

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL COM AUTOMATOS CELULARES NA CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS DE EXPANSÃO URBANA.

Jéssica Silva Martins¹, Carla Bernadete Madureira Cruz², Monika Ritchter³, Rafael Cardão Augusto⁴

¹UFRJ, Cidade Universitária-RJ, martins.jess89@gmail.com; ²UFRJ, Cidade Universitária-RJ, carlamad@gmail.com; ³UFF, Angra dos Reis – RJ, mrichter84@hotmail.com e ⁴UFRJ, Cidade Universitária-RJ, rafaelcardao@hotmail.com

RESUMO

O presente estudo visa a construção de um cenário futuro para a expansão urbana dos municípios de Angra dos Reis (RJ), Paraty (RJ) e Ubatuba (SP), buscando conjecturar aspectos, como taxa de crescimento e direção das mudanças. Um cenário estacionário foi construído para o ano de 2030 através de modelagem dinâmica espacial utilizando autômatos celulares. Também se buscou identificar a influência de variáveis explicativas no crescimento de manchas urbanas. Como resultado, observou-se que no período de 2021-2030, a expansão urbana seria de 46,13%, o que representaria uma expansão de 5,12% ao ano e tendência de crescimento de borda das manchas urbanas, tanto das áreas centrais quanto de núcleos urbanos dispersos, possivelmente, devido ao desenvolvimento do turismo nessas localidades.

Palavras-chave — modelagem dinâmica espacial, autômatos celulares, expansão urbana, turismo, variáveis explicativas.

ABSTRACT

The present study aims to build a future scenario for the urban expansion of Angra dos Reis (RJ), Paraty (RJ) and Ubatuba (SP) cities, seeking to conjecture aspects such as growth rate and direction of changes. A stationary scenario was built for the year 2030 through spatial dynamic modeling using cellular automata. The weights of evidence method was also used, in order to identify the influence of explanatory variables on the growth of urban areas. As a result, it was observed that in the period 2021-2030, the urban sprawl would be 46.13%, which would represent an expansion of 5.12% per year and a trend of growth on the edge of urban areas, both in central areas and stragglings urban nuclei, possibly due to the development of tourism in these locations.

Key words — dynamic spatial modeling, cellular automata, urban sprawl, tourism, explanatory variables.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo a construção de um cenário futuro para os municípios de Angra dos Reis (RJ), Paraty (RJ) e Ubatuba (SP) de forma a identificar os locais com maior propensão à ocupação urbana. Também, busca-se identificar

a relação de variáveis turísticas na transição dessas áreas urbanas, considerando a possível influência do turismo para o crescimento de áreas centrais e periféricas.

Tal análise faz-se necessária devido ao recente crescimento urbano na região, induzido principalmente pelo desenvolvimento do turismo, que tem se despontado no território desde 1970. Atualmente, a região também tem despertado o interesse de investidores devido aos incentivos do atual governo federal que tenciona transformar a Baía da Ilha Grande, que compreende Angra dos Reis e Paraty, em uma espécie de Cancún Brasileira.

O território dos municípios sob estudo possui múltiplos usos. Dentre tais usos ressalta-se o turismo, vetor de diferentes transformações espaciais na região. Também vale destacar os usos conservacionistas, a exemplo da existência de diferentes unidades de conservação (UCs) e os usos tradicionais, praticados por comunidades caiçaras, indígenas e quilombolas presentes há décadas no território.

Nesse sentido, a construção de cenários futuros constitui-se em uma importante ferramenta para identificação de ameaças e oportunidades na região, sendo um auxílio para a tomada de decisão daqueles envolvidos com o planejamento e gestão do uso da terra e daqueles afetados por tal uso.

No presente trabalho, gerou-se um cenário estacionário a partir de modelos dinâmicos baseado em autômatos celulares que são idealizações matemáticas de sistemas físicos. Nesse modelo, o espaço e o tempo são discretos e as quantidades físicas assumem um conjunto finito de valores discretos, onde o valor da variável em uma célula é afetado pelos valores das células em sua "vizinhança" no período anterior [1].

