



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Computação Aplicada

**ADRIANO PEREIRA ALMEIDA
HELVÉCIO BEZERRA LEAL NETO**

AN EVACUATION MODEL USING CELLULAR AUTOMATA

ADAPTAÇÃO AUTOMATOS CELULARES COM SOFTWARE TERRAME

São José dos Campos

2019

Sumário

1	INTRODUÇÃO	2
2	MODELO	3
3	RESULTADOS	6
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	9
	REFERÊNCIAS	10

1 Introdução

A necessidade de evacuar locais que oferecem algum risco a integridade de seus ocupantes é fundamental, tomar as medidas corretas podem evitar que vidas sejam perdidas. “A evacuação de emergência é o movimento de pessoas de um lugar potencialmente perigoso para um refúgio seguro, devido a ameaça ou ocorrência de um evento desastroso.”(YUAN; TAN, 2007).

Os trabalhos envolvendo os Autômatos Celulares (AC), vem sendo estudados por (??) quando analisaram a reprodução biológica e crescimento de cristais. O modelo dos AC, consiste em um grade disposta de uma vasta quantidade de células, onde cada uma tem um número finito de estados, o tempo também é discretizado em um número finito de etapas. Os autômatos celulares podem ser definidos como: “Idealizações matemáticas de sistemas físicos, no qual o espaço e o tempo são discretos, e os atributos assumem um conjunto de valores também discretos.” (WOLFRAM, 1983)

Diversos problemas podem ser estudados com o uso dos AC, dentre estes, podemos citar os trabalhos de (YANG et al., 2002), que propuseram um modelo de AC levando em consideração as regras de fluxo de tráfego, e simularam a evacuação dos ocupantes em uma sala em chamas. Um conjunto de regras foi estabelecido, com a utilização de conceitos para graus de perigo, que tornam a escolha da rota de saída a mais conveniente possível.

De acordo com (CARNEIRO, 2012), "um autômato celular é normalmente especificado por uma matriz L de células ci , um conjunto finito de estados Q para cada célula (valores que as células assumem), uma vizinhança finita N e uma função de transição $\delta = Q^N \rightarrow Q$, que denota o estado de uma célula no instante seguinte com base no estado atual da própria célula e das suas células vizinhas".

No trabalho de (YUAN; TAN, 2007), foi proposto um modelo de AC, baseado no comportamento humano para simular um evento de evacuação. Este modelo leva em consideração alguns fatores para descrever o comportamento dos ocupantes da sala caso esta possua múltiplas saídas. Além disso, o modelo incorpora a análise de probabilidade nos movimentos dos ocupantes, pois o comportamento humano em situações de perigo apresentam características já estudadas por diversos autores, tais serão abordadas na próxima seção.

O objetivo deste trabalho, é implementar uma adaptação do modelo de simulação de evacuação proposto no trabalho de (YUAN; TAN, 2007), levando em consideração apenas o seu modelo básico, propondo uma maneira alternativa para abordagem de AC para fenômenos de evacuação de salas. A implementação foi feita utilizando a uma adaptação da linguagem de programação Lua ¹ no ambiente de desenvolvimento TerraME ². Este ambiente possui um conjunto de ferramentas para modelagem dinâmica espacial, dentre as quais, fornecem um vasto suporte para implementação de ACs. Uma de suas características é a utilização de uma extensão da linguagem LUA, junto a um conjunto de funções embutidas para facilitar o desenvolvimento de modelos multi-escala e multi-paradigmas que podem ser executados e analisados diretamente na ferramenta.

¹ Lua - <http://www.lua.org/>

² TerraME - <http://www.terrame.org/doku.php>

2 Modelo

Para simular a evacuação em uma sala ocupada por um número N de pessoas, o modelo faz uma abordagem que utiliza o conceito de AC. Algumas características precisam ser levadas em consideração para aproximar tal modelo a realidade. No trabalho proposto por (Yuan, W, 2007), seu modelo tem como finalidade simular a evacuação de uma sala com múltiplas saídas, e também está disposto como uma grade bi-dimensional, onde cada célula no chão pode ser ocupada por “um” ou “nenhum” ocupante. A regra básica para o modelo deste trabalho, é que cada ocupante tente sair o mais rápido possível da sala e para isso são consideradas as seguintes definições para o AC.

