potencial de crescimento demográfico diante dos novos investimentos (SMA, 2009). Esta vocação foi reforçada pelo recente processo de elaboração e aprovação do plano diretor de Caraguatatuba, sancionado em novembro de 2011, e que gerou polêmicas em função da maior permissividade quanto à verticalização das edificações no município.

TABELA 1
População e crescimento populacional dos municípios do Litoral Norte Paulista.

	População			Crescimento Populacional (% a.a.)		
	1991	2000	2010	1991-2000	2000-2010	1991-2010
Caraguatatuba	52.878	78.921	100.840	4,6	2,5	3,5
Ubatuba	47.398	66.861	78.801	4,9	3,1	3,9
São Sebastião	33.890	58.038	73.942	6,2	2,5	4,2
Ilhabela	13.538	20.836	28.196	3,9	1,7	2,7
Litoral Norte/SP	147.704	224.656	281.779	4,8	2,3	3,5

Fonte: IBGE, 1991, 2000, 2010.

Diante de tantas transformações, que se tornam ainda mais relevantes em um contexto de mudanças climáticas, o modelo de simulação cujas etapas de construção são apresentadas neste artigo busca avançar na discussão das seguintes questões: (a) quais as possíveis tendências de ocupação urbana para os próximos anos?; (b) como estas tendências podem diferir diante de distintos cenários demográficos e socioeconômicos?; e (c) como se dará a evolução dos padrões de vulnerabilidade social nos distintos cenários? É importante ressaltar, no entanto, que o propósito do modelo não é o de apresentar respostas determinísticas a estas questões ou previsões exatas sobre o futuro de Caraguatatuba, e sim estimular debates, questionamentos, críticas e trocas generalizadas de informações entre grupos interessados, de forma a melhor informar sobre a natureza do urbano costeiro e subsidiar a elaboração e implementação de políticas urbanas consequentes para a região.

3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO: MODELAGEM COMPUTACIONAL E VULNERABILIDADE SOCIAL

Nos últimos anos, inúmeras técnicas de modelagem e simulação computacional vêm sendo desenvolvidas e aplicadas ao estudo de dinâmicas de mudanças de uso do solo em um contexto urbano (BATTY, 2005; PINTO e ANTUNES, 2007; FEITOSA, LE et al., 2011). Entre estas técnicas, destacam-se os modelos baseados em autômatos celulares (CA - *cellular automata*), que se baseiam na configuração de um espaço celular discreto, no qual cada célula é caracterizada por um estado. Em modelos CA urbanos, estes estados podem ser: (a) valores binários (por exemplo, urbano ou não-urbano), (b) valores qualitativos que representam diferentes usos (comercial, residencial, industrial, etc.), (c) valores quantitativos que representam, por exemplo, densidade populacional, grau de desenvolvimento ou valor dos imóveis, ou ainda (d) um vetor com vários atributos (SANTÉ, GARCÍA et al., 2010). As mudanças de estado de cada célula ocorrem de acordo com um conjunto de regras de

transição, que considera o estado anterior da célula, o estado das células vizinhas e, no caso de modelos mais sofisticados, outros fatores considerados relevantes como acessibilidade, leis de zoneamento e condições socioeconômicas da população (SANTÉ, GARCÍA et al., 2010).

Neste trabalho, propomos um modelo de simulação baseado em autômatos celulares cujo propósito é a exploração de possíveis cenários e tendências das condições de vulnerabilidade social no espaço urbano. Para tanto, o modelo destina particular atenção às dinâmicas residenciais, já que são os estados das famílias e dos territórios onde estas famílias residem que caracterizam as condições de vulnerabilidade de interesse para este estudo. No modelo, o município de Caraguatatuba é representado através de um espaço celular no qual as células residenciais são classificadas de acordo com as condições de vulnerabilidade das famílias residentes. Esta caracterização da vulnerabilidade baseia-se na abordagem apresentada por Anazawa et al. (2012), que estende um arcabouço teórico baseado nos conceitos de ativos e estruturas de oportunidades propostos por Ksztman (2000) para a construção de um conjunto de representações numéricas e gráficas da vulnerabilidade socioecológica.

Para Ksztman, o conceito de *ativos* refere-se a um "conjunto de recursos, materiais e imateriais, sobre os quais indivíduos e famílias possuem controle, e cuja mobilização permite melhorar sua situação de bem-estar, evitar a deterioração de suas condições de vida, ou diminuir sua vulnerabilidade" (KAZTMAN, 2000: 294). As fontes de renovação e acumulação dos ativos necessários para participar plenamente da sociedade são chamadas de *estruturas de oportunidades* (KAZTMAN, 2000; KAZTMAN; FILGUEIRA, 2006). As estruturas de oportunidades mais importantes para o acesso aos ativos são provenientes do funcionamento do mercado (empregos e a condição de estabilidade), da sociedade (as relações sociais), do Estado (acesso aos serviços públicos ou outras formas de proteção social), e da própria família (KAZTMAN, 2000). Sob esta perspectiva, a vulnerabilidade passa a ser compreendida como um desajuste entre ativos e estrutura de oportunidades, estando relacionada "às situações que surgem quando as configurações de recursos que controlam e podem movimentar os domicílios não são suficientes para aproveitar as estruturas de oportunidade de acesso ao bem-estar" (KAZTMAN; FILGUEIRA, 2006).

Partindo destas ideias, Anazawa et al. (2012) apresentam uma seleção de variáveis que são adotadas como variáveis proximais (*proxies*) de diferentes tipos de ativos considerados como relevantes na caracterização das condições de vulnerabilidade das famílias. A partir destas variáveis, são construídos *painéis de observação da vulnerabilidade* que incluem medidas, mapas de superfícies, perfis de ativos, bem como verificações remotas e de campo. Estas contribuições metodológicas servem de base para a caracterização da vulnerabilidade neste trabalho, cujos detalhes serão apresentados na Seção 4.3.

4. CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Uma visão geral de todo o processo de construção e uso do modelo de simulação proposto é apresentada na Figura 1. Os detalhes sobre as fases que compõe este processo são discutidos nas próximas Seções.

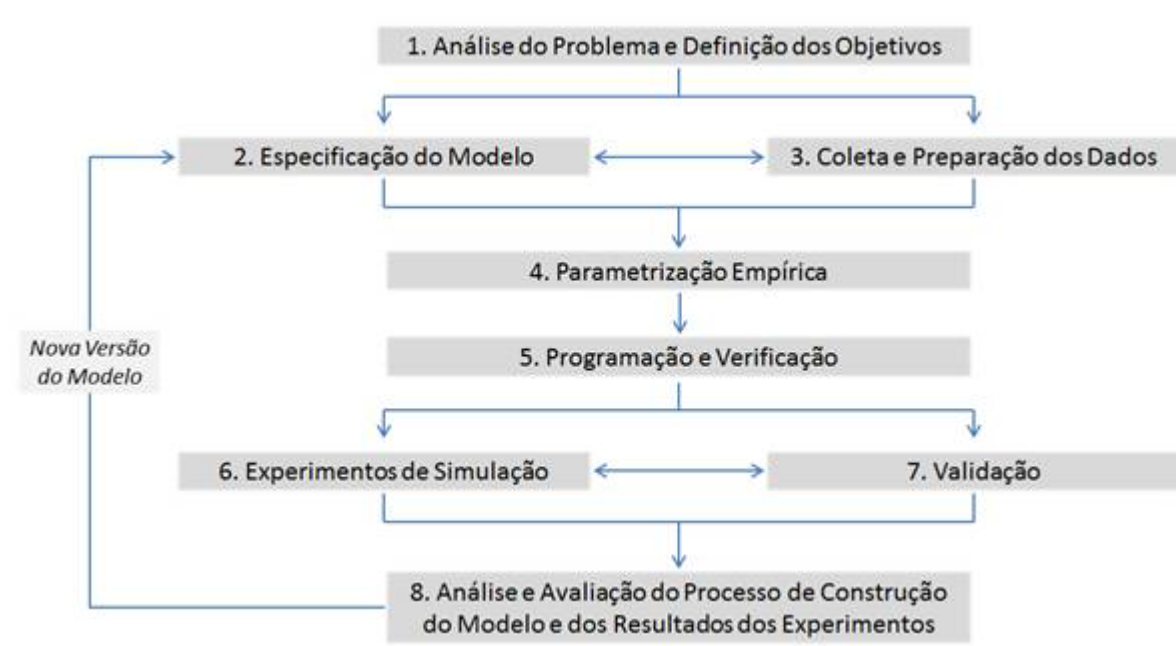


Figura 1 - Processo de construção e uso do modelo de simulação proposto.