Para a modelagem do cenário foi utilizado um mapeamento da cobertura e uso da terra com imagens Sentinel dos anos de 2016 e 2021. Ademais, foram escolhidas diferentes variáveis dinâmicas e estáticas, como unidades de conservação, distância aos atrativos turísticos e outros; para identificação da relação com a expansão urbana, que se deu por meio da aplicação do método pesos de evidência. Este método baseia-se na probabilidade condicional de Bayes, que indica a probabilidade de um evento ocorrer dada a presença ou ausência das variáveis escolhidas [2].

Por fim, a partir da parametrização de algoritmos de transição foram construídos mapas de simulação para a construção do cenário futuro. A partir desses resultados, identificou-se as possíveis áreas de expansão urbana para o ano de 2030, tendo em consideração as variáveis escolhidas e a dinâmica das mudanças da cobertura e uso da terra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em três etapas: (i) classificação baseada em objeto das imagens Sentinel 2016 e 2021; (ii) processamento dos dados; e (iii) modelagem dinâmica espacial. A classificação das imagens e processamento dos dados foram realizados no software eCognition e em ambiente SIG, respectivamente. Já o modelo de AC utilizado foi o DINAMICA EGO, software desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais. O fluxograma (figura 1) sintetiza as etapas necessárias para a criação do cenário de expansão urbana.

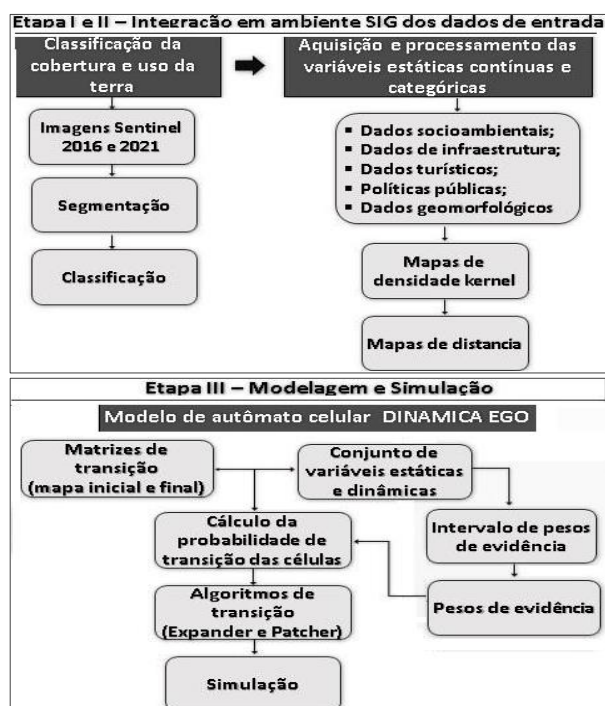


Figura1: Fluxograma metodológico

i) Os dados que alimentaram o modelo de AC foram provenientes de sensoriamento remoto e de dados secundários. As imagens Sentinel 2A foram classificadas para um período de 5 anos (2016-2021).

No eCognition as imagens foram segmentadas por meio do algoritmo “multiresolution segmentation”. Também houve a coleta de amostras para a classificação e com a construção de índices de classificação, como o NDVI, NDWI, NDBI e os valores espectrais das bandas, utilizou-se a lógica *fuzzy* e booleana para geração das classes: floresta, manguezal, áreas não vegetadas, áreas urbanas e outros.

ii) As variáveis explicativas podem ser de dois tipos: estáticas e dinâmicas. As dinâmicas correspondem à distância a determinadas classes da cobertura e uso da terra que são atualizadas no decorrer das simulações. Tais variáveis são calculadas no DINAMICA EGO. Já as variáveis estáticas não sofrem atualização ao longo da simulação.