1. Universo: O universo que se deseja simular, é composto por uma matriz bi-dimensional, onde cada elemento dessa matriz é uma célula do AC que pode conter um estado.
2. Indivíduo: Para simular cada elemento no evento de evacuação, utilizamos a nomenclatura "indivíduo", está representa o valor associado a posição e tempo atual de cada célula.
3. Estado Atual: Para definir a posição atual de um individuo dentro do universo simulado, a área que contém as células adjacentes é chamada de vizinhança e seu estado atual. Também pode ser chamado de território dinâmico, pois dependendo do momento, as células podem ter seu estado como vazio ou ocupado.
4. Distância Espacial: A distância geométrica de uma célula em relação a saída, é chamada de rota de saída, e representa a distância de um indivíduo até a saída.
5. Paredes: Assim como cada individuo, as paredes do universo simulado, são os obstáculos que cada individuo vai encontrar dentro do espaço simulado.
6. Saída: A área de saída do modelo de evacuação para este trabalho, consiste em apenas uma célula do AC que serve como marcador de saída, e no passo de tempo que um individuo chegar a sua posição, o mesmo tera seu estado alterado e eliminado da grade geral.

Um autômato celular sendo um modelo dinâmico discreto, muda a cada passo de tempo, alterando o estado de suas células. A mudança de estado de cada célula depende do estado de sua vizinhança (CARNEIRO, 2012). Sendo assim, um autômato celular pode ser caracterizado como um universo a ser simulado representado por um espaço bidimensional. A Figura 1 mostra um exemplo de um modelo para simular a evacuação. Neste exemplo o universo é modelado em uma grade de dimensão 6×6 , onde as células pretas representam as paredes de um confinamento, a célula verde uma porta de saída, a célula azul o indivíduo e as células brancas os espaços vazios.

O indivíduo poderá movimentar-se somente para as suas células adjacentes, levando em consideração a vizinhança de Neumann (NEUMANN, 1966). Para este trabalho, o indivíduo deve escolher uma célula de sua vizinhança para movimentar-se. A célula que deverá ser escolhida deverá ser a que minimize a sua distância até a saída. As Figuras 2 e 3 mostram os melhores caminhos para o indivíduo chegar até a saída.

As regras utilizadas no modelo, são as responsáveis por determinar as condições de cada intervalo de tempo (épocas) para o universo simulado. Tais regras dependem diretamente do estado atual do individuo e de sua vizinhança, as regras tem seu tempo estabelecido como um intervalo de tempo dentro da simulação e dependem da posição atual e seus adjacentes, isto ocorre de forma determinística, pois a partir do estado atual da célula é possível determinar qual será seu próximo estado.

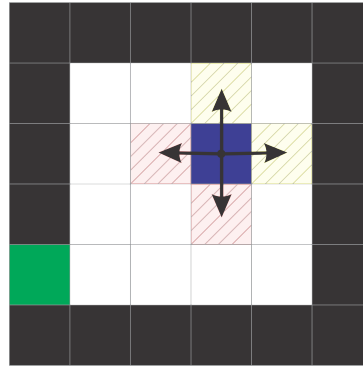


Figura 1 – Exemplo do modelo geral do autômato celular.