4.1 Análise do Problema e Definição dos Objetivos

Como em todo processo de pesquisa, a construção de um modelo de simulação pressupõe uma análise do problema de interesse e a especificação dos objetivos. Este estágio geralmente envolve observações e revisões de teorias existentes sobre o objeto de pesquisa, o que permite que o modelador articule seu conhecimento sobre o sistema de interesse com a especificação do modelo, identificando fatores considerados relevantes para a investigação do problema e especificando as premissas sobre as quais o modelo será desenvolvido. Considerações sobre a contextualização do problema, a definição dos objetivos e o referencial teórico-metodológico do modelo de simulação proposto neste trabalho foram apresentadas nas Seções 1, 2, e 3.

4.2 Especificação do Modelo

Considerando que todo modelo é uma representação simplificada da realidade, é necessário que se determine o tipo de modelo a ser construído e como as entidades e processos do sistema de interesse serão traduzidos nos componentes abstratos de um modelo computacional. No caso de modelos construídos a partir de dados empíricos, as fases de especificação, coleta e preparação de dados e parametrização são conduzidas de maneira iterativa.

Neste trabalho, dada a natureza dos dados disponíveis, optou-se pela construção de um modelo de autômatos celulares, no qual a área do município de Caraguatatuba é representada por uma grade composta por células de 100 x 100m, e cada célula é caracterizada por um vetor de variáveis. Estas variáveis, que compõe o estado das células, podem ser endógenas ou exógenas. As variáveis *endógenas* são aquelas cujos valores serão simulados pelo modelo, enquanto as *exógenas* são aquelas determinadas fora do modelo e cujas variações são importantes para a estimativa das variáveis endógenas.

A principal variável endógena do modelo foi obtida a partir de uma classificação que busca categorizar as condições de vulnerabilidade das famílias residentes em Caraguatatuba.

Para tanto, o espaço celular que representa a cidade foi subdividido entre não urbanizado e urbanizado. As áreas urbanizadas foram subdivididas entre as *sem* potencial residencial e as *com* potencial residencial.

As áreas *sem* potencial residencial são aquelas áreas urbanizadas onde não são encontradas famílias residindo, como por exemplo, áreas exclusivamente industriais ou institucionais. Como Caraguatatuba não apresenta, até o momento, nenhuma grande extensão de área urbanizada que exclua totalmente os usos residenciais, optou-se por classificar todas as áreas urbanizadas como “com potencial residencial”.

As áreas *com* potencial residencial são as de maior interesse neste estudo, pois são aquelas onde podem estar localizados os domicílios das famílias residentes no município. Assim, uma *área com potencial residencial* não é sinônimo de *área residencial*, pois a primeira não necessita apresentar uso residencial exclusivo, nem mesmo majoritário, basta apenas que existam famílias residindo no local.

As áreas com potencial residencial foram caracterizadas em função das condições de vulnerabilidade social das famílias que nelas residem, podendo ser classificadas como áreas de vulnerabilidade alta, intermediária ou baixa. Para a determinação destas classes, análises de agrupamento foram realizadas a partir de variáveis selecionadas por Anazawa et al. (2012), conforme será apresentado na Seção 4.3.

Um esquema da árvore de classificação apresentada para o espaço celular pode ser visualizado na Figura 2.

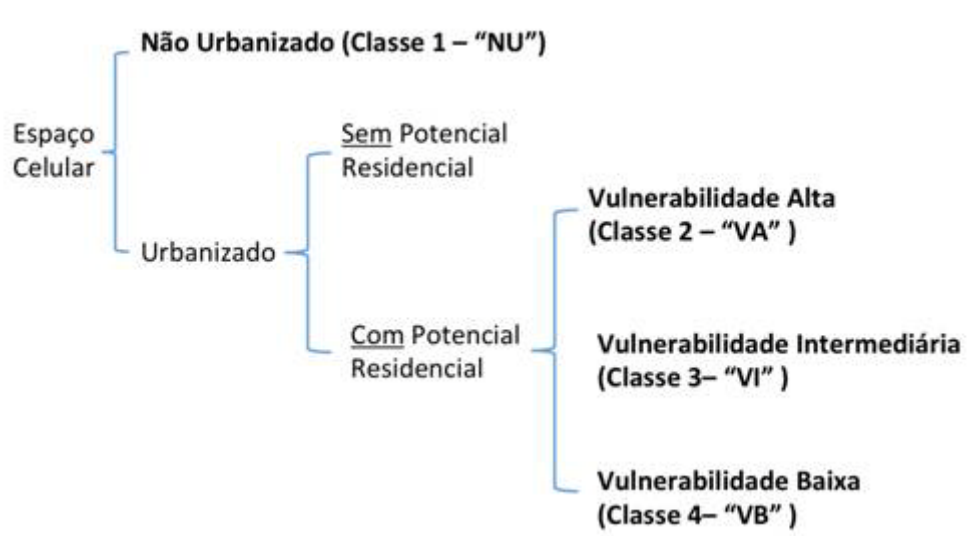


Figura 2 - Esquema da árvore de classificação do espaço celular (variável endógena).

Considerando esta classificação, o objetivo do modelo é o de simular as transições dos padrões espaciais de localização residencial de grupos de famílias que apresentam distintas condições de vulnerabilidade social. Estes processos, que são resultantes de uma constante disputa pelas melhores localizações na cidade, são representados neste trabalho através de uma abordagem *top-down* (de baixo pra cima), na qual a demanda por áreas residenciais apresentada por cada grupo de famílias é alocada de acordo com potenciais estimados para cada célula.

Sendo assim, o modelo é composto por duas fases: (a) a fase de demanda (“quanto?”), que consiste na determinação da demanda total de áreas residenciais a serem ocupadas por grupos de famílias pertencentes a cada classe de vulnerabilidade, e (b) a fase de alocação

(“onde?”), que é responsável pela alocação das demandas estabelecidas no espaço celular. Maiores detalhes sobre as fases de demanda e alocação serão apresentados nas Seções 4.4.1 e 4.4.2, respectivamente.

4.3 Coleta e Preparação dos Dados

A variável endógena considerada neste trabalho, que classifica as áreas com potencial residencial da cidade de acordo com as condições de vulnerabilidade das famílias residentes, foi definida a partir de dois conjuntos de dados: imagens de satélite e dados do censo demográfico. Imagens do satélite LANDSAT 5 TM, obtidas em datas próximas à da coleta dos dados censitários de 1991 e 2000 (09/07/1990 e 29/04/1999), foram interpretadas visualmente com o objetivo de distinguir as áreas não urbanizadas (classe 1 – “NU”) das áreas urbanizadas. Já os dados censitários foram utilizados para determinar as classes de vulnerabilidade das áreas urbanizadas com potencial residencial: vulnerabilidade alta (classe 2 – “RVA”), intermediária (classe 3 – “RVI”), ou baixa (classe 4 – “RVB”).