Esse conjunto de variáveis explicam onde as mudanças

ocorrem e neste trabalho se relacionam a diferentes fatores, como aqueles que regulam a ocupação nos municípios, aspectos da paisagem e da análise das mudanças ocorridas por meio dos mapas de cobertura da terra pretéritos. Dessa forma, foram selecionadas 21 variáveis com potencial para atrair ou repelir manchas urbanas (quadro 1), a saber:

Variáveis turísticas	Fonte
Distância as casas de segunda residência de altíssima, alta, média e baixa densidade	Arquivos de pontos adquiridos por scraper na plataforma Apiix , em 30/10/2021 provenientes da plataforma AIRBNEB
Distância aos atrativos turísticos de alta, média e baixa densidade	Arquivos de pontos espacializados de inventários turísticos e do Google Earth.
Variáveis socioculturais	Fonte
Distância euclidiana aos quilombos; às aldeias indígenas e às comunidades caiçaras e pescadores artesanais.	Arquivos de pontos – OTSS Bocaina
Variáveis geomorfológicas	Fonte
Declividade	Projeto Topodata
Altimetria	Projeto Topodata
Orientação das vertentes	Projeto Topodata
Variáveis de infraestrutura	Fonte
Distância das estradas principais	Open Street Maps
Distância do arruamento	Open Street Maps
Variáveis políticas	Fonte
Distância das unidades de conservação	MMA, 2021
Zoneamento da APA de Cainçu	ICMBIO, 2018
Zoneamento de Angra dos Reis	Prefeitura de Angra dos Reis
Zoneamento de Ubatuba	Prefeitura de Ubatuba
Variáveis físicas-ambientais	Fonte
Distância da hidrografia	Base contínua IBGE 250 (2019)
Distância da costa	Gerada a partir da malha municipal do IBGE 2019

Quadro 1: Variáveis selecionadas do modelo de simulação.

iii) A construção do modelo de simulação no DINAMICA EGO envolve diferentes etapas que contribuem para calibração e validação do modelo. A primeira etapa consiste no cálculo da matriz de probabilidade de transição (para cada classe de mudança) por meio da inserção dos mapas inicial e final, ou seja 2016 e 2021. Considerou-se apenas as áreas de expansão urbana no modelo.

Com esses dados realiza-se uma tabulação cruzada através de um processo estacionário denominado cadeias de Markov. As taxas de transição geradas são utilizadas pelos algoritmos de transição (*expand* e *patcher*) para a projeção de taxas futuras de transição [3].

A partir das probabilidades de transição, os mapas de transição de uso da terra são elaborados e representam a probabilidade de uma célula na posição (x, y) mudar do estado i para o estado j. As probabilidades espaciais de transição são calculadas para cada célula no mapa e para cada transição especificada. Para tanto, empregou-se o método pesos de evidência utilizando todas as variáveis mencionadas. Esse método seleciona as áreas mais favoráveis para cada tipo de transição. Posteriormente, esses mapas são utilizados pelas funções de transição na seleção de células a serem transicionadas [3] [4].

Em relação à validação, o método utilizado baseia-se em similaridade fuzzy e no ajuste por múltiplas resoluções de acordo com janelas móveis. Assim, verifica-se a adequação

espacial entre dois mapas por meio de uma função de decaimento exponencial ou constante em um tamanho de janela variável, utilizando os mapas inicial, final e simulado [5]. Mapas com índices de similaridade obtidos com decaimento exponencial próximos a 0,4 refletem um bom ajuste de compatibilidade entre o mapa simulado e o real [6].

3. RESULTADOS

De acordo com o cenário gerado para o ano de 2030, nota-se que a expansão urbana ocorreu em várias localidades ao longo dos três municípios estudados, tanto nas áreas centrais quanto nas áreas periféricas, priorizando um crescimento de bordo ao longo da orla marítima.

Em Angra dos Reis (figura 2) a expansão urbana se deu principalmente na divisa com Conceição de Jacareí, nos bairros Caputera, Morro do Moreno, Camorim Grande, Tanguá, Vila Velha, Retiro, Ponta do Sapé, Banqueta, Parque Belém, Santa Rita do Bracuí, Gamboa do Bracuí e no Frade.