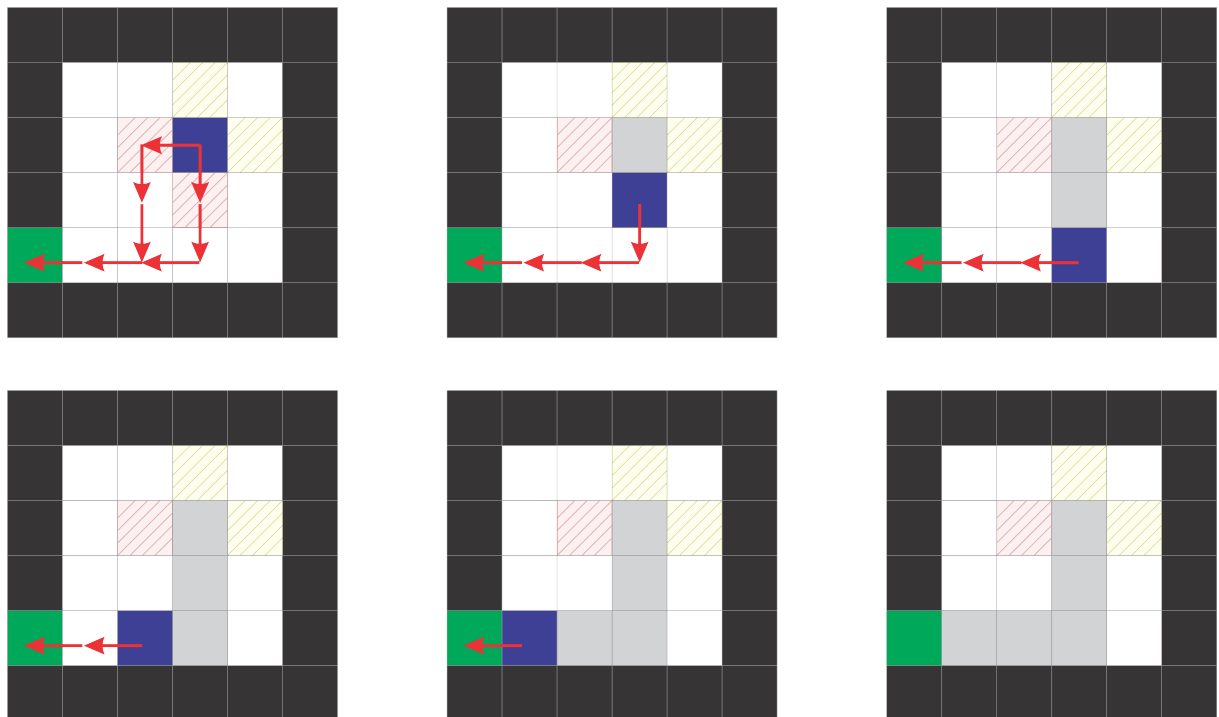


Figura 2 – Percurso do indivíduo pela célula de baixo.

Para cada rodada de tempo da simulação, deve-se notar que o indivíduo pode realizar uma movimentação apenas, dentro da grade bidimensional do universo simulado. Este fluxo é descrito com as seguintes características:

- O momento inicial da simulação, é responsável por gerar tanto um número N de indivíduos no universo de forma aleatória, quanto a posição da porta. Neste tempo inicial, também são criadas células chamadas de paredes, estas estão localizadas apenas nas bordas.
- Cada indivíduo ocupa apenas uma célula em apenas um tempo i de simulação.
- Todos os indivíduos podem escolher apenas um movimento em um tempo de simulação.
- Caso uma célula já esteja ocupada por um indivíduo após o movimento de tempo $t+1$, o ocupante da célula permanece sem movimento, até que a célula esteja com estado vazio.
- A simulação só será finalizada quando todas as células que não sejam paredes estiverem com seu estado definido como vazio.