Para a determinação das classes de vulnerabilidade, uma análise de agrupamentos através do método *k-means* (KAUFMAN; ROUSSEEUW, 2008) foi realizada sobre um conjunto de indicadores. Este conjunto foi definido a partir do trabalho de Anazawa et al. (2012), que selecionou um conjunto de variáveis proximais (*proxies*) de diferentes tipos de ativos considerados como relevantes na caracterização das condições de vulnerabilidade das famílias. Estas variáveis foram processadas para a obtenção de indicadores adimensionais que variam entre 0 e 1.

Os seguintes indicadores foram inicialmente considerados na análise de agrupamentos:

- a. *Renda*: Indicador estratificado, representado por chefes de família: (1) sem rendimento; (2) com até 2 salários mínimos; (3) com mais de 2 a 5 salários mínimos; (4) com mais de 5 a 10 salários mínimos; (5) com mais de 10 a salários mínimos; (6) com mais de 20 salários mínimos.
- b. *Escolaridade*: Indicador estratificado, representado por chefes de família: (1) sem instrução ou com menos de 1 ano de estudo; (2) com 1 a 3 anos de estudo; (3) com 4 a 7 anos de estudo; (4) com 8 a 10 anos de estudo; (5) com 11 a 14 anos de estudo e; (6) com 15 ou mais anos de estudo. Como o censo de 2010 não disponibiliza os dados para o cômputo deste indicador, optou-se pela construção de um indicador mais simples para este ano, que utiliza a variável “pessoas alfabetizadas com 10 anos ou mais”.
- c. *Alfabetização dos jovens*: Indicador simples representado pela porcentagem jovens alfabetizados com idade entre 6 e 14 anos.
- d. *Razão de dependência*: Indicador simples que consiste na razão entre o segmento etário da população definido como economicamente dependente (os menores de 15 anos de idade e os de 60 e mais anos de idade) e o segmento etário potencialmente produtivo (entre 15 e 59 anos de idade), na população residente em um setor censitário, no ano considerado.
- e. *Mulheres chefe de família e sem instrução*: Indicador simples representado pela porcentagem de chefe de família mulher sem instrução em um setor censitário, no ano considerado.
- f. *Domicílios próprios*: Indicador simples representado pela porcentagem de domicílios próprios em um setor censitário, no ano considerado.

No decorrer das análises, o indicador “domicílios próprios” foi excluído em virtude da dificuldade de sua utilização na discriminação de grupos de vulnerabilidade. As características médias das classes de vulnerabilidade resultantes das análises realizadas para os anos de 1991, 2000 e 2010 (centro dos *clusters*), bem como o número de setores censitários classificados como pertencentes a cada uma delas, são apresentadas na Tabela 2. Sempre que possível, os centros dos clusters estimados para um determinado ano foram adotados parâmetro inicial (centro inicial dos *clusters*) na definição das classes do ano seguinte.

TABELA 2
Classes de Vulnerabilidade definidas para os anos 1991, 2000 e 2010 – Centro dos Clusters

ANO 1991			
Indicadores	Classes de Vulnerabilidade		
	Alta	Intermediária	Baixa
a. Renda	0,25	0,49	0,75
b. Escolaridade	0,36	0,57	0,81
c. Alfabetização jovens	0,42	0,58	0,64
d. Razão de dependência	0,53	0,48	0,42
e. Mulheres sem instrução	0,50	0,26	0,09
<i>Número de Setores</i>	27 (27%)	51 (50%)	23 (23%)
ANO 2000			
Indicadores	Classes de Vulnerabilidade		
	Alta	Intermediária	Baixa
a. Renda	0,29	0,48	0,76
b. Escolaridade	0,20	0,45	0,73
c. Alfabetização jovens	0,61	0,73	0,80
d. Razão de dependência	0,56	0,50	0,45
e. Mulheres sem instrução	0,31	0,13	0,06
<i>Número de Setores</i>	52 (34%)	72 (46%)	31 (20%)
ANO 2010			
Indicadores	Classes de Vulnerabilidade		
	Alta	Intermediária	Baixa
a. Renda	0,29	0,46	0,73
b. Escolaridade	0,79	0,92	0,96
c. Alfabetização jovens	0,72	0,80	0,85
d. Razão de dependência	0,47	0,44	0,41
e. Mulheres sem instrução	0,50	0,16	0,06
<i>Número de Setores</i>	58 (31%)	84 (45%)	44 (24%)

Os resultados obtidos pela classificação de imagens de satélites e pela análise de agrupamentos realizada a partir dos dados censitários foram integrados em um banco de dados geográfico no Terraview (TERRAVIEW, 2011) e redistribuídos em um espaço celular que passou, portanto, a disponibilizar informações sobre a distribuição espacial das distintas classes de vulnerabilidade identificadas para Caraguatatuba nos anos de 1991, 2000 e 2010. A Figura 3 apresenta detalhes dos mapas com a distribuição destas classes para cada ano.

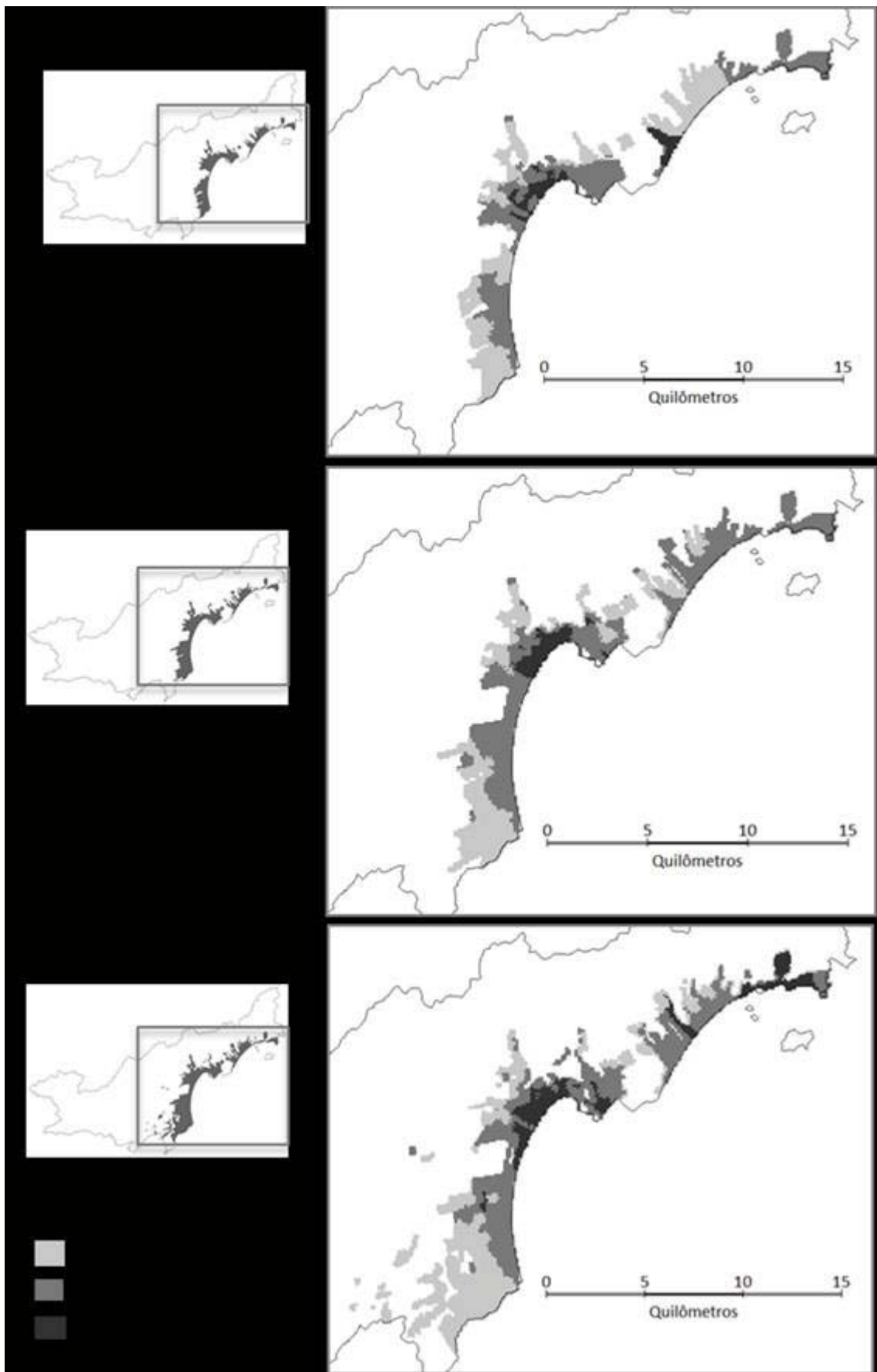


Figura 3 - Áreas residenciais classificadas de acordo com seu grau de vulnerabilidade social - Anos 1991, 2000 e 2010.

