

IM-1812 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE FENÔMENOS URBANOS

Marcelo Zamith

e-mail:zamith.marcelo@gmail.com

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - DCC

Roteiro

Introdução

Geoprocessamento

Formato dos arquivos

Mapas

Geopandas

Introdução

“The Machine that Changed the World: Inventing the Future”

Introdução

- auto-organização em grupos
 - ▶ condição financeira
 - ▶ nível de escolaridade
 - ▶ aspectos raciais e religiosos
- interação entre indivíduos e entre os grupos
- modelos de simulação - imitação de fenômenos reais
 - ▶ compreensão fenômenos
 - ▶ previsão

Estudo de modelos matemáticos empregados em simulação urbana

Introdução

O que é simulação ?

Introdução

O que é simulação ?

- “*Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo*”, Schriber [1974].

Introdução

O que é simulação ?

- “*Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo*”, Schriber [1974].
- “*Simulação é o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação*”, Pegden [1991].

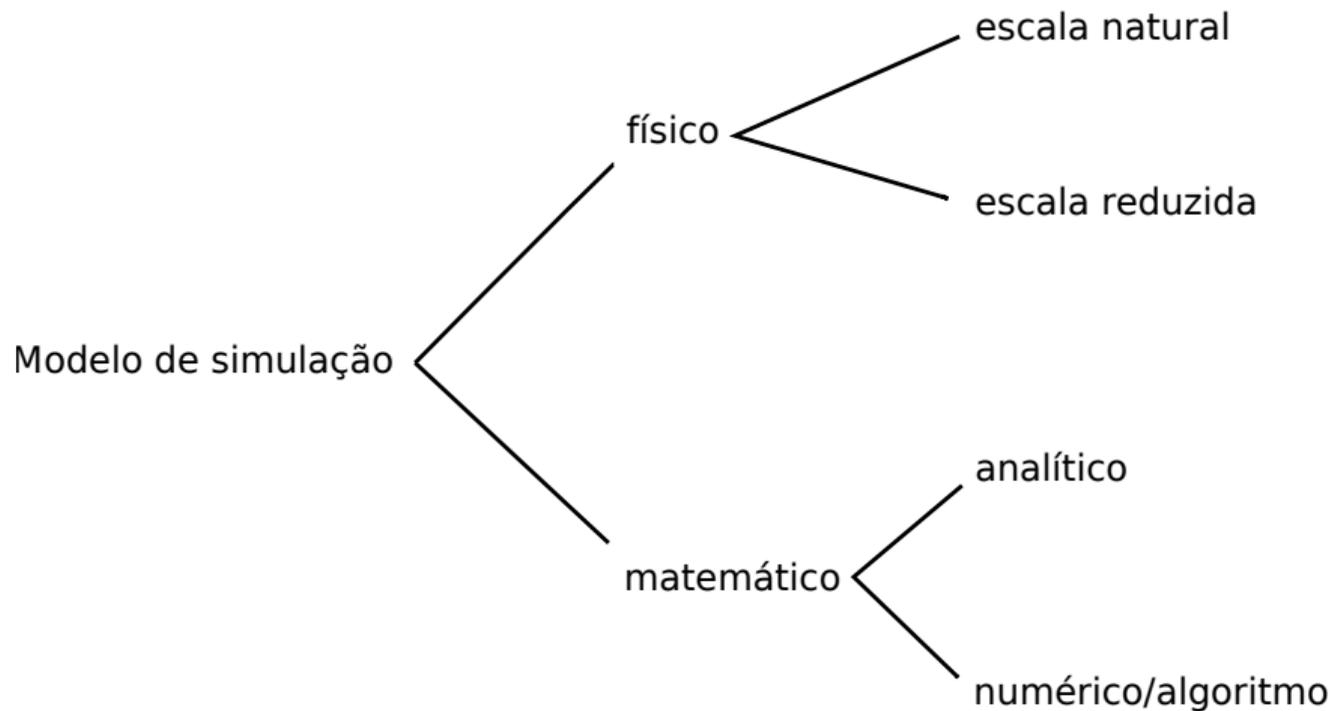
Introdução

- Simulação é o processo de:
 1. projetar um modelo de um sistema real e
 2. conduzir experimentos com este modelo.
 - Compreender o comportamento do sistema.
 - Avaliar estratégias para a operação sobre o sistema.

Introdução

- Quando usar simulação ?
 1. quando o sistema não existe ou não é conhecido.
 2. quando a experimentação com o sistema real é impossível.
 3. quando experimentação com o sistema real é indesejável.
 4. para compressão ou expansão da escala de tempo do sistema.
 5. para avaliação do desempenho de sistemas.
 6. para treinamento e instrução.

Introdução



Introdução

- Modelo discreto
 - ▶ discretização do espaço e o tempo
- Modelo:
 - ▶ Estocástico \times determinístico