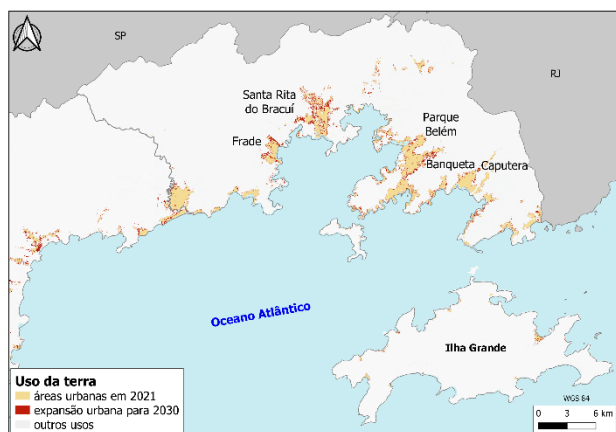


Figura 2: Expansão urbana para 2030 – Angra dos Reis (RJ)

Em Paraty (figura 3) o crescimento urbano ocorreu mais a nordeste do município, como nos bairros Prainha de Mambucaba, Taquari, Barra Grande, Praia Grande, Combure, Centro Histórico e arredores.

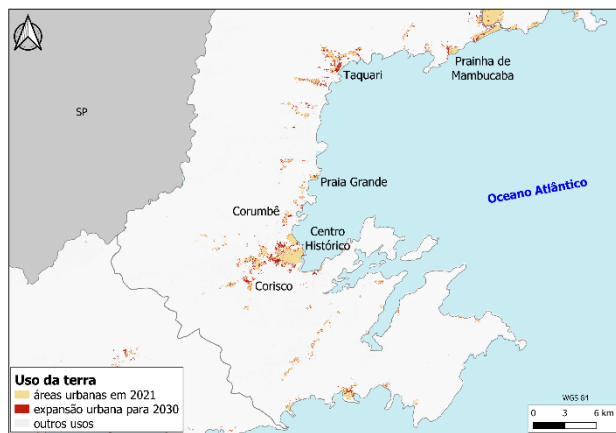


Figura 3: Expansão urbana para 2030 – Paraty (RJ)

Já em Ubatuba (figura 4) a expansão urbana se deu em Ubatumirim, Prumirim, Praia do Félix, Praia de Itamambuca, nos bairros próximos ao centro da cidade, como Taquaral, Estufa II, Centro, Bela Vista, Marafunda, Praia Grande e Itaguá. Também houve crescimento em Toninhas, Praia Dura, Folha Seca, Maranduba e Sertão da Quina.

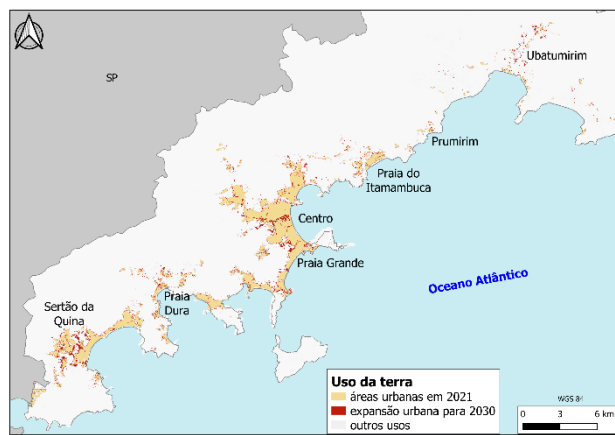


Figura 4: Expansão urbana para 2030 – Ubatuba (SP)

No tocante à expansão urbana em hectare (gráfico 1) e considerando o cenário para o ano de 2030, em um período de nove anos, as áreas urbanas passariam de 7071,81 ha em 2021 para 10334,36 ha em 2030, o que representaria 4,18% da área de estudo.

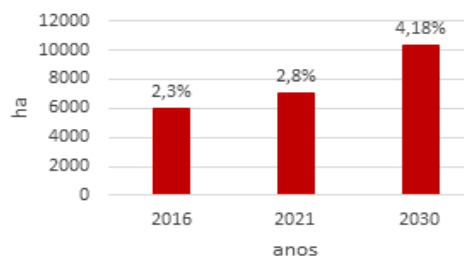


Gráfico 1: Projeção da expansão urbana dos municípios de Angra dos Reis, Paraty e Ubatuba para o ano de 2030.

No período de 2016 a 2021 a expansão urbana foi de 19,25 %, ou seja, um crescimento de 3,85% ao ano. Seguindo a tendência deste período e considerando o cenário de 2030, a expansão urbana para o período de 2021-2030 seria de 46,13%, o que representaria uma expansão de 5,12% ao ano.

