



Autômatos celulares: Conceitos e aplicações em sistemas complexos na natureza

O que é um autômato celular ?

- Autômatos celulares são modelos de sistemas dinâmicos discretos e computacionais
- Um autômato celular consiste em uma grade regular de células com propriedades parecidas, mudando de estado conforme regras estabelecidas em um tempo discreto
- Podemos fazer a analogia com um incêndio florestal

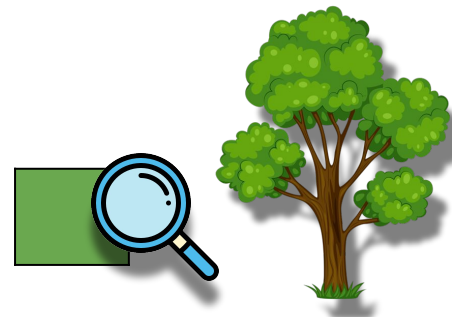
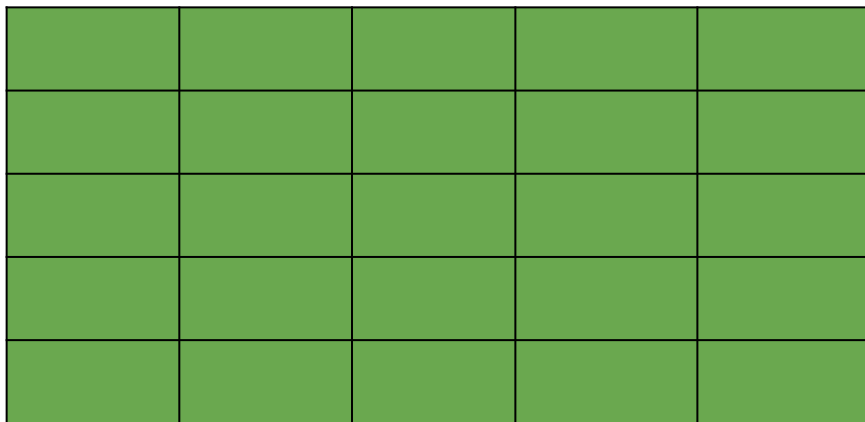
O que é um autômato celular ?



Exemplificando um autômato celular

Podemos transformar em uma área regular bidimensional

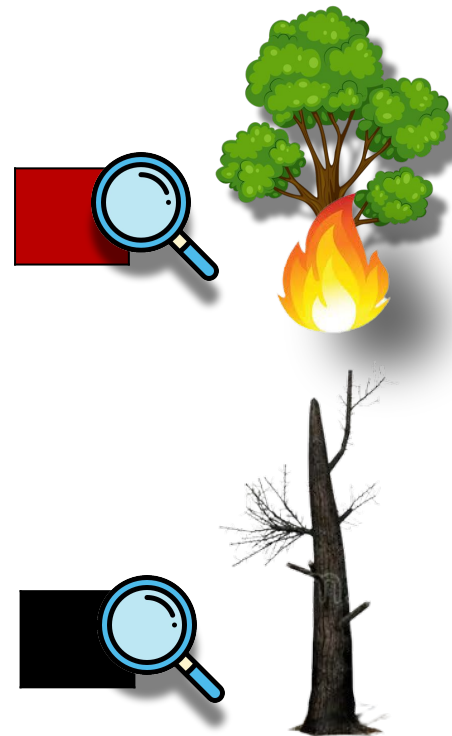
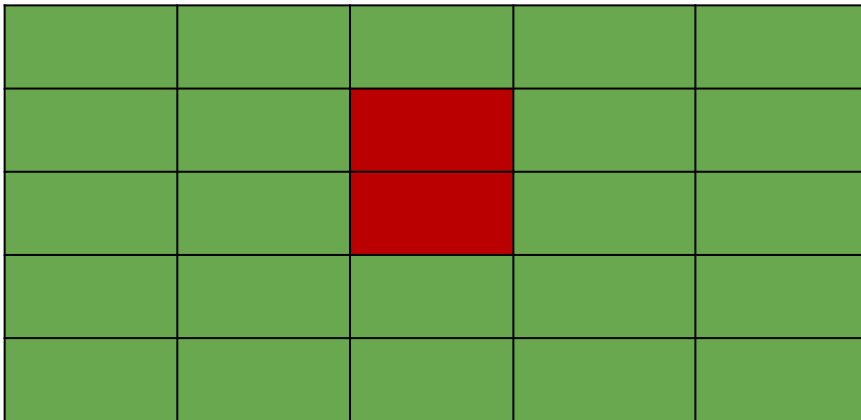
Cada célula apresenta uma árvore