Introdução

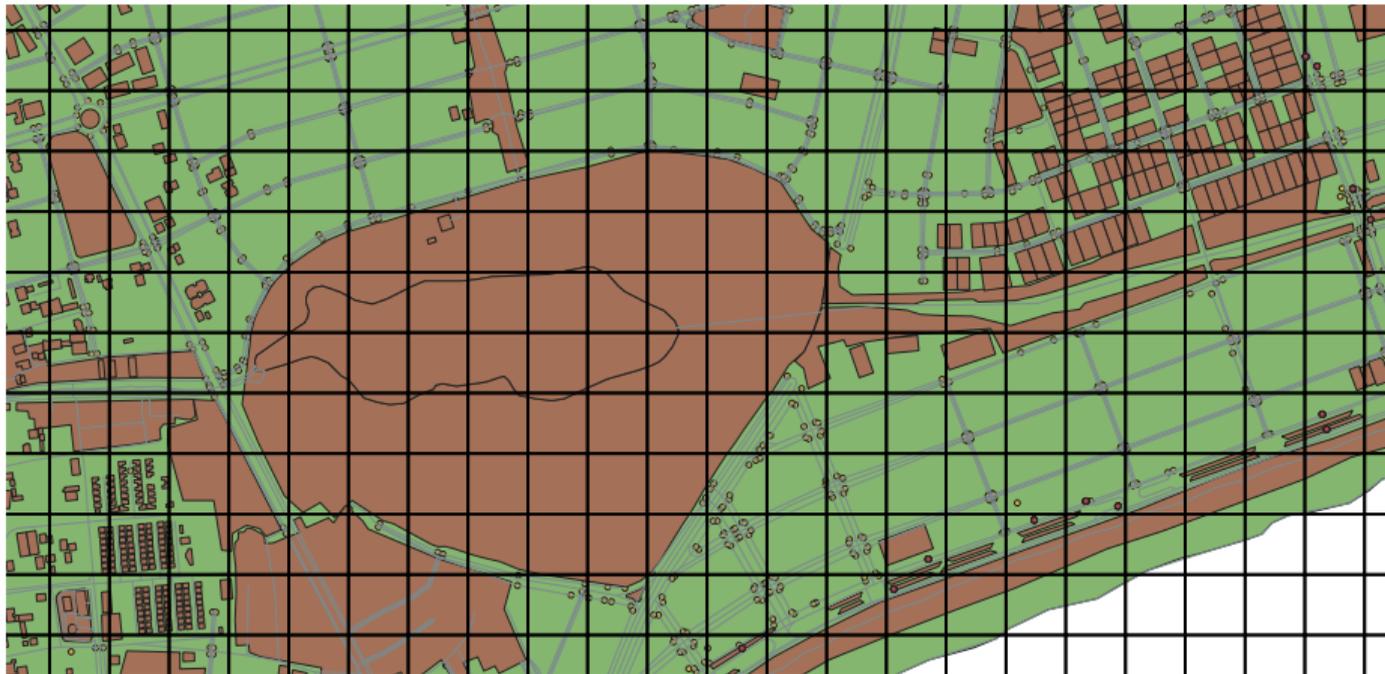
- Discretização do espaço



Região do Parque Chico Mendes

Introdução

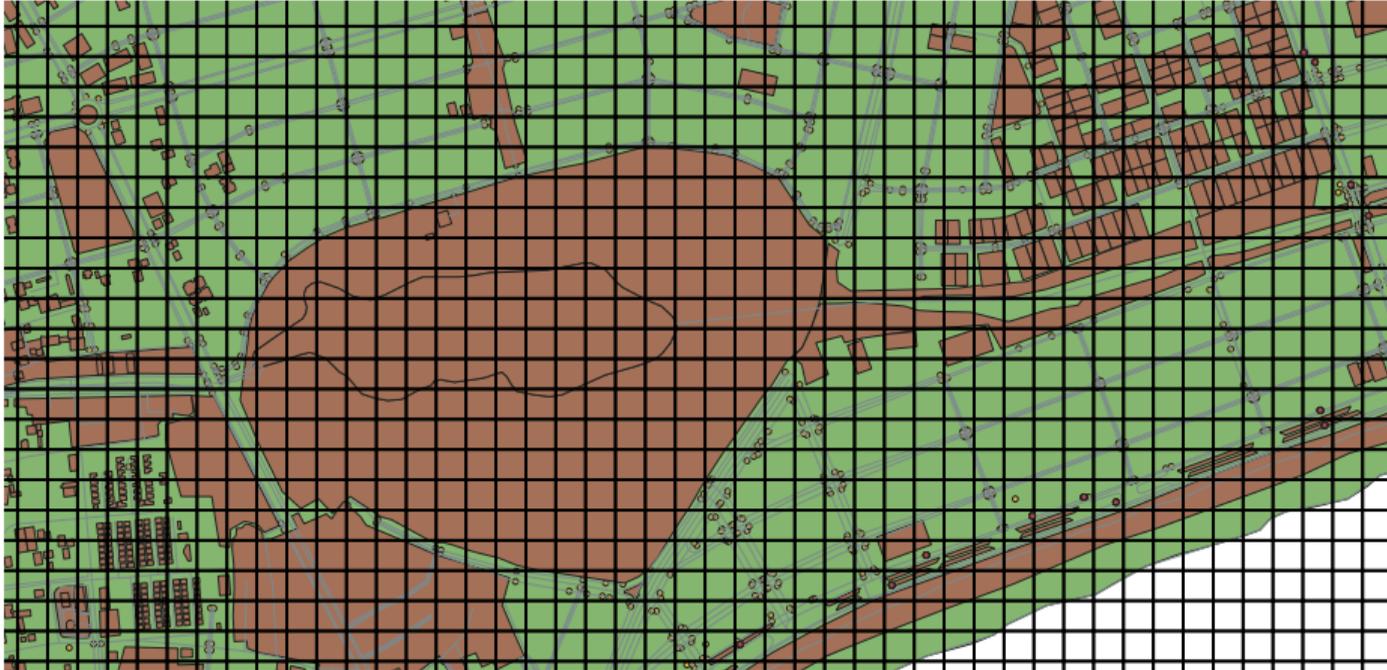
- Discretização do espaço



Região do Parque Chico Mendes - 100m

Introdução

- Discretização do espaço



Região do Parque Chico Mendes - 50 m

Introdução

- Ambientes de Simulação
 - ▶ Descrição do modelo, controle da simulação e coleta / visualização de estatísticas.
- Geração de números aleatórios.
- Entrada de dados e saída (relatórios e visualização).

Introdução

Sistemas dinâmicos × Sistemas

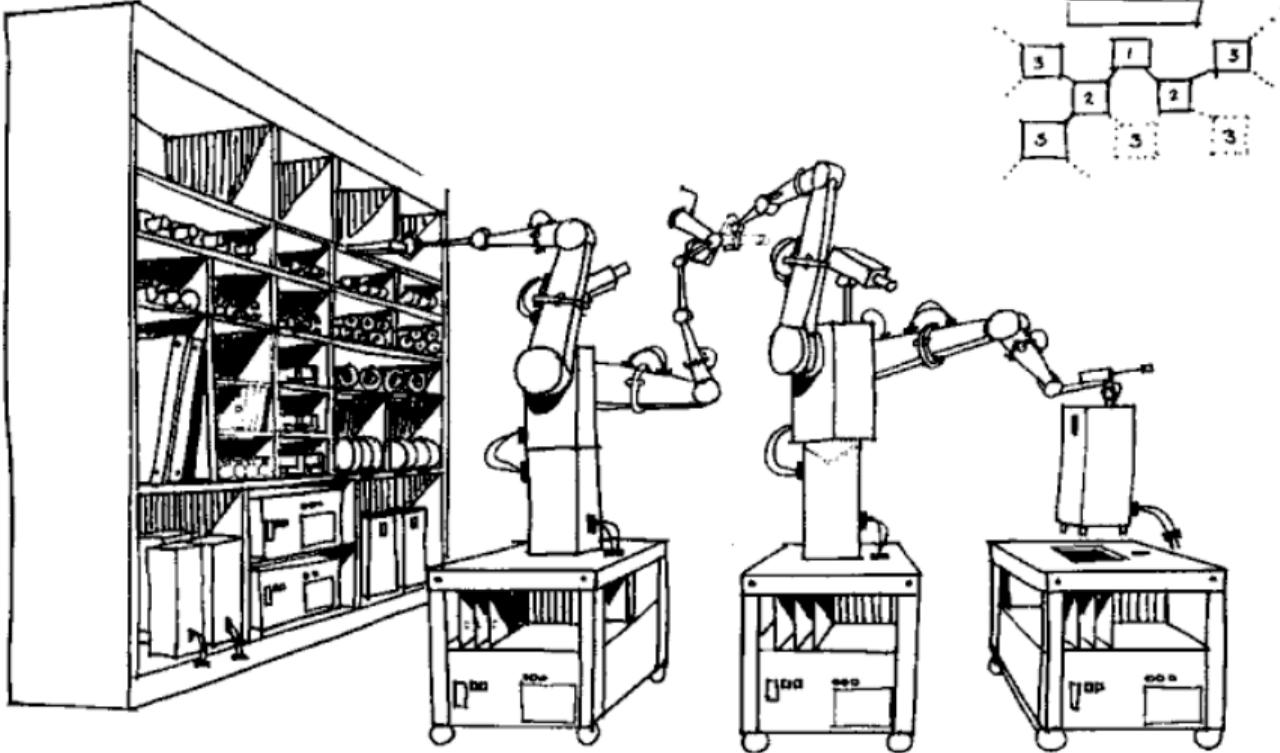
Autômato Celular

Autômato Celular

- Idealizado pelo matemático Húngaro chamado John von Neumann.
- Proposta de um modelo baseado na ideia de um sistema lógico autoreplicante.
- Em Inglês:
 - ▶ *Cellular Automata*
 - ▶ *Cellular Automaton*



Autômato Celular



Conceitos básicos

- O que é um Autômato Celular (AC) ?
 - ▶ É uma técnica matemática que trabalha com variáveis discretas.
- Para que serve ?
 - ▶ Serve para representar sistemas **complexos** e **dinâmicos**.

