



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA E INFORMÁTICA - DEINFO
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO - BSI
FUNDAMENTOS DE AUTÔMATOS CELULARES**

Gabriel Marinho Gonçalves Ferreira

**Autômato Celular para Simulação de Formação de
Padrões em Areia: Uma Ferramenta para Estudo de
Sistemas Complexos**

**Relatório para a disciplina de Fundamentos de Autômatos
Celulares - Professor Jones Albuquerque**

1. Resumo

Autômatos celulares são modelos computacionais poderosos para simular sistemas complexos a partir de regras simples. Este artigo apresenta um autômato celular que simula a formação de padrões em areia, onde grãos de areia são adicionados aleatoriamente em um grid bidimensional e evoluem sob a influência de regras de queda e deslizamento. O modelo proposto é capaz de reproduzir fenômenos naturais, como a formação de dunas e montes de areia, e oferece uma plataforma para explorar a dinâmica de sistemas granulares. Discutimos a implementação do modelo, sua relevância para o estudo de sistemas complexos e suas aplicações potenciais em geofísica, ciência dos materiais e biologia.

2. Introdução

Autômatos celulares (ACs) são modelos matemáticos discretos que consistem em uma grade de células, cada uma em um estado finito, que evolui ao longo do tempo com base em regras locais. Desde sua introdução por John von Neumann e Stanislaw Ulam na década de 1940, os ACs têm sido amplamente utilizados para modelar sistemas complexos em diversas áreas, como física, biologia, ecologia e ciência da computação. A simplicidade das regras locais contrasta com a complexidade dos padrões emergentes, tornando os ACs uma ferramenta valiosa para o estudo de fenômenos naturais.

Neste trabalho, propomos um autômato celular para simular a formação de padrões em areia. A areia é um exemplo clássico de sistema granular, onde interações locais entre partículas levam a comportamentos coletivos complexos, como a formação de dunas, avalanches e montes. O modelo proposto é inspirado em fenômenos naturais, mas é suficientemente geral para ser aplicado em outros contextos, como o estudo de sedimentação, erosão e até mesmo o crescimento de tecidos biológicos.

3. Metodologia

Descrição de Modelo

O autômato celular proposto consiste em uma grade bidimensional de tamanho $L \times H$, onde cada célula pode estar em dois estados:

1. **Vazia (0):** Representa ausência de areia.
2. **Com areia (1):** Representa a presença de um grão de areia.

As regras de transição são definidas da seguinte forma:

1. **Adição de areia:** A cada passo, grãos de areia são adicionados aleatoriamente na linha superior do grid, simulando a deposição de areia.
2. **Queda da areia:** Se a célula abaixo de um grão de areia estiver vazia, o grão cai para essa célula.
3. **Deslizamento lateral:** Se a célula abaixo estiver ocupada, o grão pode deslizar para a esquerda ou direita, desde que a célula adjacente esteja vazia.
4. **Estabilização:** Se não houver para onde cair ou deslizar, o grão permanece no lugar.