Exemplificando um autômato celular

Caso um incêndio aconteça, sabemos o comportamento da árvore incendiada e de seus vizinhos

$t = 0$



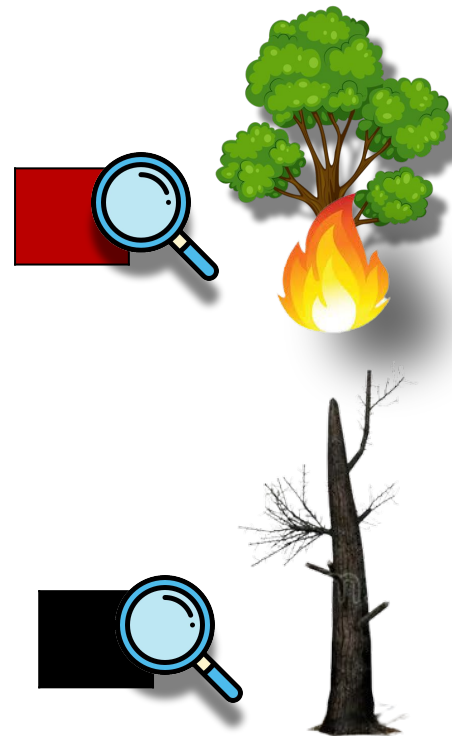
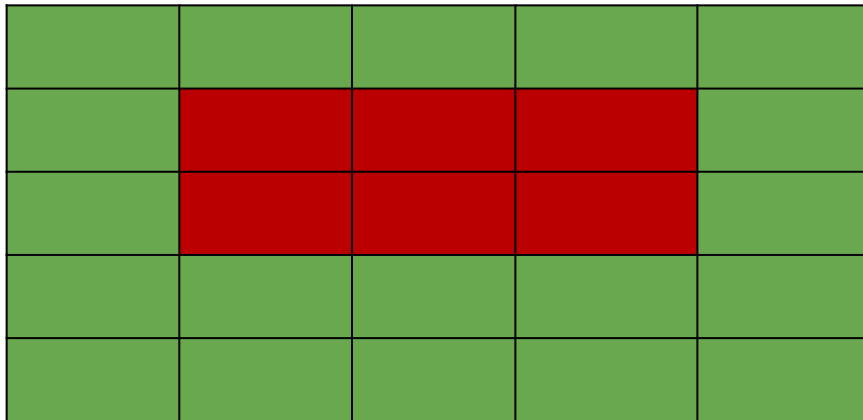
Exemplificando um autômato celular

Regras:

