

Modelagem Simplificada do Fluxo de Pessoas em Espaço Público com Autômatos Celulares

Luan D' Miranda Filizola Santos¹, Jones Oliveira de Albuquerque²

Departamento de Estatística e Informática – Universidade Federal Rural de Pernambuco
(UFRPE) – Pernambuco – Brazil

{luan.miranda, jone.albuquerque}@ufrpe.br

Resumo. Este artigo apresenta uma modelagem simplificada do fluxo de pessoas em um espaço público aberto, utilizando autômatos celulares como ferramenta computacional. O modelo é inspirado no Jogo da Vida de Conway e representa uma praça pública por meio de uma grade bidimensional, na qual cada célula pode assumir estados associados à presença de pessoas, ausência ou existência de obstáculos fixos. As regras de transição foram adaptadas para representar comportamentos sociais elementares, como atração por grupos, evasão por superlotação e dispersão por isolamento. A simulação foi implementada na linguagem Python e os resultados demonstram que padrões dinâmicos complexos podem emergir a partir de regras locais simples, reforçando o potencial dos autômatos celulares como ferramenta didática e exploratória em estudos de dinâmica coletiva.

Palavras-chave: Autômatos celulares; Jogo da Vida; Dinâmica coletiva; Simulação computacional; Espaços públicos.

1. Introdução

O estudo de sistemas complexos baseados em interações locais tem despertado interesse em diversas áreas do conhecimento, como física, biologia, ciências sociais e urbanismo. Nesses sistemas, comportamentos coletivos emergem sem a necessidade de coordenação centralizada, sendo resultado direto de regras simples aplicadas a elementos individuais.

Os autômatos celulares, introduzidos inicialmente por John von Neumann e popularizados por John Conway através do Jogo da Vida, constituem um modelo matemático discreto capaz de representar esse tipo de fenômeno. Embora concebido originalmente como um experimento teórico, o Jogo da Vida demonstrou que regras locais simples são suficientes para gerar padrões altamente complexos (CONWAY, 1970).

Neste trabalho, propõe-se uma analogia entre o Jogo da Vida e o fluxo de pessoas em uma praça pública, seguindo abordagens semelhantes às utilizadas em estudos de dinâmica de pedestres baseados em autômatos celulares (BLUE; ADLER, 2001; BURSTEDDE et al., 2001). O objetivo é modelar, de forma abstrata e simplificada, a ocupação e reorganização de indivíduos em um espaço aberto, considerando também a presença de obstáculos fixos, como árvores ou estruturas urbanas.

2. Metodologia

2.1 Representação do Espaço

O espaço físico da praça foi modelado como uma matriz bidimensional de dimensões 30x30. Cada célula da matriz representa uma porção do espaço e pode assumir um dos seguintes estados:

- **Espaço vazio:** célula desocupada;
- **Pessoa:** célula ocupada por um indivíduo;
- **Obstáculo:** estrutura fixa que não participa da dinâmica do sistema.

A visualização gráfica utilizou um esquema de cores no qual o espaço vazio é representado em branco, as pessoas em vermelho e os obstáculos em verde.

2.2 Condições Iniciais

A configuração inicial da simulação foi definida por uma densidade de ocupação de 30%, distribuída aleatoriamente sobre a grade. Os obstáculos foram posicionados em coordenadas fixas, previamente definidas, garantindo que não houvesse sobreposição com células ocupadas por pessoas.

2.3 Regras de Atualização

As regras de transição foram adaptadas diretamente do Jogo da Vida de Conway, considerando a vizinhança de Moore, composta pelos oito vizinhos adjacentes a cada célula. As regras aplicadas foram:

- **Isolamento:** uma célula ocupada por uma pessoa com menos de dois vizinhos ocupados torna-se vazia;
- **Superlotação:** uma célula ocupada por uma pessoa com mais de três vizinhos ocupados torna-se vazia;
- **Atração social:** uma célula vazia com exatamente três vizinhos ocupados passa a ser ocupada por uma pessoa;
- **Obstáculos:** células classificadas como obstáculos permanecem inalteradas ao longo da simulação.

2.4 Implementação Computacional

A implementação foi realizada em Python, utilizando a biblioteca NumPy para manipulação eficiente das matrizes e a biblioteca Matplotlib para a geração da animação da simulação. O processo evolutivo foi executado ao longo de múltiplas iterações, com atualização síncrona do estado da grade, e os resultados foram exportados em formato GIF para análise visual.

3. Resultados e Discussão

A simulação evidenciou a formação de padrões dinâmicos ao longo do tempo, variando conforme a densidade inicial de ocupação e a disposição dos obstáculos. Em configurações de densidade moderada, observou-se a formação e dissolução contínua de pequenos aglomerados de pessoas, refletindo comportamentos de atração e dispersão.

A presença de obstáculos influenciou diretamente a dinâmica do sistema, criando regiões de bloqueio e alterando a conectividade entre grupos. Em determinadas situações, os obstáculos

favoreceram a fragmentação do fluxo, enquanto em outras contribuíram para a estabilização de aglomerados locais.

Apesar de sua simplicidade, o modelo demonstrou a capacidade de representar fenômenos emergentes típicos de sistemas coletivos, reforçando a adequação dos autômatos celulares como ferramenta exploratória para o estudo de dinâmicas espaciais, em consonância com a literatura especializada (BURSTEDDE et al., 2001; HELLEBØ et al., 2019).

4. Conclusão

Este trabalho apresentou uma modelagem simplificada do fluxo de pessoas em um espaço público por meio de autômatos celulares inspirados no Jogo da Vida de Conway. Os resultados obtidos indicam que regras locais simples são suficientes para gerar padrões coletivos complexos e visualmente interpretáveis.

Embora o modelo não substitua abordagens mais realistas de simulação de multidões, ele se mostra adequado como ferramenta didática e como ponto de partida para extensões futuras, tais como a inclusão de direcionalidade, preferências individuais, entradas e saídas do sistema ou regras adaptativas.

5. Referências

- CONWAY, John Horton. *The game of life*. Scientific American, New York, v. 223, n. 4, p. 120–123, 1970.
- BLUE, Victor J.; ADLER, Jeffrey L. Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways. *Transportation Research Part B: Methodological*, Amsterdam, v. 35, n. 3, p. 293–312, 2001.
- BURSTEDDE, Carsten et al. Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Amsterdam, v. 295, n. 3–4, p. 507–525, 2001.
- HELLEBØ, Andreas et al. Modelling pedestrian movement using cellular automata: A systematic review. *Safety Science*, Amsterdam, v. 118, p. 350–367, 2019.