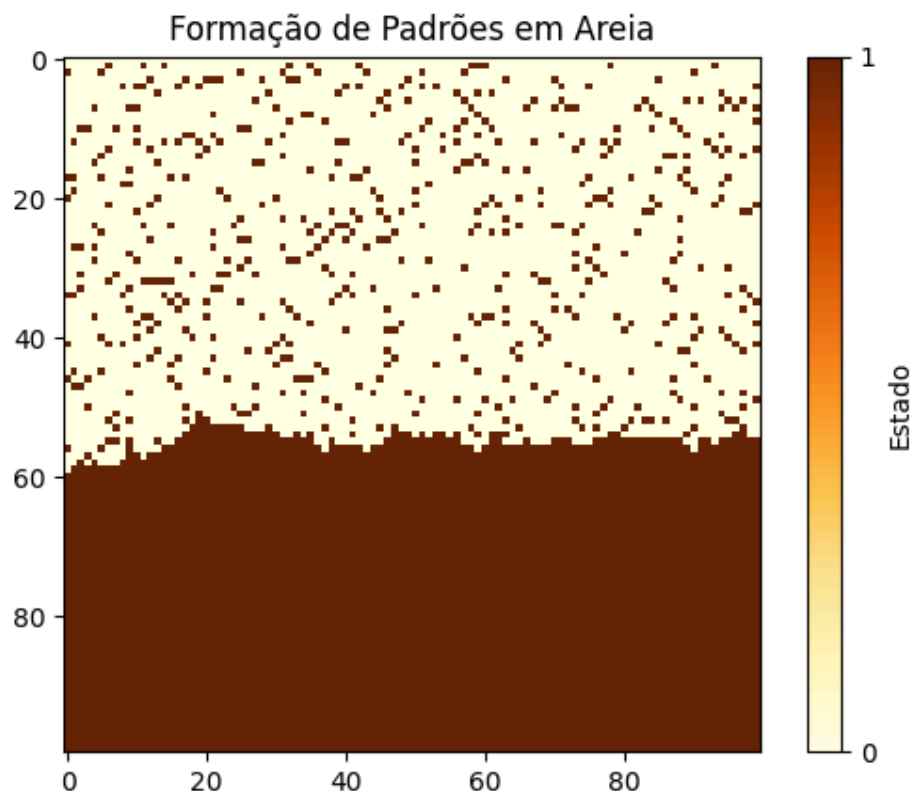
Implementação Computacional

O modelo foi implementado em **Python**, utilizando as bibliotecas **numpy** para manipulação de arrays e **matplotlib** para visualização. A animação é gerada usando a função **FuncAnimation**, permitindo a observação da formação de padrões em tempo real. O código é altamente modular e pode ser facilmente adaptado para incluir novas regras ou variações do modelo.

4. Resultados

Formação de Padrões

O modelo reproduz padrões complexos, como montes e dunas, que emergem a partir das interações locais entre grãos de areia. A Figura mostra um exemplo de simulação, onde a areia se acumula em estruturas que lembram dunas naturais. A altura e a forma dos montes dependem da taxa de adição de areia e das regras de deslizamento.



Influência dos Parâmetros

A taxa de adição de areia e a probabilidade de deslizamento lateral são parâmetros críticos que influenciam a dinâmica do sistema. Taxas mais altas de adição levam à formação de montes mais altos, enquanto probabilidades de deslizamento mais baixas resultam em padrões mais irregulares.

5. Conclusão

O autômato celular proposto é uma ferramenta poderosa para simular a formação de padrões em areia e explorar a dinâmica de sistemas granulares. Sua simplicidade e flexibilidade o tornam adequado para uma ampla gama de aplicações, desde a geofísica até a biologia. Futuros trabalhos podem explorar a inclusão de fatores adicionais, como vento ou diferentes tipos de partículas, para aumentar a precisão e a aplicabilidade do modelo.

Relevância para Sistemas Complexos

O modelo proposto é um exemplo de como regras simples podem gerar comportamentos complexos. Ele ilustra conceitos fundamentais da teoria de sistemas complexos, como emergência, auto-organização e dependência de condições iniciais. Além disso, o modelo pode ser estendido para incluir fatores adicionais, como vento, umidade ou diferentes tipos de partículas, tornando-o uma ferramenta versátil para o estudo de sistemas granulares.

Aplicações Potenciais

1. **Geofísica:** O modelo pode ser usado para simular a formação de dunas e o transporte de sedimentos em ambientes desérticos ou costeiros.
2. **Ciência dos Materiais:** A dinâmica de sistemas granulares é relevante para o estudo de materiais como pós, grãos e coloides.
3. **Biologia:** O modelo pode ser adaptado para simular o crescimento de tecidos ou a formação de biofilmes.

Referências

1. Wolfram, S. (1983). "Statistical mechanics of cellular automata". Reviews of Modern Physics.
2. Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1987). "Self-organized criticality: An explanation of the $1/f$ noise". Physical Review Letters.
3. Kadanoff, L. P. (2000). "Statistical Physics: Statics, Dynamics and Renormalization". World Scientific.
4. Haff, P. K. (1983). "Grain flow as a fluid-mechanical phenomenon". Journal of Fluid Mechanics.