4.4 Parametrização

A parametrização representa o processo de definição dos parâmetros necessários para a completa especificação do modelo, que pode partir, por exemplo, de análises estatísticas descritivas, da construção de modelos estatísticos ou de análises espaciais. Conforme mencionado anteriormente, o modelo apresentado neste artigo possui duas fases principais, a de demanda e de alocação, cujos processos de parametrização serão apresentados nas Seções 4.4.1 e 4.4.2, respectivamente.

4.4.1 Parametrização da Fase de Demanda

Após a determinação das classes vulnerabilidade, inicia-se o processo de estimativa da demanda global que será considerada na primeira fase da simulação. Em outras palavras, este processo refere-se à determinação da quantidade total de células de 100 x 100 m que deverão ser ocupadas por grupos de famílias pertencentes a cada classe de vulnerabilidade.

Este artigo não tem como objetivo apresentar os resultados da simulação de cenários, visto que seu foco é dado ao processo de construção do modelo. Sendo assim, esta Seção tem como propósito apresentar algumas análises preliminares sobre dados empíricos que poderão servir como base para a estimativa dos parâmetros de cômputo das demandas globais a serem consideradas em diferentes experimentos de simulação.

A estimativa da demanda global é computada a partir dos seguintes parâmetros de entrada: (a) taxa de expansão urbana, responsável pela estimativa da demanda por células urbanizadas, e (b) proporções de cada classe de vulnerabilidade, responsáveis pela caracterização das áreas urbanizadas quanto à condição de vulnerabilidade das famílias residentes.

O primeiro cenário a ser simulado, chamado de cenário-base ou cenário-referência, é estacionário, ou seja, considera a manutenção do ritmo de expansão urbana verificado no período 1991-2010. Em relação à caracterização da vulnerabilidade nas áreas urbanas, este cenário considera a manutenção do padrão de desigualdade socioterritorial, ou seja, mantém as proporções médias verificadas para cada classe de vulnerabilidade no período analisado. Sendo assim, a estimativa dos parâmetros para este cenário tem como base uma análise do total de células obtidas para cada classe de uso, para os anos de 1991, 2000 e 2010. A Tabela 3 apresenta os números de células não urbanizadas (classe 1 - NR) e urbanizadas, obtidos para cada ano. Já os números de células urbanizadas classificadas como de vulnerabilidade alta (classe 2 - VA), intermediária (classe 3 - VI) e baixa (classe 4 - VB) são apresentados na Tabela 4.

A partir dos dados da Tabela 3 é possível calcular as taxas anuais de expansão urbana nos períodos 1991-2000, 2000-2010 e 1991-2010, que foi de 1,82 %, 2,33% e 2,15%, respectivamente. Para o cenário-base, consideraremos a taxa correspondente à média de todo o período analisado (2,15%) para o cômputo da demanda por áreas urbanizadas de cada ano. Para a caracterização das condições de vulnerabilidade destas áreas urbanizadas, será considerada a média das proporções de cada classe ao longo dos anos (Tabela 4): 45% da demanda estimada por áreas urbanizadas será destinada às famílias em condições de alta vulnerabilidade, 46% para famílias de vulnerabilidade intermediária, e 9% para as de baixa vulnerabilidade.

Nota-se, pela comparação entre a proporção do número de células (Tabela 4) e do número de setores censitários (Tabela 2) destinados a cada classe de vulnerabilidade, que o padrão de ocupação das famílias em condições de menor vulnerabilidade é mais denso do que o das de maior vulnerabilidade. Isto porque elas buscam ocupar as áreas mais consolidadas,

onde o acesso às oportunidades oferecidas pela cidade é facilitado. São, em geral, áreas centrais e/ou próximas ao mar, cada vez mais densas, graças à baixa disponibilidade de terras com este conjunto de vantagens locais e a acirrada disputa por elas.

TABELA 3
Número de células “não urbanizadas” e “urbanizadas” - Anos 1991, 2000 e 2010.

Classes	Número de células (100 X 100 m)		
	1991	2000	2010
Não Urbanizada (Classe 1 - NU)	45.351 (91,3%)	44.586 (89,7%)	43.191 (87%)
Urbanizada	4.334 (8,7%)	5.099 (10,3%)	6.494 (13%)
<i>Total de Células</i>	<i>49.685</i> <i>(100%)</i>	<i>49.685</i> <i>(100%)</i>	<i>49.685</i> <i>(100%)</i>

TABELA 4
Número de células urbanizadas pertencentes a cada classe de vulnerabilidade - Anos 1991, 2000 e 2010.

Classes de Vulnerabilidade	Número de células (100 X 100 m)		
	1991	2000	2010
Alta (Classe 2 - VA)	2.087 (48%)	2.043 (40%)	2.986 (46%)
Intermediária (Classe 3 - VI)	1.912 (44%)	2.738 (54%)	2.673 (41%)
Baixa (Classe 4 - VB)	335 (8%)	318 (6%)	832 (13%)
<i>Total de Células Urbanizadas</i>	<i>4.334</i> <i>(100%)</i>	<i>5.099</i> <i>(100%)</i>	<i>6.494</i> <i>(100%)</i>

Com a progressiva valorização das áreas próximas ao mar, a população mais vulnerável lidera a frente de expansão urbana em direção às encostas da Serra do Mar, conforme mostram os mapas da Figura 3. Se em 1991 esta população ainda possuía algum acesso aos terrenos próximos da orla, os mapas de 2000 e 2010 revelam como este acesso foi perdido com o passar dos anos.

As tabelas de transição das classes de uso e ocupação (Tabelas 5 e 6) reforçam estas observações. Através delas, é possível verificar que no período de 2000 a 2010, por exemplo, 1217 das 1410 novas células residenciais, ou seja, 86%, foram classificadas como de alta vulnerabilidade. No período anterior, de 1991 a 2000, esta proporção foi de 71%. Estes números demonstram como este processo de movimentos dos mais vulneráveis em direção a novas áreas localizadas nas encostas, que já era intenso no período 1991-2000, tornou-se ainda mais expressivo na última década.

Enquanto os grupos mais vulneráveis ocupavam estas novas áreas residenciais, boa parte das células que eram antes classificadas como de alta vulnerabilidade passaram por um processo de consolidação que veio acompanhado de uma melhoria das condições de vulnerabilidade das famílias que nelas residem (39% no período 1991-2000 e 28% no período 2000-2010). É importante ter em mente, no entanto, que os valores destas tabelas de transição servem apenas como uma referência, pois os dados utilizados para o preenchimento das células são originalmente agregados por polígonos cujas áreas se alteram a cada ano (setores censitários) e, por conseguinte, sofrem um efeito conhecido como MAUP – *Modifiable Areal Unit Problem* (OPENSHAW, 1984).