Conceitos básicos

Definição:

AC é composto por uma grade regular de células, que evoluem a cada passo de tempo discreto, com o valor da variável que se deseja calcular, sendo a variável de interesse da célula determinada pelos valores das variáveis nas células vizinhas. As variáveis em cada célula são, de forma geral, atualizadas simultaneamente com base nos valores das variáveis da sua vizinhança no passo de tempo anterior e de acordo com um conjunto de regras locais.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.
- As células possuem uma quantidade finita de estados que podem assumir.

Conceitos básicos

- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.
- As células possuem uma quantidade finita de estados que podem assumir.
- Cada célula muda seu estado de acordo com estado células vizinhas e uma função de transição.
- Assim,

Conceitos básicos

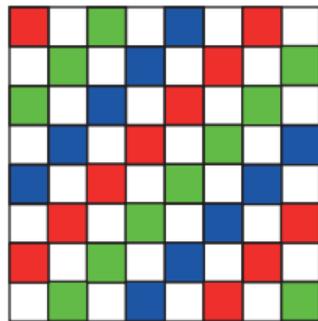
- Máquina de estados finito.
- Domínio discretizado em células compondo um grade regular.
- As células possuem uma quantidade finita de estados que podem assumir.
- Cada célula muda seu estado de acordo com estado células vizinhas e uma função de transição.
- Assim, o AC é definido por um conjunto $(L, S, N$ e $f)$, onde:
 - ▶ L , representa a discretização em uma grade regular, formada por células (c) de dimensão espacial D ;
 - ▶ S é o conjunto finito de estados que a célula pode assumir;
 - ▶ N é a vizinhança adotada, tal que $c \in L \Rightarrow N(c) \in L$, e,
 - ▶ $f : (S, N) \rightarrow S$ é a função de transição.

Conceitos básicos

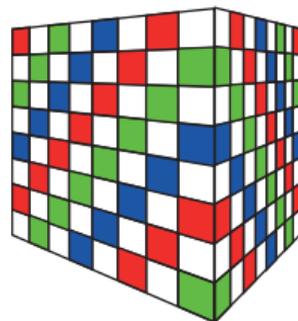
- Dimensões: ($1D$, $2D$ e $3D$)

Conceitos básicos

- Dimensões: ($1D$, $2D$ e $3D$)



2D



3D



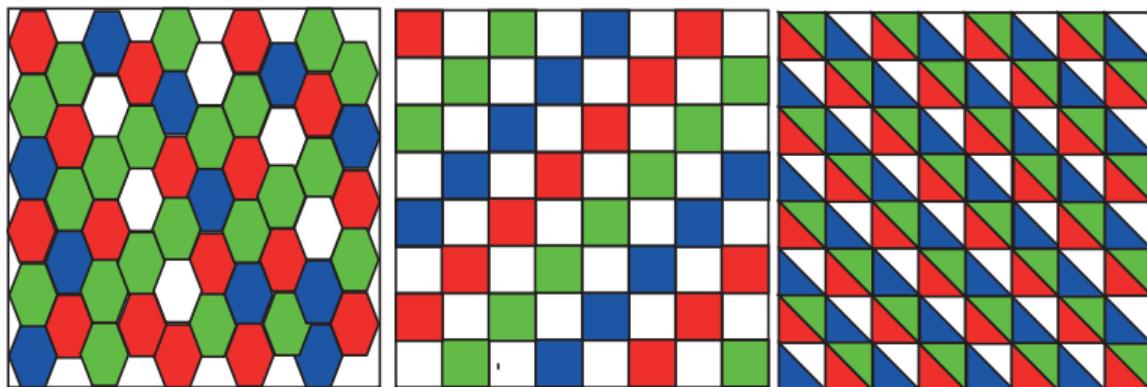
1D

Conceitos básicos

- Topologia da malha:

Conceitos básicos

- Topologia da malha:

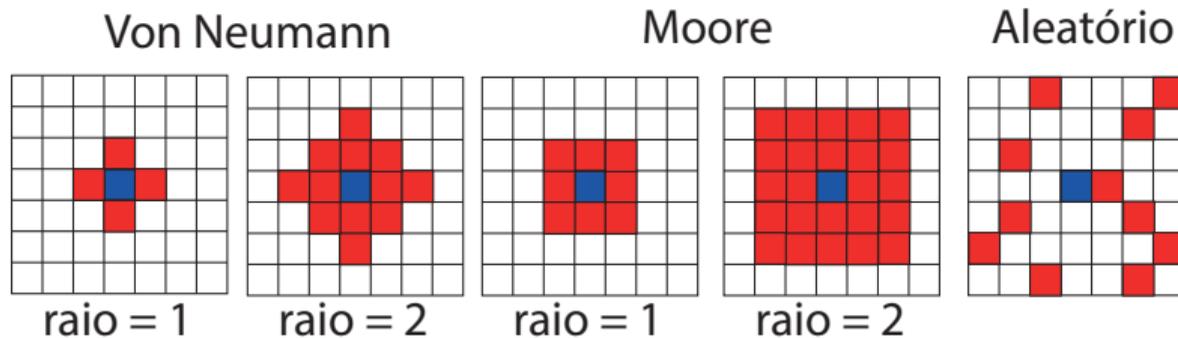


Conceitos básicos

- Vizinhança e área de influência:

Conceitos básicos

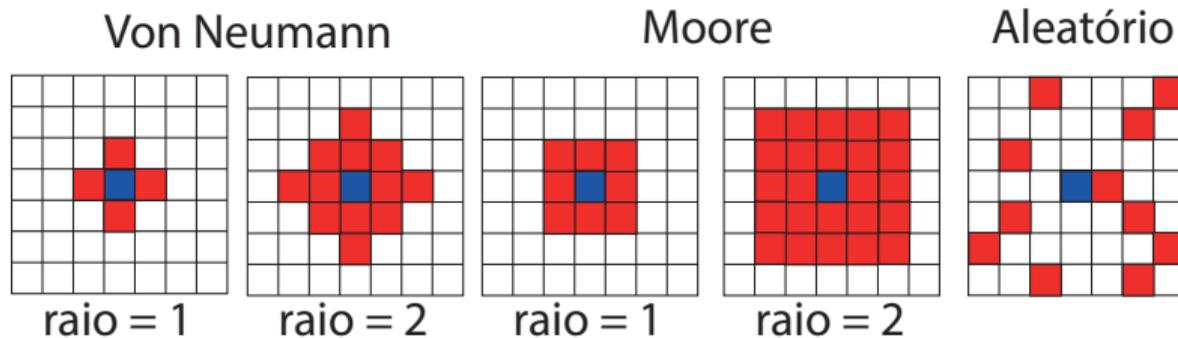
- Vizinhança e área de influência:



