

Modelagem espacial-híbrida da propagação de protestos com agentes carismáticos: um autômato celular com memória, mobilidade e ligações de longo alcance

Autores: Raphael Cordeiro B. Pereira — UFRPE(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Resumo

É apresentado um modelo computacional baseado em autômatos celulares (AC) para investigar a dinâmica de difusão de protestos e mobilizações sociais em ambientes espaciais. O modelo combina interação local em grade 2D com ligações de longo alcance (pequeno-mundo), incorporando agentes carismáticos com influência ampliada, memória curta de exposição e mobilidade simples. Por meio de simulações numéricas sistemáticas, é demonstrado como agentes carismáticos e conexões distantes alteram qualitativamente o tempo de ascensão, a amplitude e a duração das mobilizações. O código é disponibilizado para reprodutibilidade.

Introdução

Movimentos coletivos e protestos emergem de interações locais e de fatores de alcance global, como líderes, mídia e fluxos migratórios. Abordagens baseadas em autômatos celulares oferecem uma estrutura natural para modelar a interação espacial local, porém frequentemente negligenciam conexões de longo alcance ou memória individual. Além disso, a presença de líderes carismáticos — figuras capazes de ativar grandes grupos — é um fator empiricamente reconhecido como determinante para o crescimento de mobilizações. O presente estudo propõe um modelo híbrido que integra essas três dimensões: espacialidade, ligações de longo alcance e heterogeneidade de agentes.

Métodos

Foi desenvolvido um AC configurável em modo síncrono ou assíncrono, em grade 2D de tamanho $H \times W$ com $N = H \times W$ células. Cada célula representa um agente com estado discreto: neutro (0), ativista (1), simpatizante (2), repressor (3) e carismático (4). A influência recebida por um agente é calculada como soma ponderada de ativistas locais, com peso maior para carismáticos; ligações de longo alcance (grafo small-world) contribuem com peso adicional. Os agentes possuem memória curta (contador de exposição nos últimos k passos), aumentando a probabilidade de transição para ativista. A mobilidade é modelada por trocas com vizinhos com probabilidade

`pmovep_{move}pmove`. Os principais parâmetros incluem limiar de ativação, peso de carismáticos, intensidade das ligações de longo alcance, penalidade de repressão, mobilidade e taxa de desmobilização espontânea. A implementação foi realizada em Python, utilizando as bibliotecas *numpy*, *networkx* e *matplotlib*.

Resultados

Foram conduzidas varreduras de parâmetros para analisar: (i) densidade de agentes carismáticos; (ii) intensidade das ligações de longo alcance; (iii) proporção inicial de simpatizantes; e (iv) mobilidade dos agentes. As métricas consideradas incluem fração de ativistas ao longo do tempo, tempo até o pico de ativismo, cobertura final da mobilização e comparação entre estratégias de intervenção. Os resultados indicaram que pequenas proporções de agentes carismáticos ($\approx 0,5\text{--}2\%$ da população) reduziram substancialmente o tempo até o pico e ampliaram o alcance final. A introdução de poucas conexões distantes facilitou a formação de múltiplos núcleos de protesto e promoveu sincronização entre regiões afastadas. Mobilidade baixa ou moderada espalhou a ativação espacialmente, enquanto mobilidade elevada reduziu picos locais, apresentando efeito dispersivo.

Figura 1. Estado inicial da simulação.

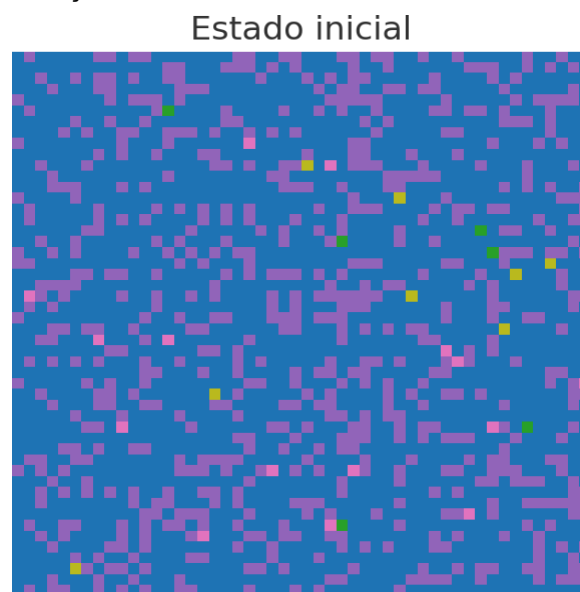


Figura 2. Estado final após 100 passos de tempo.

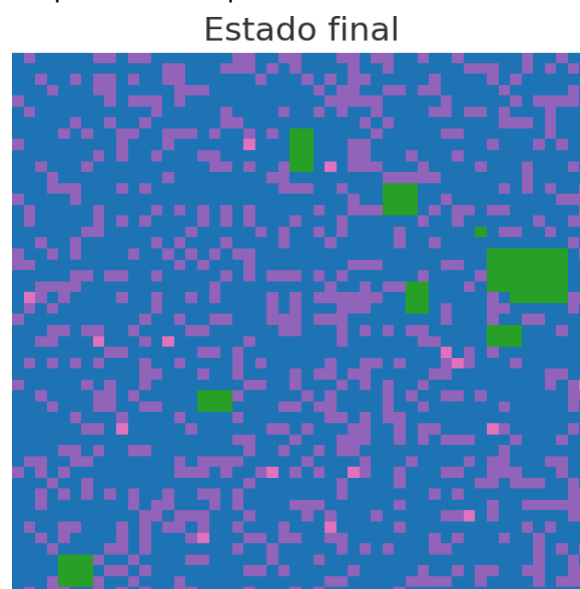


Figura 3. Evolução temporal da fração de ativistas.



Discussão

O modelo demonstra que características simples — líderes com peso de influência elevado, conexões de longo alcance e memória curta — produzem comportamentos não lineares relevantes para a interpretação de eventos reais. Entre as limitações, destacam-se a abstração de fatores socioeconômicos, a ausência de redes sociais empíricas e a necessidade de calibração com dados reais. Trabalhos futuros podem explorar redes multilayer e dados de mobilidade observados.

Conclusão

O estudo apresenta um autômato celular híbrido útil para explorar mecanismos de emergência de protestos e comparar estratégias de intervenção. O código é leve e modular, adequado para estudos de sensibilidade, aplicações educacionais e experimentação rápida.

Code availability

O código-fonte e os notebooks de execução estão disponíveis em:

<https://github.com/rapha-cb/protest-ca-toolbox>