TABELA 5
Matriz de transição das classes de uso e ocupação – Período 1991-2000.

Ano 1991		Ano 2000				Total
		NR	VA	VI	VB	
Não Residencial	NR	44586 (98,3%)	540 (1,2%)	225 (0,05%)	0 (0%)	45351 (100%)
Vulnerabilidade Alta	VA	0 (0%)	1272 (60,9%)	801 (38,4%)	14 (0,7%)	2087 (100%)
Vulnerabilidade Intermediária	VI	0 (0%)	207 (10,8%)	1575 (82,4%)	130 (6,8%)	1912 (100%)
Vulnerabilidade Baixa	VB	0 (0%)	24 (7,2%)	137 (40,9%)	174 (52%)	335 (100%)
Total		44586	2043	2738	318	49685

TABELA 6
Matriz de transição das classes de uso e ocupação – Período 2000-2010.

Ano 2000		Ano 2010				Total
		NR	VA	VI	VB	
Não Residencial	NR	43191 (96,8%)	1217 (2,7%)	172 (0,4%)	21 (0,1%)	44601 (100%)
Vulnerabilidade Alta	VA	0 (0%)	1473 (72,1%)	570 (27,9%)	0 (0%)	2043 (100%)
Vulnerabilidade Intermediária	VI	0 (0%)	296 (10,9%)	1863 (68%)	561 (21%)	2720 (100%)
Vulnerabilidade Baixa	VB	0 (0%)	0 (0%)	69 (21,7%)	249 (78,3%)	318 (100%)
Total		43191	2986	2674	831	49685

Além do cenário-base, cenários alternativos para Caraguatatuba são estabelecidos a partir de alterações nos parâmetros de entrada “taxa de urbanização” e “proporções das classes de vulnerabilidade”. Modificando o primeiro parâmetro, é possível realizar experimentos que explorem um aumento acelerado da demanda por áreas urbanizadas em função do crescimento migratório estimulado pela indústria do turismo e pelos novos investimentos ligados à indústria do petróleo e derivados, ou uma diminuição das taxas de expansão urbana resultante da otimização do uso das áreas já estabelecidas. Já a modificação do segundo parâmetro estabelece demandas diferenciadas por células destinadas a cada classe de vulnerabilidade, o que permite a exploração de distintos cenários de desigualdades socioterritoriais.

4.4.2 Parametrização da Fase de Alocação

A segunda fase do modelo, a de alocação, consiste na estimativa do potencial das células para a ocupação de grupos de famílias pertencentes a cada classe de vulnerabilidade, baseada nestes potenciais, na alocação espacial das demandas totais determinadas para cada classe. A parametrização desta fase baseia-se na construção de modelos de regressão logística binária que buscam identificar fatores que contribuem para que uma célula pertença a uma determinada classe. Este tipo de regressão apresenta uma variável binária como dependente (por exemplo, 1 = vulnerabilidade alta e 0 = outra classe) e é definido como (MOORE; MCCABE, 2003):

$$\log\left(\frac{p(u)}{1-p(u)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_n X_n$$

Onde $p(u)$ representa a probabilidade de que a classe da célula seja igual a u , X são as variáveis explicativas e β são os parâmetros do modelo logístico. Assim, o potencial de uma célula pertencer à classe u , $p(u)$, pode ser estimado como:

$$p(u) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 X_1 - \beta_n X_n)}$$

Equações para o cômputo dos potenciais para as classes “não residencial” (NR), “vulnerabilidade alta” (VA), “vulnerabilidade intermediária” (VI) e “vulnerabilidade baixa” (VB) foram obtidas a partir dos dados referentes aos períodos 1991-2000 e 2000-2010. As variáveis dependentes e independentes consideradas na construção dos modelos são apresentadas na Tabela 7.

TABELA 7
Modelos Logísticos Binários: Variáveis resposta e explicativas

Variáveis Resposta		Fonte
NR(t)*	Estado da célula no momento t = “não residencial”	Mapas de classes de uso e ocupação do solo (Seção 4.3).
VA(t)	Estado da célula no momento t = “vulnerabilidade alta”	
VI(t)	Estado da célula no momento t = “vulnerabilidade intermediária”	
VB(t)	Estado da célula no momento t = “vulnerabilidade baixa”	
Variáveis Explicativas		Fonte
Estado da Célula em $t-n$:		
NR($t-n$)*	Estado anterior da célula ($t-n$) = “não residencial”	Mapas de classes de uso e ocupação do solo (Seção 4.3).
VA($t-n$)	Estado anterior da célula ($t-n$) = “vulnerabilidade alta”	
VI($t-n$)	Estado anterior da célula ($t-n$) = “vulnerabilidade intermediária”	
VB($t-n$)	Estado anterior da célula ($t-n$) = “vulnerabilidade baixa”	
Externalidades de vizinhança em $t-n$:		
VizNR($t-n$)	Proporção de células vizinhas** com estado anterior ($t-n$) = “não residencial”	Cômputo das proporções realizado a partir dos mapas de classes de uso e ocupação do solo (Seção 4.3).
VizVA($t-n$)	Proporção de células vizinhas com estado anterior ($t-n$) = “vulnerabilidade alta”	
VizVI($t-n$)	Proporção de células vizinhas com estado anterior ($t-n$) = “vulnerabilidade intermediária”	
VizVB($t-n$)	Proporção de células vizinhas com estado anterior ($t-n$) = “vulnerabilidade baixa”	

Variáveis Normativas:

GerEsp	Zona de Gerenciamento Especial devido sua fragilidade geológica e criticidade para receber assentamentos humanos	
Centro	Zona central da cidade, com maior densidade de população fixa, estabelecimentos comerciais e prestação de serviços.	
UrbApoio	Zona dos núcleos urbanos de apoio, que são as demais zonas com concentração de população fixa, estabelecimentos de comércio e serviço de atendimento local.	Lei de Zoneamento do município de Caraguatatuba
ResTur	Zona residencial turística, com predominância de loteamentos destinados à população flutuante.	Lei N.200/92 de 22/06/1992
SopeEnc	Zona de sopé de encosta	
Encosta	Zona de encosta	
Agrícola	Zona agrícola	
Preservação	Zona de preservação ambiental	
Distância de externalidades positivas:		
DistCentro	Distância da zona central	Cômputo no software TerraView.
DistMar	Distância do mar	
Fatores físico-naturais:		
Declividade	Declividade do terreno	Dados SRTM (2000)

* Para o período 1991-2000: $t = 2000$ e $t-n = 1991$; Para o período 2000-2010: $t = 2010$ e $t-n = 2000$.

** A vizinhança de uma célula é constituída por 121 células (11X11), incluindo a própria célula.

A construção e comparação de modelos para dois períodos distintos, 1991-2000 e 2000-2010, permite analisar como os processos de alocação de famílias em distintas condições de vulnerabilidade foram se modificando com o passar dos anos. Para a simulação do cenário-base, os coeficientes estimados para o período mais recente são adotados como parâmetros. Já na simulação de cenários alternativos é possível experimentar distintos padrões de ocupação através das alterações destes parâmetros.

Os resultados dos modelos logísticos são apresentados nas Tabelas 8, 9, 10 e 11. Para estimar o potencial de uma célula manter-se como “não urbanizada” ($NR(t)$), considerou-se o impacto de fatores como (Tabela 8): a proporção de células vizinhas que não eram urbanizadas em $t-n$ ($VizNR(t-n)$), a distância do mar (DistMar) e a declividade do terreno (Declividade).

TABELA 8

Modelo Logístico Binário: Parâmetros estimados para o cômputo do potencial de uma célula permanecer na classe “Não Urbanizada” - $NR(t)$. Períodos 1991-2000 e 2000-2010.