- Logo, dado uma célula c e um raio r , o conjunto de vizinhos é definido como:

Conceitos básicos

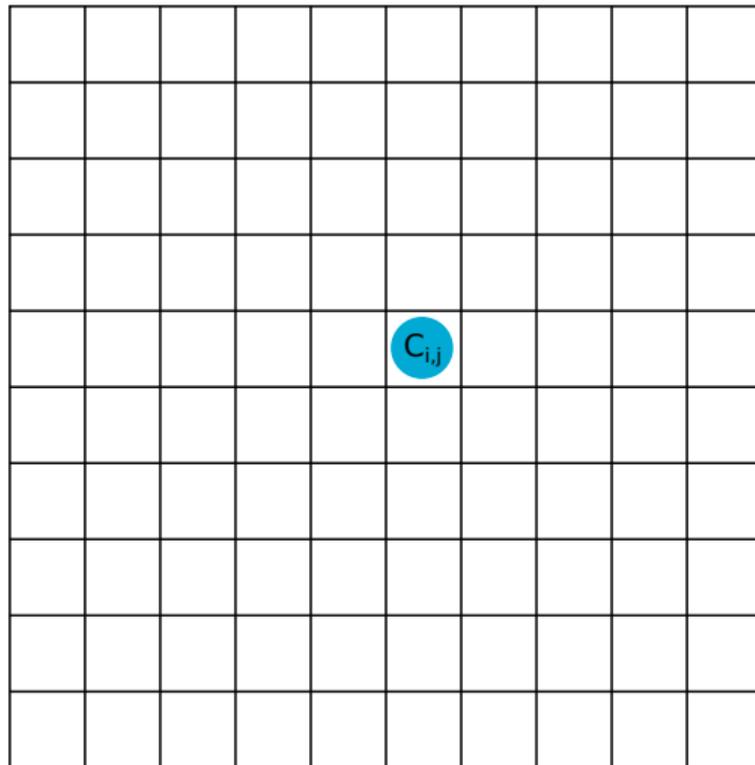
- Vizinhança e área de influência:



- Logo, dado uma célula c e um raio r , o conjunto de vizinhos é definido como:

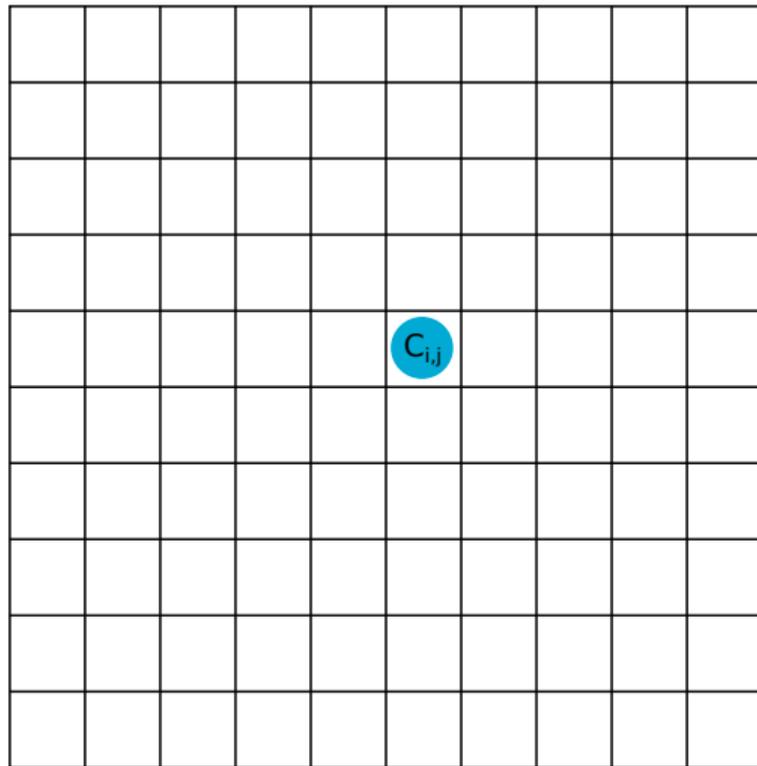
$$N(c) = \{r \in L; (c + r) \in L\}$$

Conceitos básicos



					$C_{i,j}$				

Conceitos básicos



Qual o valor de $C_{i,j}$?

Conceitos básicos

Qual o valor de $C_{i,j}$?

$$C_{i,j}^t \leftarrow f \left(C_{i,j}^{t-1}, C_{i-1,j}^{t-1}, C_{i+1,j}^{t-1}, C_{i-1,j+1}^{t-1}, C_{i,j+1}^{t-1}, C_{i+1,j+1}^{t-1}, C_{i-1,j-1}^{t-1}, C_{i,j-1}^{t-1}, C_{i+1,j-1}^{t-1} \right)$$

Conceitos básicos

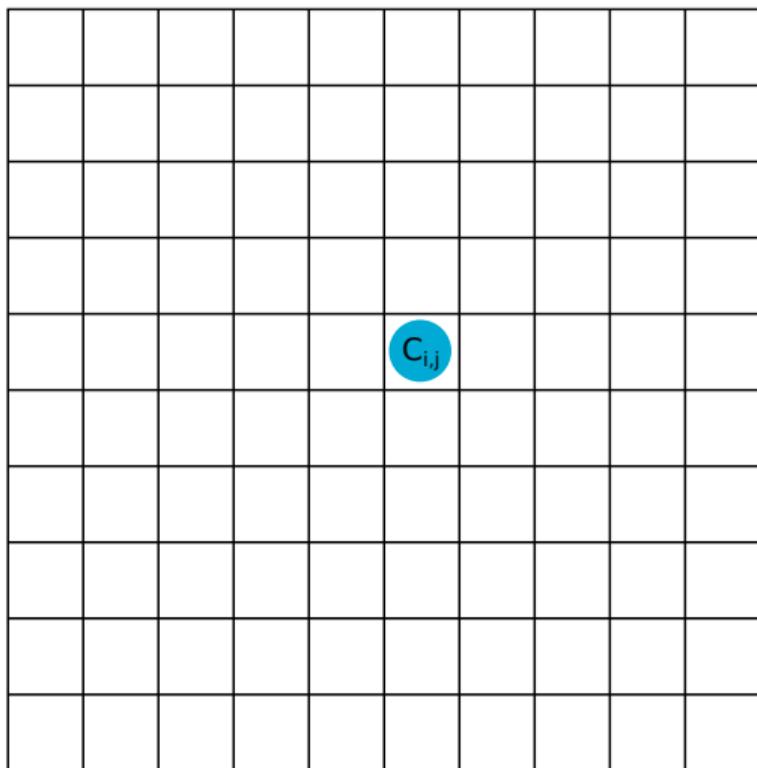
Qual o valor de $C_{i,j}$?