Caso 1 célula seja cercada por 2 a 3 incendiadas, ela começara incendiar também

Caso 1 célula seja cercada por 4 a 8 ela queimará por completo

$t = 1$



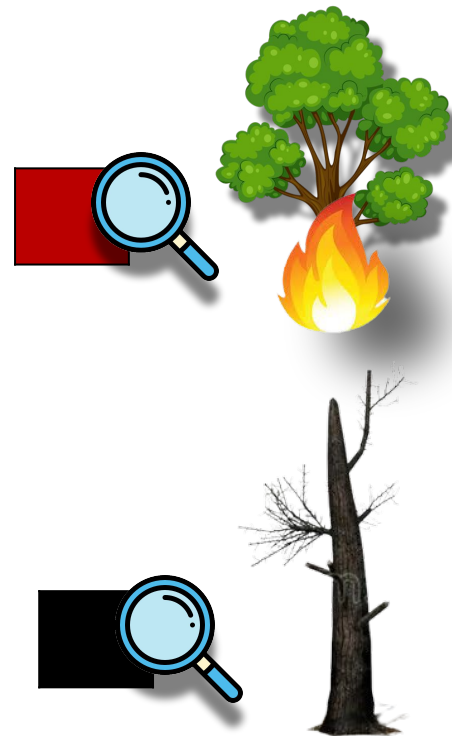
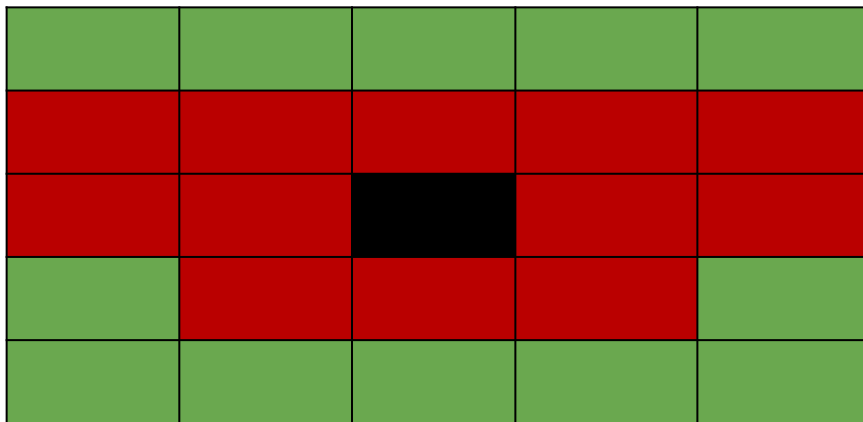
Exemplificando um autômato celular

Regras:

Caso 1 célula seja cercada por 2 a 3 incendiadas, ela começara incendiar também

Caso 1 célula seja cercada por 4 a 8 ela queimará por completo

$t = 2$



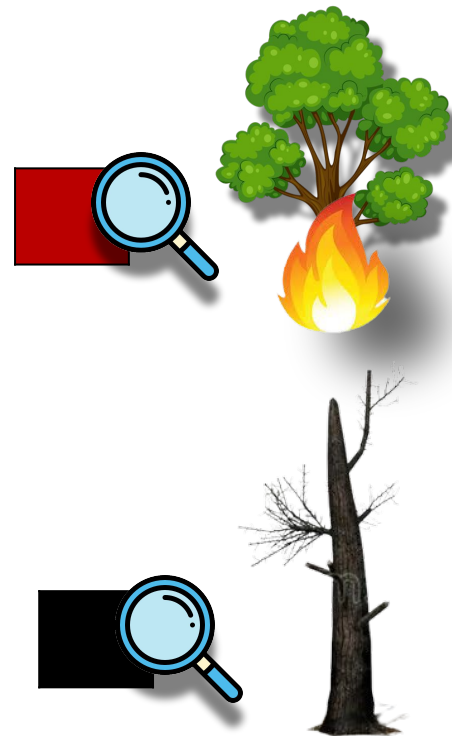
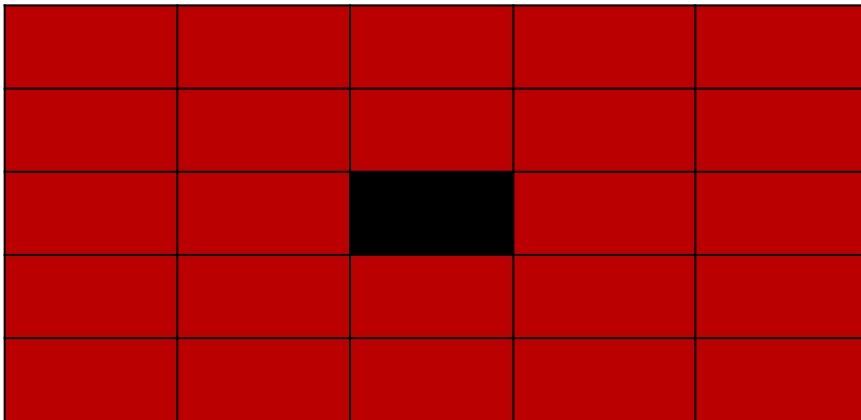
Exemplificando um autômato celular