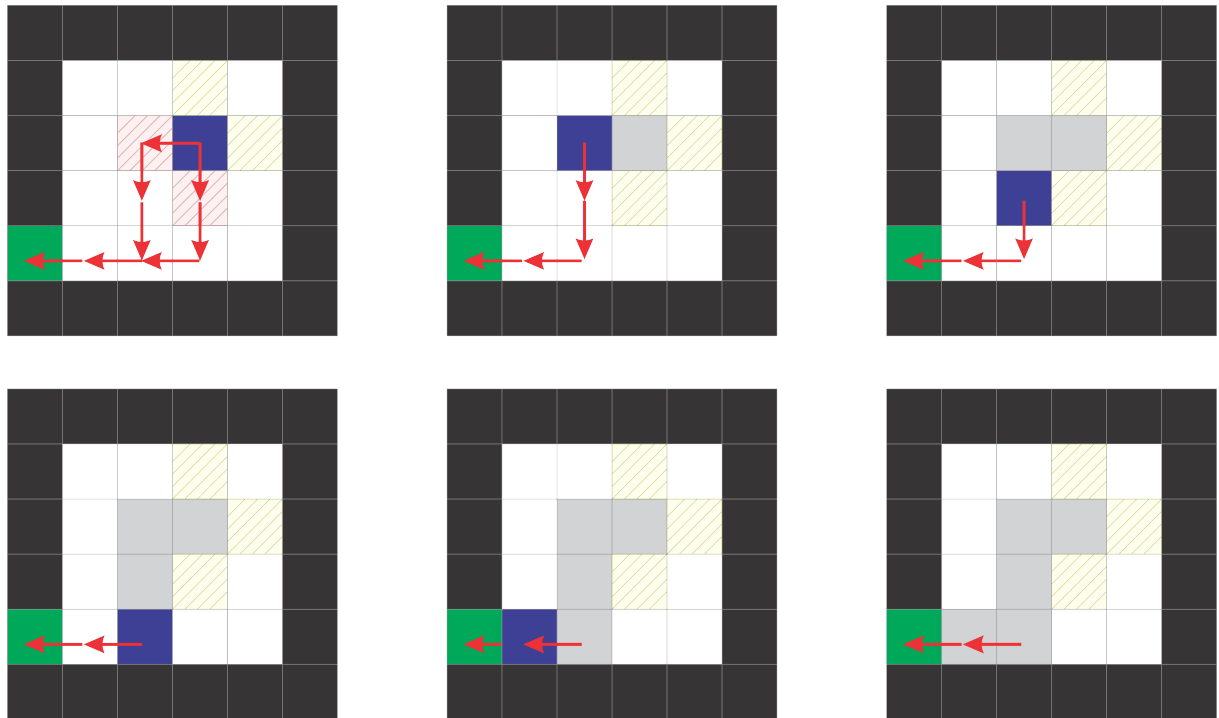


Figura 3 – Percurso do indivíduo pela célula da direita.

Por tanto, estas regras são estabelecidas com a finalidade de visualizar o comportamento dos indivíduos em uma situação de evacuação em uma sala. Assim como as regras para o modelo, também é possível estabelecer um número de indivíduos e o tamanho da sala, estes valores são controlados e podem simular diferentes tipos de cenários para o modelo.

3 Resultados

Com intuito de realizar testes numéricos sobre o modelo, foram feitas diversas simulações que mostram como o comportamento dos indivíduos no universo simulado pelo modelo, se comportam em um evento de evacuação. Para tal experimento, devemos considerar o cada regra do modelo visto no capítulo. Cada época da simulação consiste em um movimento possível de um conjunto de indivíduos em direção a saída. Um determinado número de indivíduos é disposto sobre o universo de maneira aleatória e as regras do modelo são usadas como forma de demonstrar o movimento. Da mesma forma que um AC possui suas regras estabelecidas por estados, no caso da simulação estas definições podem ser dadas pelo conjunto de regras para o modelo.

Exemplo 01: Considerando um número $N=250$ de indivíduos, e a dimensão do universo dada por uma matriz $A=51 \times 51$, temos que, no primeiro momento da simulação Figura 4, o universo de simulação é criado com os indivíduos (Azul) dispostos de maneira aleatória no interior do universo, as bordas (Preto) correspondendo as extremidades da matriz A e uma porta (Verde) que também foi gerada de maneira aleatória.