Variável	Período 1991-2000		Período 2000-2010	
	Coefficiente	Desvio Padrão	Coefficiente	Desvio Padrão
Constante	-5,9***	0,11	-4,76***	0,09
$VizNR(t-n)$	7,74***	0,17	6,41***	0,13
DistMar	$3,4 \cdot 10^{-4}$ ***	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$ ***	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Declividade	$8,3 \cdot 10^{-2}$ ***	$4,4 \cdot 10^{-3}$	$6,62 \cdot 10^{-2}$ ***	$3,2 \cdot 10^{-3}$
Qui-quadrado	15255***		13042***	
Cox & Snell R^2	0,56		0,51	
Nagelkerke R^2	0,81		0,70	

***, ** e * indicam nível de significância estatística de 99%, 95% e 90%, respectivamente.

O modelo mostrou que, conforme o esperado, células cujos vizinhos não eram urbanizados no período anterior ($VizNR(t-n)$) aumentam sua probabilidade manter-se neste mesmo estado. Em relação à variável declividade, verificou-se que, nos dois períodos analisados, altas declividades do terreno estavam associadas a uma maior probabilidade de uma célula manter-se como não urbanizada. A mesma tendência foi observada quanto à variável "distância do mar": quanto maior a distância, maior a probabilidade de uma célula manter-se como não urbanizada. No entanto, os modelos revelam uma diminuição do

coeficiente associado a estas variável no período mais recente (2000-2010). Esta tendência pode estar relacionada à diminuição da disponibilidade de terrenos, que torna cada vez mais provável a urbanização em locais distantes da orla, com maiores declividades e menos propícios à ocupação.

O modelo estimado para investigar o potencial de uma célula pertencer à classe “Vulnerabilidade Alta” ($VA(t)$) é apresentado na Tabela 9. Os coeficientes das variáveis referentes ao estado anterior da célula quanto à sua vulnerabilidade ($VA(t - n)$, $VI(t - n)$, $VB(t - n)$) revelam que uma célula apresenta maior probabilidade de ser ocupada por famílias em condições de alta vulnerabilidade se elas já o eram em $t-n$. Resultados semelhantes foram obtidos quando analisado o estado anterior da vizinhança da célula ($VizVA(t - n)$, $VizVI(t - n)$, $VizVB(t - n)$): a probabilidade de pertencer à classe VA aumentou quando as células vizinhas já pertenciam a esta classe em $t-n$, uma tendência que tornou-se ainda mais evidente no período 2000-2010. Por outro lado, a probabilidade de pertencer à classe VA diminuiu quando as células vizinhas apresentavam vulnerabilidade intermediária ($VizVI(t - n)$), e diminuiu ainda mais quando a vizinhança apresentava baixa vulnerabilidade ($VizVB(t - n)$). Esta tendência também se mostrou mais evidente no período mais recente, o que revela um aumento da importância dos fatores relacionados às externalidades de vizinhança. Processos como este costumam vir acompanhados de um aumento dos níveis de segregação residencial e de seus impactos negativos sobre as famílias mais vulneráveis, que podem incluir, por exemplo, um maior dificuldade de acesso a equipamentos e serviços urbanos, infraestrutura precária, preconceito e estigmatização, redução das oportunidades de qualificação profissional e emprego, entre outros fatores que contribuem para a perpetuação da pobreza e aumento da vulnerabilidade social.

TABELA 9

Modelo Logístico Binário: Parâmetros estimados para o cálculo do potencial de uma célula pertencer à classe “Vulnerabilidade Alta” - $VA(t)$. Períodos 1991-2000 e 2000-2010.

Variável	Período 1991-2000		Período 2000-2010	
	Coefficiente	Desvio Padrão	Coefficiente	Desvio Padrão
Constante	-1,62***	0,24	-3,06***	0,2
$VA(t - n)$	2,79***	0,13	3,1***	0,13
$VI(t - n)$	1,36***	0,17	2,4***	0,15
$VB(t - n)$	-4,43 . 10 ⁻⁴	0,34	-11,8	1761
$VizVA(t - n)$	1,75***	0,22	2,7***	0,22
$VizVI(t - n)$	-0,61**	0,28	-3,5***	0,26
$VizVB(t - n)$	-3,74***	0,65	-10,6***	2,9
Centro	-0,60**	0,29	-16,3	1786
UrbApoio	0,61**	0,21	0,65***	0,1
ResTur	-2,55***	0,22	-1,1***	0,2
GerEsp	1,95***	0,23	-0,9***	0,21
SopeEnc	-0,49*	0,29	0,75**	0,25
Encosta	1,06***	0,22	1,1***	0,2
Preservação	-0,19	0,23	0,06	0,2
Agrícola	0,90***	0,23	1,34***	0,2
DistCentro	-4,2 . 10 ⁻⁵ ***	1,2 . 10 ⁻⁵	1,6 . 10 ⁻⁴ ***	9,0 . 10 ⁻⁶
DistMar	-4,9 . 10 ⁻⁴ ***	3,4 . 10 ⁻⁵	-1,8 . 10 ⁻² ***	4,0 . 10 ⁻³
Declividade	-4 . 10 ⁻² ***	6,0 . 10 ⁻³	-3,3 . 10 ⁻⁴ ***	1,7 . 10 ⁻⁵
Qui-quadrado	6017***		6097***	
Cox & Snell R ²	0,28		0,28	
Nagelkerke R ²	0,55		0,48	

***, ** e * indicam nível de significância estatística de 99%, 95% e 90%, respectivamente.

Os grupos de vulnerabilidade intermediária (Tabela 10), por sua vez, apresentaram uma maior probabilidade de ocupar células que já eram urbanizadas em $t-n$, principalmente se

eram classificadas como de vulnerabilidade intermediária ou baixa ($VI(t - n)$ e $VB(t - n)$). Para os grupos de baixa vulnerabilidade (Tabela 11), as variáveis representantes do estado anterior da célula apresentaram-se menos significativas do que as que observam o estado da vizinhança em $t - n$ ($VizVB(t - n)$, $VizVI(t - n)$ e $VizVA(t - n)$). Neste caso, quanto maior a proporção de células de baixa vulnerabilidade ($VizVB(t - n)$), maior o potencial da célula ser classificada como também de baixa vulnerabilidade no ano t . Já o inverso tende a ocorrer com o aumento de células vizinhas pertencentes a outras classes de vulnerabilidade ($VizVI(t - n)$ e $VizVA(t - n)$). Estes resultados reforçam o posicionamento das externalidades de vizinhança como fator fundamental nas escolhas de localização residencial das famílias.

TABELA 10

Modelo Logístico Binário: Parâmetros estimados para o cômputo do potencial de uma célula pertencer à classe “Vulnerabilidade Intermediária” - $VI(t)$. Períodos 1991-2000 e 2000-2010.