Regras:

Caso 1 célula seja cercada por 2 a 3 incendiadas, ela começara incendiar também

Caso 1 célula seja cercada por 4 a 8 ela queimará por completo

$t = 3$



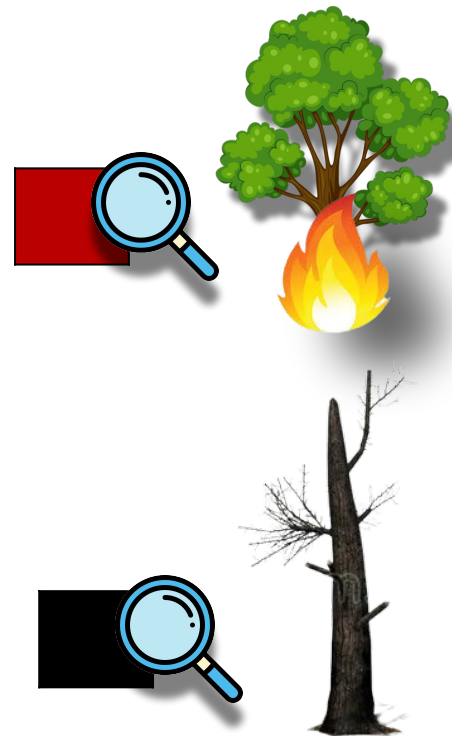
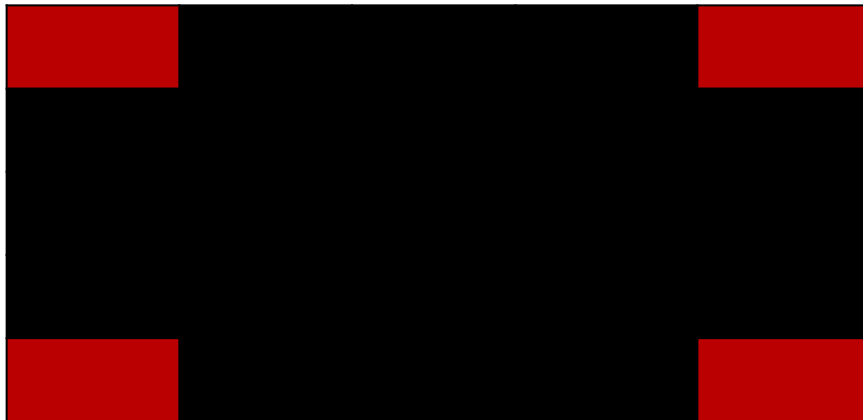
Exemplificando um autômato celular

Regras:

Caso 1 célula seja cercada por 2 a 3 incendiadas, ela começara incendiar também

Caso 1 célula seja cercada por 4 a 8 ela queimará por completo

$t = 4$



Definição formal

- Autômatos celulares são definidos como uma 5-tupla:
- $A = (R, S, S_0, V, F)$
 - R = grade de células
 - S = conjunto de estados possíveis de uma célula
 - S_0 = estado inicial do sistema
 - V = define quais células são vizinhas
 - F = transições (regras do sistema)

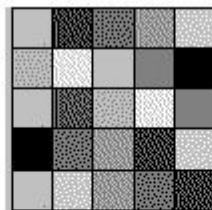
Classificações

- Classe 1: Uniformidade
- Classe 2: Repetição
- Classe 3: Aleatoriedade
- Classe 4: Complexidade

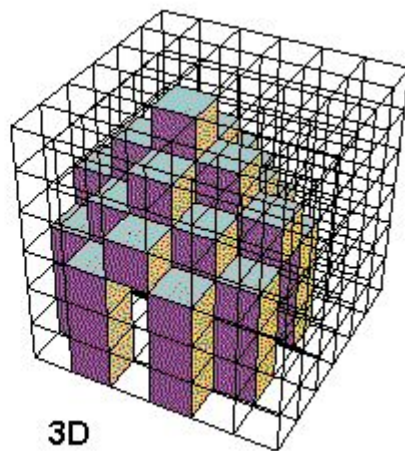
Dimensões



1D



2D

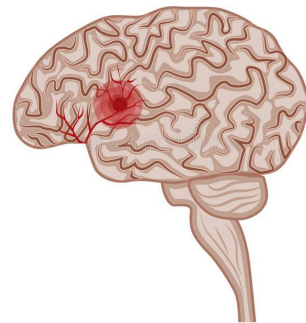


3D

...