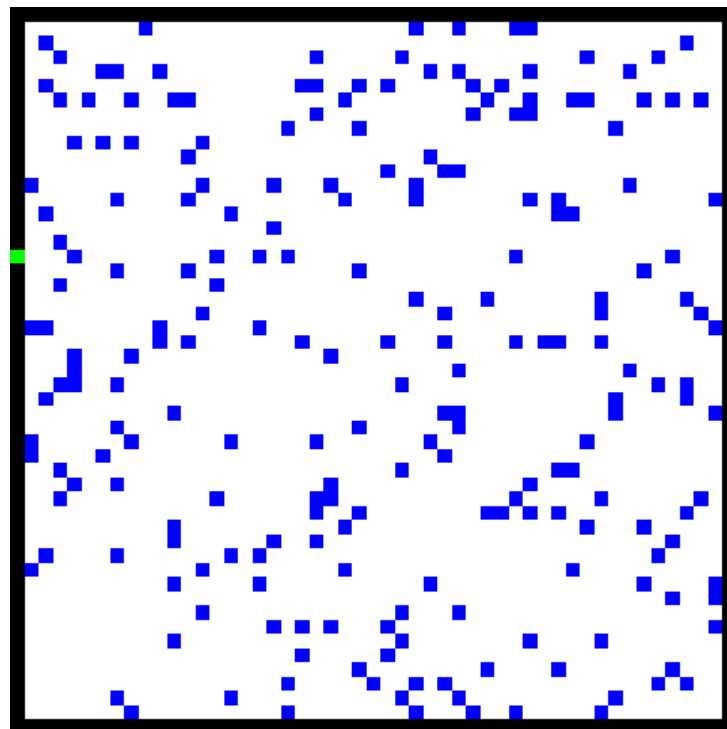


Figura 4 – Estado inicial do universo, momento em que os indivíduos, porta e parede são gerados.

A partir do segundo momento, os indivíduos começam a sequência de movimentação, onde as regras do modelo vão descrever o comportamento dos indivíduos. Cada um dos pontos seleciona uma rota com destino a porta, depois realiza comparações para que a movimentação seja feita. Vale ressaltar que no momento em que os indivíduos cruzam as coordenadas onde a porta foi criada, o estado do mesmo é alterado para um valor equivalente a de uma célula vazia.

Na figura 5, podemos notar que os indivíduos começam a se agrupar pois a sua rota até a saída é a mesma, ou seja, é necessário que as regras para movimento estejam bem definidas para que

não haja sobreposição dos mesmos (dois indivíduos com a mesma coordenada).

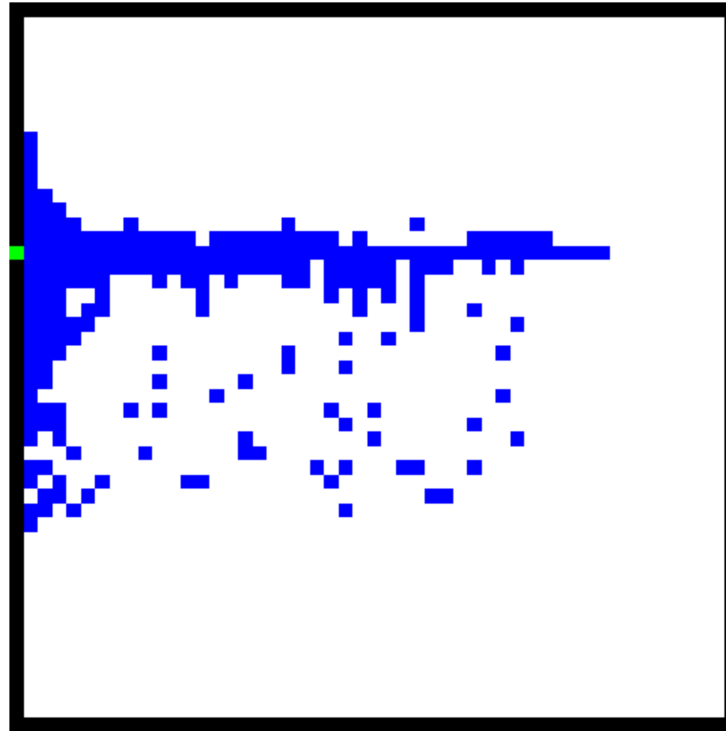


Figura 5 – Agrupamento dos 250 indivíduos momentos seguintes aos seus movimentos pós seleção de rota.

Vale re-saltar que de acordo com as regras, os indivíduos que chegarem até a coordenada teriam seus estados alterados de forma individual, pois o tamanho da célula que corresponde a porta é equivalente a dos indivíduos, ou seja, apenas um elemento pode cruzar esse ponto por época.