A figura 5 representa áreas de expansão urbana de acordo com o cenário de 2030. O modelo reproduziu algumas características representativas do modo de ocupação da área de estudo, como o adensamento de áreas centrais a exemplo do centro de Ubatuba e arredores (figura 5a); ocupação de enseadas para o aproveitamento de áreas de praia, como no Retiro em Angra dos Reis (figura 5b). Geralmente tais locais são apropriados por um público de maior poder aquisitivo; e o crescimento de bairros periféricos próximos a atrativos turísticos, como Taquari em Paraty (figura 5c).



Figura 5: exemplos de expansão urbana para o cenário de 2030, sendo (a) centro de Ubatuba; (b) bairro Retiro em Angra dos Reis e (c) bairro Taquari em Paraty.

4. DISCUSSÃO

No que concerne à validação do modelo, a simulação de 2021 apresentou similaridade de 0.58 em uma janela de 5x5 e de 0.73 em uma janela de 11x11. Logo, as variáveis selecionadas foram suficientes para explicar a localização da maior parte das mudanças.

Cabe mencionar que o crescimento urbano depende de inúmeros outros fatores não incluídos no modelo, como dados sociais, políticas públicas, economia etc., e que estes nem sempre são passíveis de serem premeditados.

Em relação à direção das mudanças, o modelo apresentou tendência de crescimento de borda das manchas urbanas, com crescimento não apenas das áreas centrais, mas também dos núcleos urbanos dispersos da mancha urbana central que surgiram em período anterior a 2016 e atualmente estão em expansão, possivelmente, devido ao desenvolvimento do turismo nessas localidades.

Nesse sentido, deve-se destacar a importância das variáveis utilizadas no modelo, como as variáveis turísticas que apresentaram significativo poder de atração de manchas urbanas em locais com altíssima e alta densidade de casas de segunda residência e atrativos turísticos.

O turismo influencia no crescimento de áreas centrais e periféricas, que se desenvolvem devido à necessidade de oferta de infraestrutura básica aos turistas e visitantes, a exemplo dos equipamentos turísticos, como meios de hospedagens, restaurantes, agências de turismo e outros.

Ademais, a tipologia de turismo pode influenciar na velocidade das mudanças, visto que, as áreas turísticas localizadas em locais com maior densidade populacional, geralmente ligada ao turismo de segunda residência e ao turismo de sol e praia, atraem mais manchas urbanas, já as tipologias de turismo de base comunitária, normalmente com baixa densidade populacional e inseridas em unidades de conservação, demonstram um crescimento urbano e desmatamento menos acelerado.

5. CONCLUSÕES

Em suma, a modelagem da expansão urbana por meio de

autômatos celulares no software DINAMICA EGO mostrou-se uma ferramenta interessante para modelagem de cenários futuros, devido sua capacidade de simular processos dinâmicos, que pode ser útil como instrumento de gestão e planejamento urbano e como ferramenta preditiva as futuras transformações espaciais.

Em relação ao turismo, apesar das áreas centrais concentrarem a maior probabilidade de transição para áreas urbanas, sabe-se do recente aumento pela procura de maior contato com a natureza e com a pandemia do coronavírus essa tendência pode ganhar força. Dessa forma, os lugares mais afastados das áreas centrais e ainda com infraestrutura e com belezas naturais ganham destaque, o que pode influenciar o crescimento das áreas periféricas com apelo turístico. Assim, tais áreas necessitam de maior atenção quanto ao planejamento e ordenamento territorial para que seu possível crescimento não ocorra de forma desordenada.

8. REFERÊNCIAS

- [1] WOLFRAM, S. Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of Modern Physics*, vol. 55, p. 601-644, jul. 1983.
- [2] 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). 2004. 321 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- [3] 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.
- [4] SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 27, n. 5, p. 481-509, 2003.
- [5] CSR.UFMG. Disponível em: <<https://csr.ufmg.br/dinamica/>>. Acesso em: 05/12/2021.
- [6] NOVAES, M. R.; RUDORFF, B. T.; ALMEIDA, C. M. Validação de modelos estacionário e prescritivo do manejo da cana-de-açúcar para o ano-safra 2010 nas regiões de Jaú e Ribeirão Preto, São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 474-481.