Aplicações

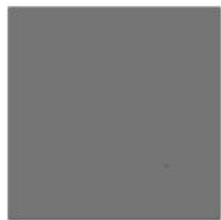
- Simular diferentes tipos de aplicações na biologia evolutiva
- Dinâmica das reações químicas
- Sistemas dinâmicos da física
- Comportamento de mercados
- Entre outros funcionamentos de sistemas complexos



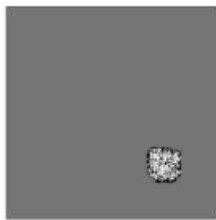
Aplicações

- Artigo publicado por Melotti
- Simula 8 diferentes cenários de uma epidemia
- Diferentes variáveis (cenário 2 com a variável vacina)

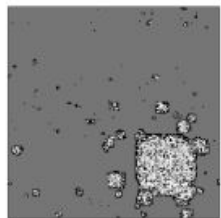
1º Cenário



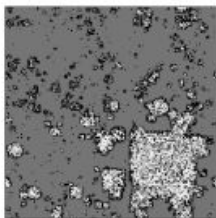
(a) $t=0$



(b) $t=16$

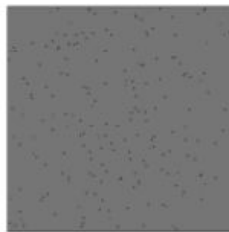


(c) $t=29$

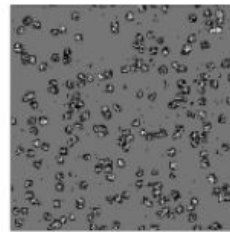


(d) $t=32$

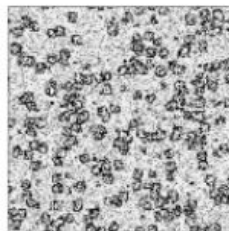
2º Cenário



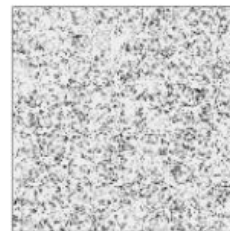
(a) $t=0$



(b) $t=3$



(c) $t=4$



(d) $t=8$

Aplicações

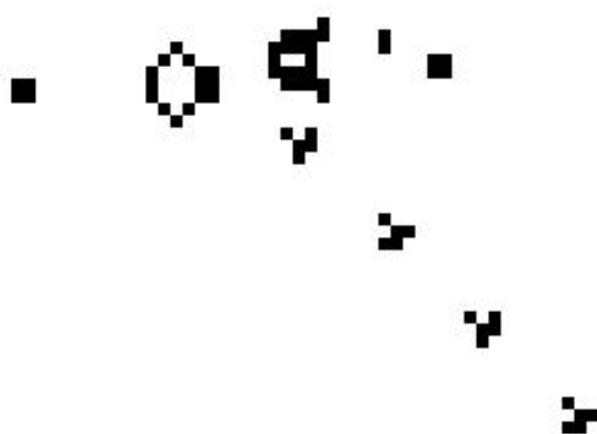
- Trabalho: artigo publicado por Sree e Babu (2014)
- Previsão de estruturas de proteínas
- Previsão de regiões de DNA/RNA



```
GGTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTATGCATAGACTTATATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GCTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTATGCATAGACTTATATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTATGCATAGACTTATATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTATGCATAGACTTATATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTATGCATAGACTTATATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTATGCATAGACTTATATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTATGCATAGACTTATATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCATAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATGATCCCG
TTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCATAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCATAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATGATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCATAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCATAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCACAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCATAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATGATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCACAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
GTTCCACAGTTGAGCTGTGGTATTTTACGCATAGACTTGCATATCCGCCCTACTCACCCCTTTACGCCCAATAATCCCG
```