Exemplo 02

Ajustando o número de indivíduos para $N=50$, para o mesmo universo, temos um comportamento diferente do exemplo anterior, teremos menos restrição de movimento para cada indivíduo e o número de épocas também tende a diminuir, na figura 6 podemos ver como os indivíduos são distribuídos dentro do universo no momento da sua inicialização.

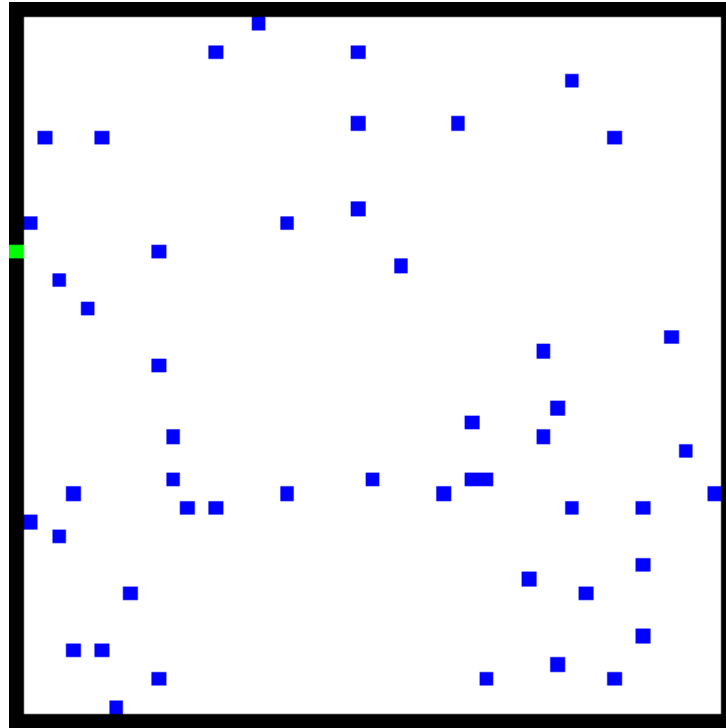


Figura 6 – Estado inicial do universo, momento em que os indivíduos, porta e parede são gerados para o exemplo 02.

Após iniciar a simulação dos modelos nos exemplos apresentados, notamos que o comportamento dos indivíduos no universo é diferente em cada um dos exemplos, apresenta características distintas quando comparados um ao outro, isso ocorre pois o número de movimentos de um indivíduo está relacionado com a quantidade de obstáculos que o mesmo pode encontrar no percurso até a saída.

4 Considerações Finais

A adaptação do modelo proposto por (YUAN; TAN, 2007) foi o objetivo principal deste trabalho, as regras apresentadas pelos autores, possibilitou o desenvolvimento de um modelo básico utilizando a ferramenta TerraME. Os desafios para adaptar as ideias de simulação foram bastante significativos, pois a plataforma utilizada neste trabalho é voltada para modelos geográficos. Porém, foram obtidos resultados que apresentam uma boa similaridade com os AC da simulação de (YUAN; TAN, 2007). Para trabalhos futuros, esperamos consolidar este modelo e aproximar cada vez mais as propostas de simulação de evacuações, assim como trabalhar o comportamento dos indivíduos usando métricas que denotam o comportamento humano em situações de evacuação de emergência.

Referências

CARNEIRO, L. d. O. *Simulação de Evacuação de Multidão por Autômato Celular-Estudo de Caso em um Estádio de Futebol. 2012. 90 f.* 2012. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado)-Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal . . . , 2012. Citado nas páginas 2 e 3.

NEUMANN, J. V. *Theory of Self-Reproducing Automata*. Champaign, IL, USA: University of Illinois Press, 1966. Citado na página 3.

WOLFRAM, S. Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of Modern Physics*, v. 55, n. 3, p. 601–644, 1983. ISSN 00346861. Citado na página 2.

YANG, L. et al. Occupant evacuation model based on cellular automata in fire. *Chinese Science Bulletin*, Springer, v. 47, n. 17, p. 1484, 2002. Citado na página 2.

YUAN, W. F.; TAN, K. H. An evacuation model using cellular automata. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 384, n. 2, p. 549–566, 2007. ISSN 03784371. Citado nas páginas 2 e 9.