$$C_{i,j}^t \leftarrow f \left(C_{i,j}^{t-1}, C_{i-1,j}^{t-1}, C_{i+1,j}^{t-1}, C_{i-1,j+1}^{t-1}, C_{i,j+1}^{t-1}, C_{i+1,j+1}^{t-1}, C_{i-1,j-1}^{t-1}, C_{i,j-1}^{t-1}, C_{i+1,j-1}^{t-1} \right)$$

					$C_{i,j}$				

						$C_{i-1,j+1}$	$C_{i,j+1}$	$C_{i+1,j+1}$	
						$C_{i-1,j}$	$C_{i,j}$	$C_{i+1,j}$	
						$C_{i-1,j-1}$	$C_{i,j-1}$	$C_{i+1,j-1}$	

Topologia da malha & Estrutura de dados



```
1 s = (10, 10)
2 t0 = np.zeros(s)
3 t1 = np.zeros(s)
4 t0[5, 5] = 1
```

```
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 1 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]
```

Mais alguns conteitos

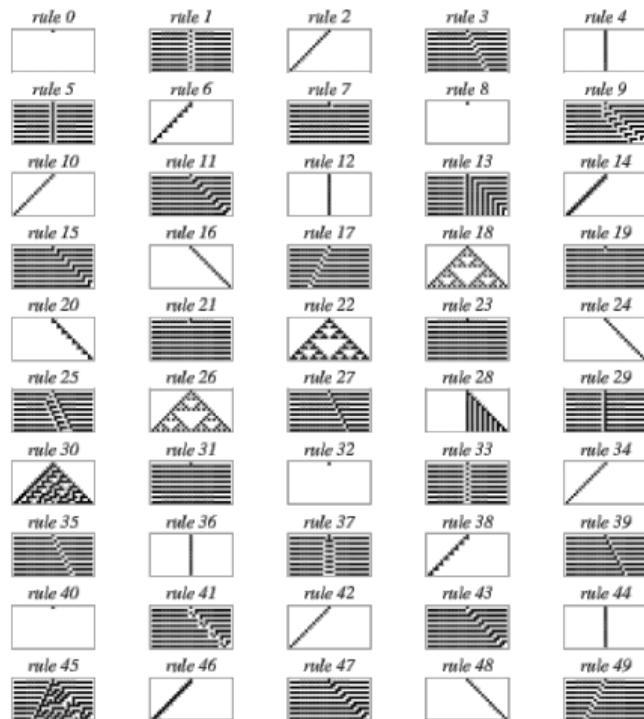
- síncrono e assíncrono
- Valores reais \times estados finidos
- Mobile AC
- Probabilístico \times determinístico
- Condições de contonor
- Atributos e camadas

Modelo baseado em regras

- Regras:

1. Qualquer célula viva com menos de dois vizinhos vivos morre de solidão.
2. Qualquer célula viva com mais de três vizinhos vivos morre de superpopulação.
3. Qualquer célula morta com exatamente três vizinhos vivos se torna uma célula viva.
4. Qualquer célula viva com dois ou três vizinhos vivos continua no mesmo estado para a próxima geração.

Autômatos elementares



Game of life

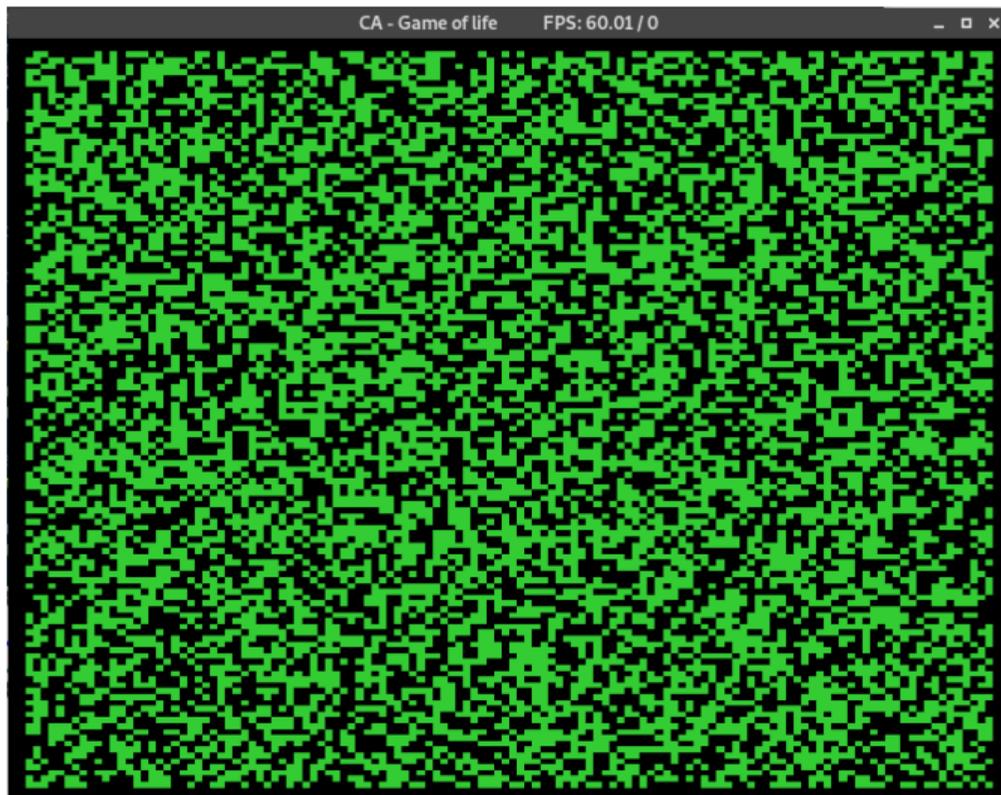
- Regras:

1. Qualquer célula viva com menos de dois vizinhos vivos morre de solidão.
2. Qualquer célula viva com mais de três vizinhos vivos morre de superpopulação.
3. Qualquer célula morta com exatamente três vizinhos vivos se torna uma célula viva.
4. Qualquer célula viva com dois ou três vizinhos vivos continua no mesmo estado para a próxima geração.

$$C_{i,j}^t \leftarrow f \left(C_{i,j}^{t-1}, C_{i-1,j}^{t-1}, C_{i+1,j}^{t-1}, C_{i-1,j+1}^{t-1}, C_{i,j+1}^{t-1}, C_{i+1,j+1}^{t-1}, C_{i-1,j-1}^{t-1}, C_{i,j-1}^{t-1}, C_{i+1,j-1}^{t-1} \right)$$