Conway's Game of Life (Jogo da Vida)

- Exemplo mais famoso de autômato celular
- Criado por John Conway em 1970
- Regras simples, sistemas complexos

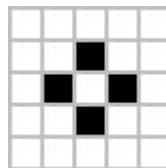
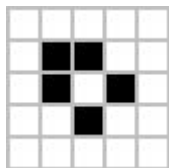
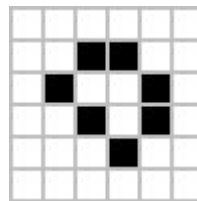
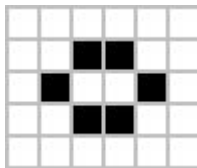
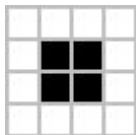


Jogo da Vida - Regras

- Uma célula viva com 2-3 vizinhos permanece viva
- Uma célula viva com 1-0 vizinhos morre (isolamento)
- Uma célula viva com 4+ vizinhos morre (superlotação)
- Uma célula morta com exatamente 3 vizinhos se torna viva (nascimento)

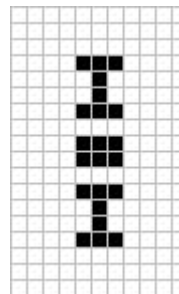
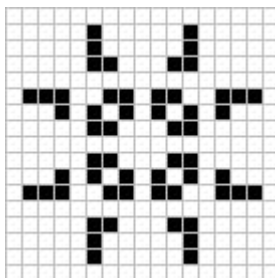
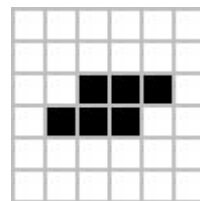
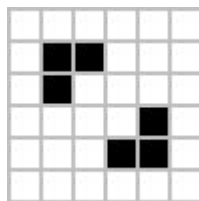
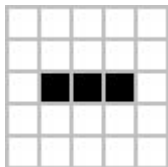
Jogo da Vida - Estruturas

- Estáveis



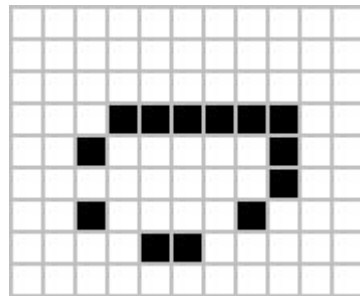
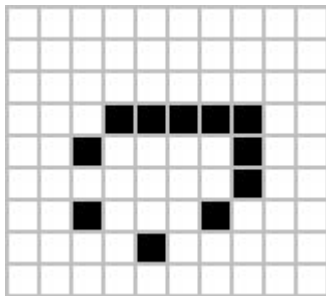
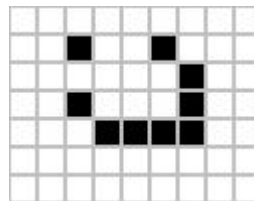
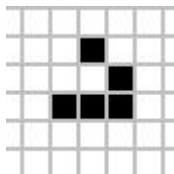
Jogo da Vida - Estruturas