Variável	Período 1991-2000		Período 2000-2010	
	Coefficiente	Desvio Padrão	Coefficiente	Desvio Padrão
Constante	-2,94***	0,30	-2,6***	0,28
VA($t - n$)	1,89***	0,13	1,8***	0,14
VI($t - n$)	4,46***	0,16	2,5***	0,13
VB($t - n$)	4,68***	0,24	2,6***	0,28
VizVA($t - n$)	0,68**	0,23	0,4*	0,22
VizVI($t - n$)	-0,14	0,25	2,4***	0,21
VizVB($t - n$)	-6,46***	0,48	-6,1***	0,56
Centro	$5,4 \cdot 10^{-2}$	0,27	1,8***	0,31
UrbApoio	0,26	0,24	0,71**	0,24
ResTur	1,87***	0,24	0,84***	0,24
GerEsp	1,13***	0,26	1,67***	0,25
SopeEnc	1,39***	0,30	1,4***	0,3
Encosta	0,58**	0,28	-0,24	0,29
Agrícola	-16,1	426	-0,82**	0,35
Preservação	-1,05***	0,31	1,0***	0,26
DistCentro	$-1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$-1,8 \cdot 10^{-4}$ ***	$1,1 \cdot 10^{-5}$
DistMar	$-4,7 \cdot 10^{-4}$ ***	$6,1 \cdot 10^{-5}$	$-3,3 \cdot 10^{-4}$ ***	$4,5 \cdot 10^{-5}$
Declividade	$-1,1 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$-3,4 \cdot 10^{-2}$ ***	$6,6 \cdot 10^{-3}$
Qui-quadrado	10067***		8754***	
Cox & Snell R ²	0,42		0,38	
Nagelkerke R ²	0,74		0,67	

***, ** e * indicam nível de significância estatística de 99%, 95% e 90%, respectivamente.

TABELA 11

Modelo Logístico Binário: Parâmetros estimados para o cômputo do potencial de uma célula pertencer à classe “Vulnerabilidade Baixa” - $VB(t)$. Períodos 1991-2000 e 2000-2010.

Variável	Período 1991-2000		Período 2000-2010	
	Coefficiente	Desvio Padrão	Coefficiente	Desvio Padrão
Constante	-28	662	-20,6	1268
VA($t - n$)	16,1	151	-0,42	1,05
VI($t - n$)	17,1	151	3,75 ***	0,29
VB($t - n$)	19,1	151	2,74 ***	0,40
VizVA($t - n$)	4,52	1,81	-4,07 ***	0,57
VizVI($t - n$)	-5,37 ***	1,28	-1,64 ***	0,32
VizVB($t - n$)	10,5 ***	1,24	7,57 ***	0,69
Centro	12,4	644	16,02	1268
UrbApoio	12,7	644	15,65	1268
ResTur	13,6	644	16,53	1268
GerEsp	-4,4	1417	-1,18	1924
SopeEnc	3,99	1618	-2,24	2747
Encosta	-0,98	1122	15,49	1268
Agrícola	10,4	660	0,38	1344
Preservação	-0,37	738	13,17	1268
DistCentro	$-2,33 \cdot 10^{-3}$ ***	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$ ***	$1,6 \cdot 10^{-5}$
DistMar	$-2,4 \cdot 10^{-3}$ ***	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$-3,3 \cdot 10^{-4}$ ***	$9,7 \cdot 10^{-5}$
Declividade	$-1,1 \cdot 10^{-1}$ *	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$-2,6 \cdot 10^{-2}$ *	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Qui-quadrado	2742***		4124***	
Cox & Snell R ²	0,14		0,20	
Nagelkerke R ²	0,86		0,65	

***, ** e * indicam nível de significância estatística de 99%, 95% e 90%, respectivamente.

Quanto às variáveis referentes à proximidade da zona central (Centro e DistCentro), o modelo revela que as células fora da zona central ou mais distantes do centro possuem maior probabilidade de serem ocupadas pelas famílias mais vulneráveis (Tabela 9). Comparando os coeficientes estimados para 1991-2000 e 2000-2010, é possível constatar a ocorrência de um aumento desta distância entre a zona central e as células classificadas como de alta vulnerabilidade: o coeficiente estimado para a variável "DistCentro", que apresentava um valor negativo para o período 1991-2000, torna-se positivo no período seguinte.

No entanto, os modelos indicam que, embora não encontrem espaço na zona central da cidade (variável "Centro"), os grupos mais vulneráveis ainda podem ser encontrados em alguns locais da cidade considerados como núcleos urbanos de apoio (variável "UrbApoio"), áreas relativamente consolidadas que dispõe de estabelecimentos de comércio e serviços. O mesmo não pode ser afirmado em relação às zonas residenciais turísticas (variável "ResTur"), onde, conforme os modelos apresentados nas Tabelas 9 e 10, é diminuída a probabilidade de uma célula ser ocupada por famílias em condições de maior vulnerabilidade.

Os coeficientes estimados para a variável "Zona de Gerenciamento Especial" (GerEsp), que são áreas críticas para a ocupação humana devido sua fragilidade geológica, revelam que no período 1991-2000, os grupos com vulnerabilidade alta e média apresentavam uma maior probabilidade de ocupar estas áreas. Já no período 2000-2010, esta variável passou a apresentar um coeficiente negativo para a classe de alta vulnerabilidade, provavelmente em virtude de uma maior consolidação desta área, que passou a ser ocupada predominantemente por famílias em condições de vulnerabilidade intermediária. Assim, embora as peculiaridades geológicas da área que levam a uma maior exposição a perigos de cunho físico-natural permaneçam, nota-se que a área tem sido paulatinamente ocupada por moradores com melhor capacidade de resposta a tais perigos.

As variáveis que representam as áreas localizadas em encostas ("Encosta") ou destinadas ao uso agrícola ("Agrícola") apresentaram coeficientes positivos e significativos para os modelos construídos para a classe "Vulnerabilidade Alta" nos períodos 1991-2000 e

2000-2010, revelando uma maior probabilidade das famílias mais vulneráveis ocuparem estas áreas. Para a classe "Vulnerabilidade Intermediária", os coeficientes estimados para estas variáveis foram significativos em apenas para um dos períodos e, para a classe "Vulnerabilidade Baixa", não foram significativos em nenhum período.

Na estimativa do potencial de uma célula pertencer à classe “vulnerabilidade baixa”, nenhuma variável normativa revelou-se como significativa (Tabela 11). As únicas variáveis apontadas como significativas nos modelos construídos para os períodos 1991-2000 e 2000-2010 foram aquelas que dizem respeito às externalidades de vizinhança ($VizVB(t - n)$ e $VizVI(t - n)$), distâncias do centro e do mar (DistCentro e DistMar) e declividade. A importância das variáveis de externalidade de vizinhança vai ao encontro do que tem sido apontado por alguns economistas (SCHELLING, 1978; ABRAMO, 2007). Abramo (2007), por exemplo, defende a ideia de que, no processo de escolha da localização residencial, as famílias preferem aquelas vizinhanças onde famílias de menor renda não estejam presentes. Isso justifica-se pelo fato de que a escolha da localização residencial é vista como um escolha de investimento, onde, por exemplo, pais procuram investir no capital humano de sua família através da oferta de "boas" relações de vizinhança e oportunidades educacionais para seus filhos.

A variável "DistMar" apresentou coeficientes negativos para ambos os períodos: quanto maior a distância do mar, menor a probabilidade de uma célula ser ocupada pelas famílias menos vulneráveis, dada a cultura predominante de valorização da orla como espaço de lazer. O mesmo ocorreu em relação à declividade: quanto maior a declividade do terreno, menor a chance da célula ser ocupada pelos menos vulneráveis. Já a variável "DistCentro" apresentou um coeficiente negativo para o período 1991-2000 e positivo para o período 2000-2010. Este padrão pode ser mais bem compreendido ao observarmos a Figura 3: enquanto no ano 2000 as famílias menos vulneráveis estão concentradas na zona central, no ano 2010 elas passam a distribuir-se também em outros pontos da orla do município, o que reforça a ideia de que a proximidade do centro não representa mais um fator tão importante nas escolhas residenciais deste grupo populacional.

5. PRÓXIMAS ETAPAS

Utilizando os parâmetros empíricos estimados na Seção 4, a próxima etapa do trabalho consiste em programar um protótipo do modelo de simulação especificado. Este protótipo está sendo construído a partir da estrutura do LuccME, um *framework* construído sobre a plataforma TerraME para o desenvolvimento de modelos de mudança de uso e cobertura da terra (CARNEIRO, 2006; TerraME-LuccME Core Team, 2011). O processo de elaboração deste protótipo inclui uma fase de verificação ou *debugging*, que consiste em examinar se o programa executa exatamente o estabelecido em sua especificação.