Game of life

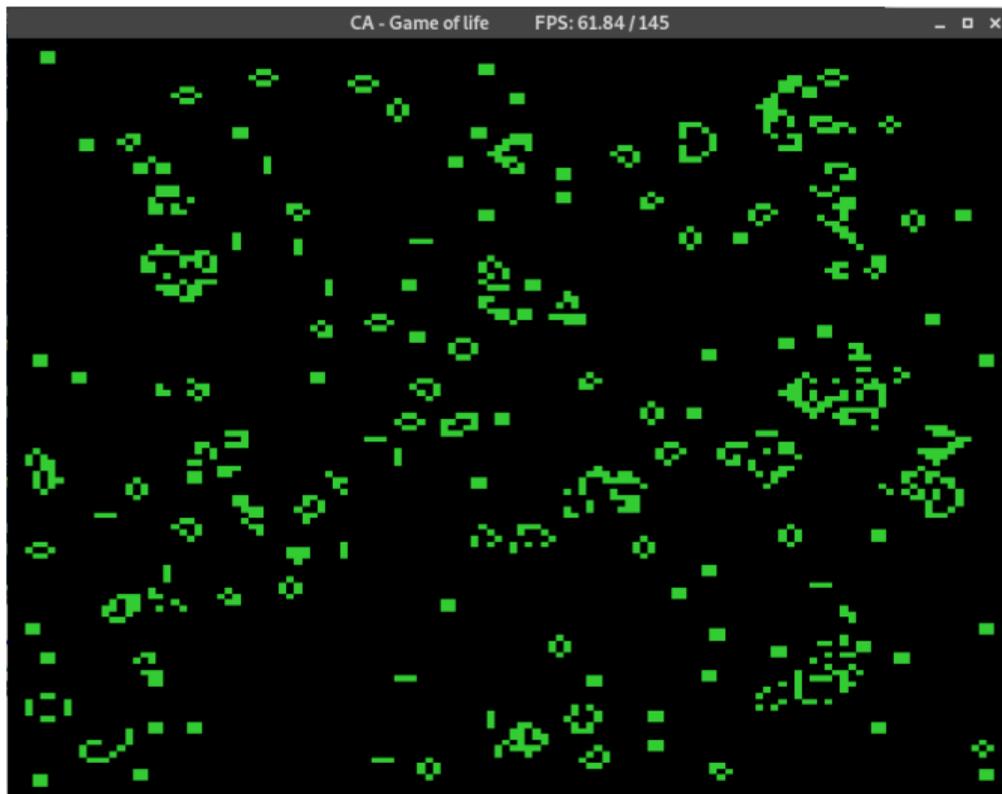
- Exemplo com 128×128 células



passo 0

Game of life

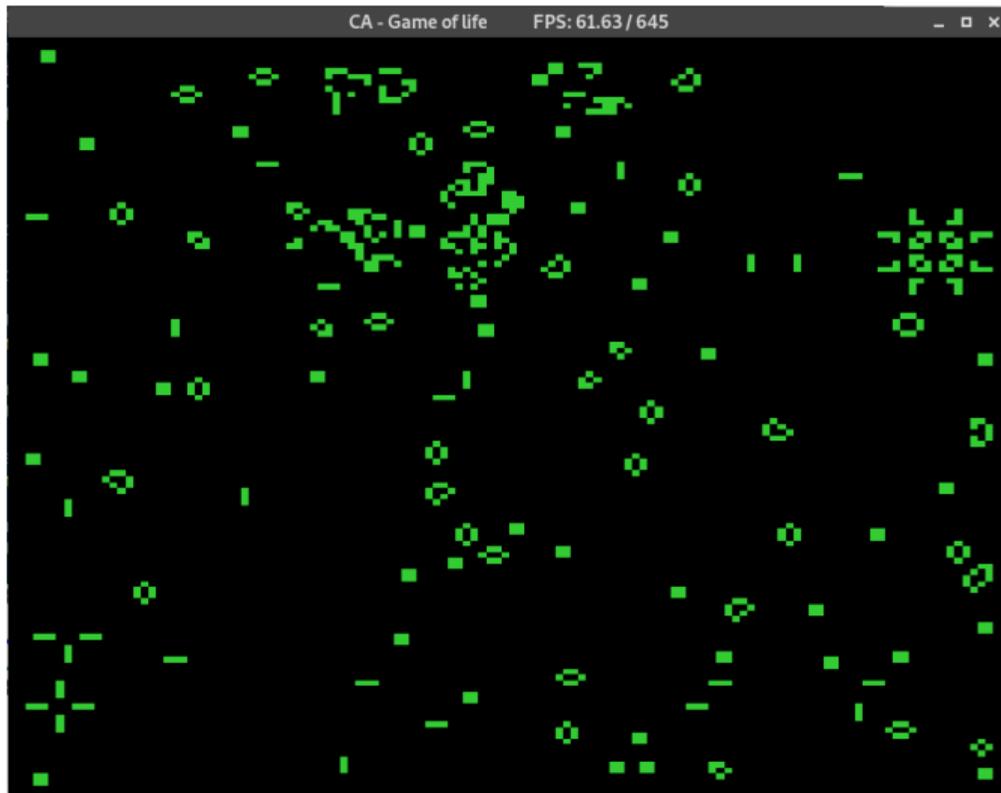
- Exemplo com 128×128 células



passo 145

Game of life

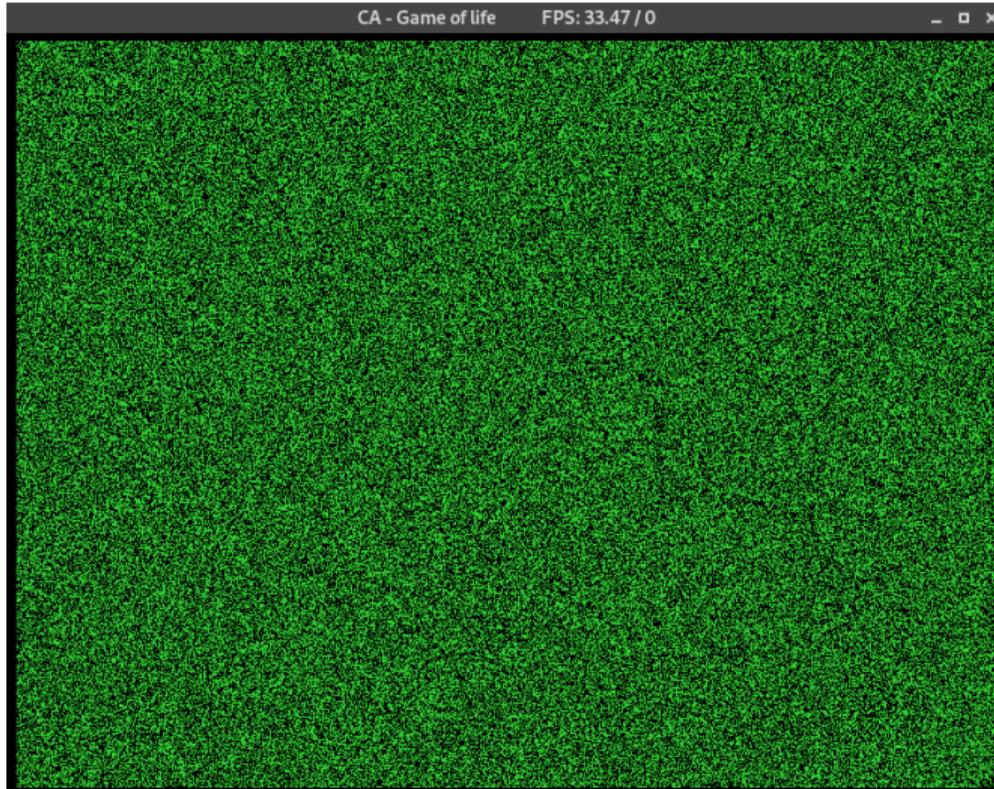
- Exemplo com 128×128 células



passo 645

Game of life

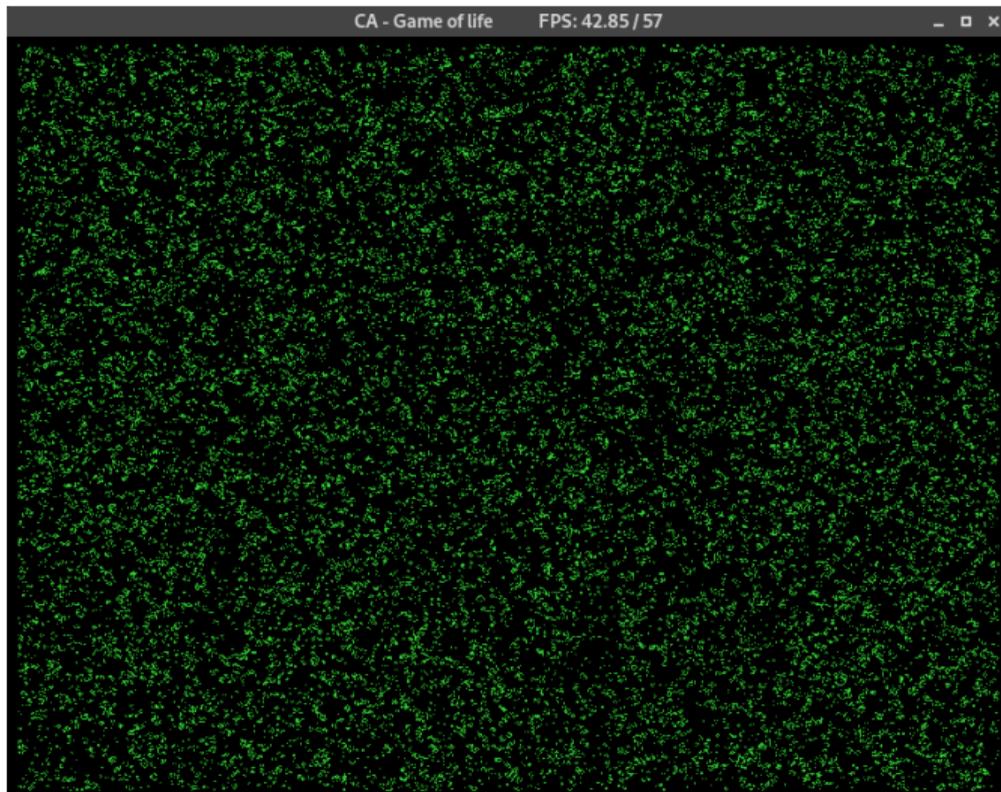
- Exemplo com 1024×1024 células



passo 0

Game of life

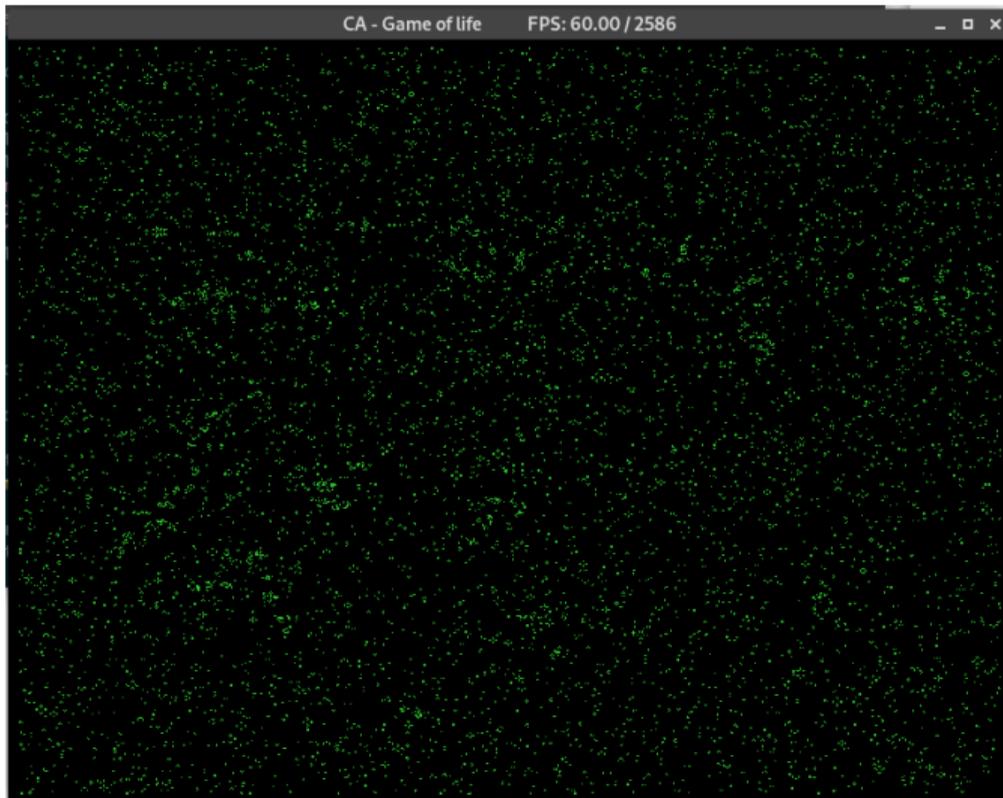
- Exemplo com 1024×1024 células



passo 57

Game of life

- Exemplo com 1024×1024 células



passo 2.586

Modelo para simulação de trânsito

Nagel e Schreckenberg em 1992 - Modelo NaSch

- **aceleração:** cada veículo tenta acelerar até a velocidade máxima da via:

$$v_i^{t+1} = \max[v_i^t + 1, v_{max}]$$

- **probabilidade:** com probabilidade p , o motorista não tem esse comportamento

$$se(p < p_m)v_i^{t+1} = v_i^{t+1} - 1$$

- **Ajuste de velocidade:** analisa-se o espaço entre o veículo considerado e o veículo à frente ($d_i^{t+1} = x_{i+1}^t - x_i^t - 1$). Sendo a velocidade maior que a distância, então ela é limitada por esta distância a fim de evitar a ocorrência de colisões

$$v_i^{t+1} = \min[d_i^{t+1}, v_i^{t+1}]$$

- **atualização:** definida a velocidade, define-se a nova posição dos veículos

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}$$

Modelo para simulação de trânsito

Input: (estado atual)