- Oscilantes

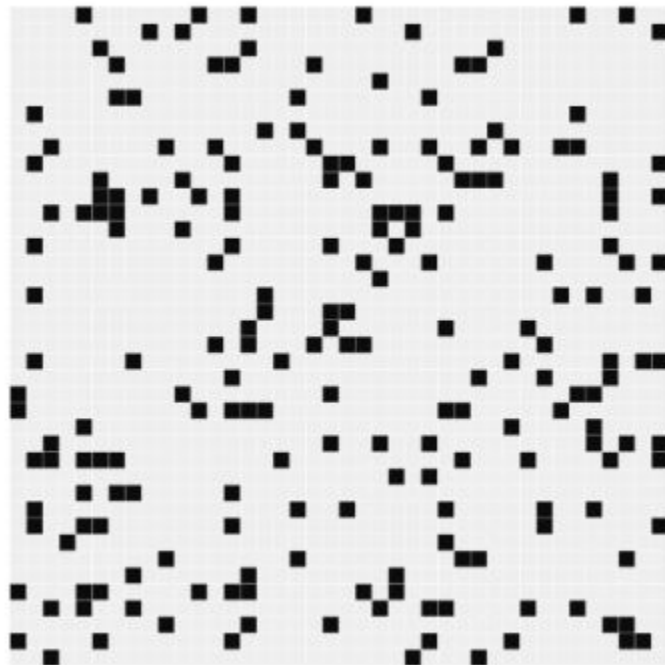


Jogo da Vida - Estruturas

- Naves

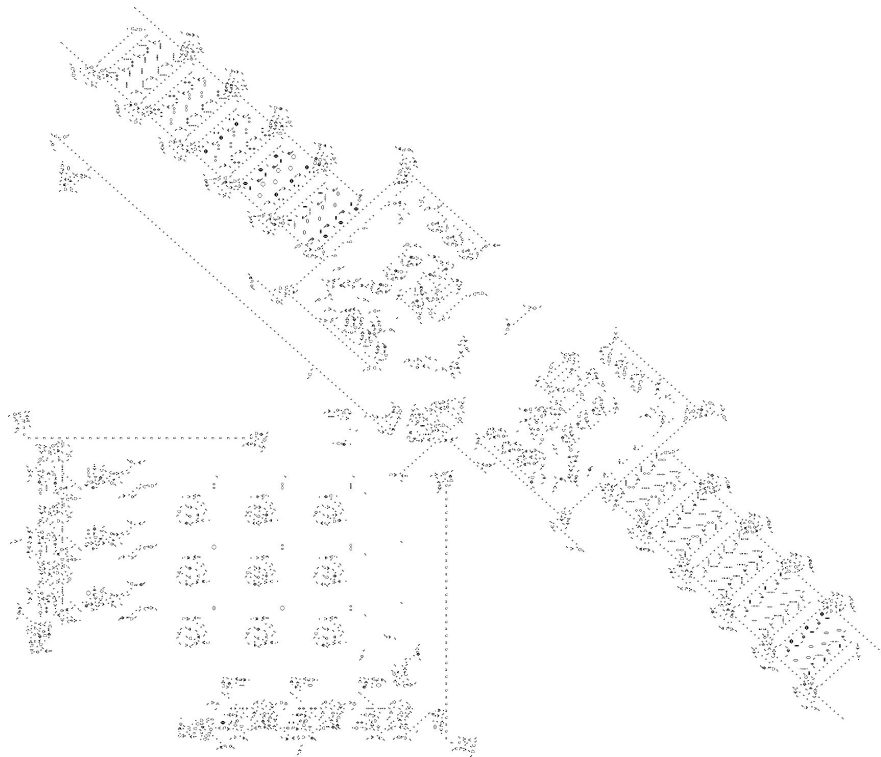


Jogo da Vida - Epidemia zumbi



Jogo da Vida

- Comprovado a ser Turing completo
- Máquina de Turing criada por Rendell em 2000



Referências

- Gardner, M. (1970). Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". Scientific American, 223.
- Johnston, N. and Greene, D. (2022). Conway's Game of Life: Mathematics and Construction.
- Melotti, G. (2009). Aplicação de autômatos celulares em sistemas complexos: Um estudo de caso em espalhamento de epidemias.
- Rendell, P. (2015). A turing machine in conway's game of life, extendable to a universal turing machine. <http://rendellattic.org/gol/tm.htm>. Accessed: 2022-07-22.
- Rui, D. (1992). Autômatos celulares, máquinas de turing ou a natureza como máquina de cálculo.
- Savage, J. E. (1998). Models of Computation: Exploring the Power of Computing. Brown University.
- Sree, P. K. and Babu, I. R. (2014). Cellular automata and its applications in bioinformatics: A review. Global Perspectives on Artificial Intelligence, 2.
- Toffoli, T. and Margolus, N. (1987). Cellular Automata Machines: A new environment for modeling. The MIT Press.
- Wolfram, S. (2002). A New Kind of Science. Wolfram Media.



Dúvidas?