Após verificar se o modelo de simulação está funcionando de acordo com sua especificação, experimentos de validação deverão ser conduzidos para examinar a capacidade do modelo de representar adequadamente o sistema urbano investigado. Duas estratégias de validação serão utilizadas neste estudo: análises de sensibilidade e experimentos retrospectivos. As análises de sensibilidade consistirão em executar várias rodadas de simulação para avaliar os cenários gerados a partir de alterações dos valores de parâmetros do modelo. Os experimentos retrospectivos usam dados históricos para calibrar o modelo e testar sua capacidade de reproduzir estados do sistema que sejam conhecidos (estados passados ou presentes). Finalmente, após o processo de validação, serão analisados cenários alternativos que explorem diferentes parâmetros de demanda e alocação.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enfatizando um paradigma processual da modelagem, este artigo parte do argumento de que modelos não devem ser tratados como "caixas-pretas" que fornecem respostas determinísticas sobre uma determinada questão, e sim como laboratórios que auxiliam na exploração e compreensão de processos dinâmicos, estruturação de discussões, testes de hipóteses, e no levantamento de novas questões a serem investigadas.

Assim, enquanto a maioria dos trabalhos em modelagem mantêm seu foco na apresentação dos resultados de experimentos de simulação, este artigo buscou realçar o potencial analítico de uma etapa comumente menosprezada: a de construção do modelo. O processo de construção do modelo permite não apenas o aprofundamento sobre inúmeros aspectos relevantes do sistema de interesse, como também uma maior consciência a respeito das potencialidades e limitações do modelo, bem como da maneira mais adequada de interpretação dos resultados obtidos através de experimentos de simulação. Para evitar que os resultados destes experimentos sejam tratados como verdades ou, ao contrário, com total ceticismo, é fundamental que se tenha clareza dos detalhes inerentes à construção do modelo, incluindo suas premissas, dados utilizados, estratégias de parametrização, e formas de representação dos diferentes elementos e interações do sistema.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP pelo financiamento do projeto no qual está inserido este trabalho (processo 2010/06532-6), e à Talita Assis e Ana Paula Aguiar pela ajuda com a implementação do modelo em LuccME-TerraME.

REFERÊNCIAS

ABRAMO, P. **A Cidade Caleidoscópica: Coordenação Espacial e Convenção Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

AFONSO, C. M. **A Paisagem da Baixada Santista: Urbanização, Transformação e Conservação**. São Paulo: EDUSP, 2006.

ANAZAWA, T. M.; FEITOSA, F.F.; MONTEIRO, A. M. V. Indicadores Territoriais de Vulnerabilidade Socioecológica: Uma Proposta Conceitual e Metodológica e sua Aplicação para São Sebastião, Litoral Norte Paulista. In: OJIMA, R.; MARANDOLA, E. (Orgs.) **Mudanças Climáticas e as Cidades: População, Urbanização e Adaptação**. São Paulo: Editora Blucher, 2012 (no prelo).

BATTY, M. Agents, cells and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics. **Environment and Planning A**, v. 37. p.1373-1394, 2005.

CARMO, R. L; MARQUES, C.; MIRANDA, Z. A. I. **Dinâmica Demográfica, Economia e Ambiente na Zona Costeira de São Paulo**. Textos NEPO. Campinas, março de 2012.

CARNEIRO, T. G. S. **NESTED-CA: A Foundation for Multiscale Modelling of Land Use and Land Cover Change**. Tese de doutorado em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2006.

FEITOSA, F. F.; LE, Q. B.; VLEK, P. L. G. Multi-Agent Simulator for Urban Segregation (MASUS): A tool to explore alternatives for promoting inclusive cities. **Computers, Environment and Urban Systems**, v.35, n.2, p. 104-115, 2011.

FEITOSA, F. F.; MONTEIRO, A.M.V. Vulnerabilidade e modelos de simulação como estratégias mediadoras: Contribuição ao debate das mudanças climáticas ambientais. **Geografia**, v.37, n.2, 2012.

- GROVE, J. M. Cities: Managing densely settled social-ecological systems. In: CHAPIN, F.; KOFINAS, G. P.; FOLKE, C. (Orgs.). **Principles of Ecosystem Stewardship. Resilience-based natural resource management in a changing world**. New York, NY: Springer, 2009. p. 281-294.
- HARDOY, D. J.; PANDIELLA, G. Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America. **Environment and Urbanization**, v. 21, n. 1, p. 203-224, 2009.
- HOGAN, D. J. et al. **Urban Growth, Vulnerability and Adaptation: Social and ecological dimensions of climate change on the Coast of São Paulo**. Projeto de Pesquisa aprovado pelo Programa FAPESP em Mudanças Climáticas Globais. Campinas, 2009.
- HOGAN, D. J.; MARANDOLA, E. **População e Mudanças Climáticas: Dimensões Humanas das Mudanças Ambientais Globais**. Campinas: Núcleo de Estudos da População, NEPO/Unicamp, 2009.
- IBGE. **Censo Demográfico 1991**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991.
- IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000.
- IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010.
- KAZTMAN, R. et al. **Vulnerabilidad, activos y exclusión social en Argentina y Uruguay**. Oficina Internacional del Trabajo. Santiago de Chile, 1999.
- KAZTMAN, R. **Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social**. Borrador para discusión. 5 Taller regional, la medición de la pobreza, métodos y aplicaciones. BID-BIRF-CEPAL. Mexico, 2000.
- KAZTMAN, R.; FILGUEIRA, F. As normas como bem público e privado: reflexões nas fronteiras do enfoque “ativos, vulnerabilidades e estrutura de oportunidades” (Aveo). In: CUNHA, J.M.P. (Org.). **Novas Metrôpoles Paulistas: População, Vulnerabilidade e Segregação**. Campinas: NEPO/Unicamp, 2006.
- KAUFMAN, L.; ROUSSEUW, P. J. **Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.
- LUCCKE - TerraME-LuccME Core Team. **LuccME: An Open Source Framework for Spatially Explicit Land Use Change Modeling**, versão 1.0. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.terrame.org/luccme>>.
- MCGRANAHAN, G.; BALK, D.; ANDERSON, B. Risks of climate change for urban settlements in low elevation coastal zones. In: MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G. (Orgs.). **The New Global Frontier: Urbanization, Poverty and Environment in the 21st century**. London: Earthscan, 2008. p. 165-181.
- MOORE D. S.; MCCABE, G. P. Introduction to the Practice of Statistics. New York: W. H. Freeman & Company, 2003.
- MORAES, A. C. R. **Contribuições para a Gestão da Zona Costeira no Brasil: Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro**. São Paulo: Annablume, 2007.
- NICHOLLS, R. J.; WONG, P. P.; BURKETT, V. et al. Coastal systems and low-lying areas. In: PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; LINDEN, P. J. VAN DER; HANSON, C. E. (Orgs.). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 315-356.
- OPENSHAW, S. **The Modifiable Areal Unit Problem**. Norwich: Geo Books, 1984.
- OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009.
- PINTO, N.; ANTUNES, A. P. Cellular automata and urban studies: a literature survey. **Architecture, City and Environment**, v. 1, n. 3, p. 367-398, 2007.

SANTÉ, I; GARCÍA, A. M.; MIRANDA, D.; CRECENTE, R. Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, v. 96; p. 108-122, 2010.

SCHELLING, T. **Micromotives and Macrobehavior**. London & New York: W.W. Norton, 1978.

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Metodologia para Avaliação Integrada de Projetos**. São Paulo: SMA, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 2009.

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Zoneamento Ecológico-Econômico - Litoral Norte de São Paulo**. São Paulo: SMA/CPLEA, 2005.

TERRAVIEW Core Team. **TERRAVIEW, versão 4.1.0**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview>>.