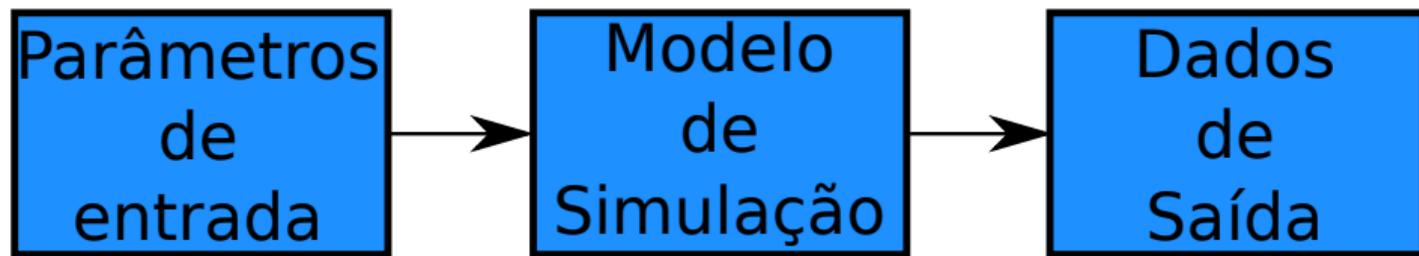
Result: novo estado

```
1 for para todos os veículos do
2    $d_i^{t-1} = x_i^{t-1} - x_{i+1}^{t-1} - l_{i+1}$ 
3    $d_{i+1}^{t-1} = x_{i+1}^{t-1} - x_{i+2}^{t-1} - l_{i+2}$ 
4    $\alpha = \text{Beta}(a, b)$ 
5    $\Delta v = (v_i^{t-1} + \delta v) - v_{i+1}^{t-1}$ 
6    $d_s = 0$ 
7   if  $\Delta v > 0$  then
8      $t_h = \frac{d_i^{t-1}}{\Delta v}$ 
9      $\delta d = d_i^{t-1} - d_{i+1}^{t-1}$ 
10    if  $\delta d \leq \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha))$  then
11       $d_s = \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha))$ 
12    end
13    if  $t_h \leq \text{int}(h \times \alpha)$  then
14       $d_s = d_s + \text{int}(d_{s_{min}} \times \alpha)$ 
15    end
16  end
17   $d_{is}^t = \max \left[ d_i^{t-1} + \min \left[ v_{i+1}^{t-1} + \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha)), d_{i+1}^{t-1} \right] - d_s, 0 \right]$ 
18   $v_i^t = \min \left[ v_i^{t-1} + \text{int}(\delta v \times (1 - \alpha)), v_{max} \right]$ 
19  if  $v_i^t > d_{is}^t$  then
20     $v_i^t = d_{is}^t$ 
21  end
22 end
```

Modelo T-UFF - Algoritmo

```
1 for para todos os veículos do
2    $x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t$ 
3 end
```

Modelo para simulação de trânsito



Modelo para simulação de trânsito

- Parâmetros de entrada:

```
1 <config>
2   <params>
3     <global-params name="SL-DEFAULT" max-speed="25"
4       cellX="10000" cellY="1"
5       size="1.5" default-size="7.5"
6       time-steps="10000" transiente-steps="1000" statistic-steps="120" type-model="1"
7       photo="1" fixed="1" logCluster="1" log="0"
8       deceleration="3" time-perception="12.0"
9       road-block="0" last-log-vehicles="-1"
10    />
11   <profile name="STANDARD" occ="0.5" betaA-acc="8" betaB-acc="7" inc="5"
12     desc="1" size="5" max-speed="25" left-p="1.0" right-p="1.0"></profile>
13   <profile name="DARING" occ="0.25" betaA-acc="3" betaB-acc="4" inc="5"
14     desc="1" size="5" max-speed="25" left-p="1.0" right-p="1.0"></profile>
15   <profile name="STANDARD" occ="0.25" betaA-acc="5" betaB-acc="3" inc="5"
16     desc="1" size="5" max-speed="25" left-p="1.0" right-p="1.0"></profile>
17   </params>
18 </config>
```

Modelo para simulação de trânsito

Parâmetros de entrada:

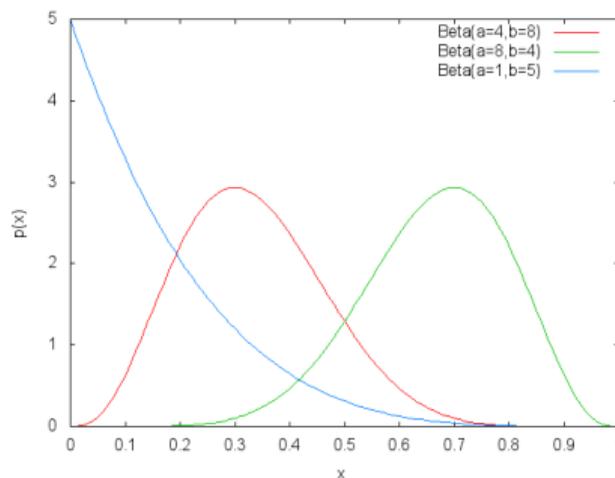
- Considerando os mesmos valores h e

d_{smin} :

- ▶ $h = 6$
- ▶ $h = 12$
- ▶ $h = 15$

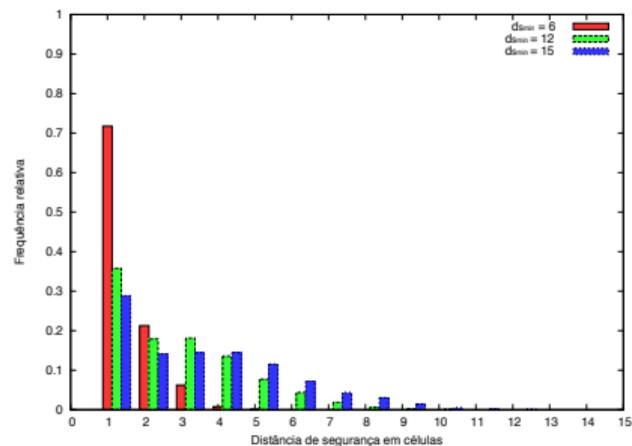
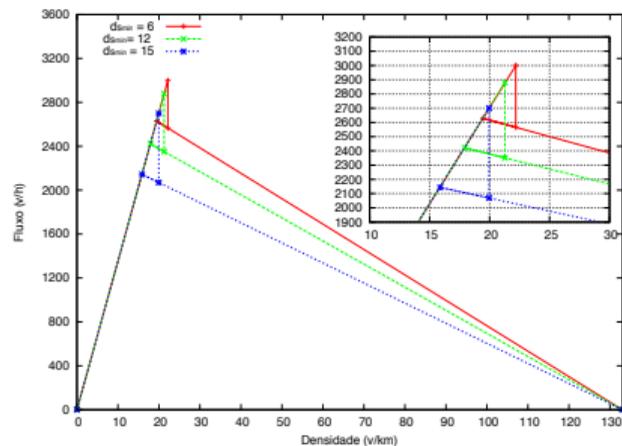
- FDPs *Beta* adotadas:

- ▶ $a = 1$ e $b = 5 - \alpha \rightarrow 0$
- ▶ $a = 8$ e $b = 4 - \alpha \rightarrow 1$
- ▶ $a = 4$ e $b = 8 - \alpha \rightarrow 0,3$



Modelo para simulação de trânsito

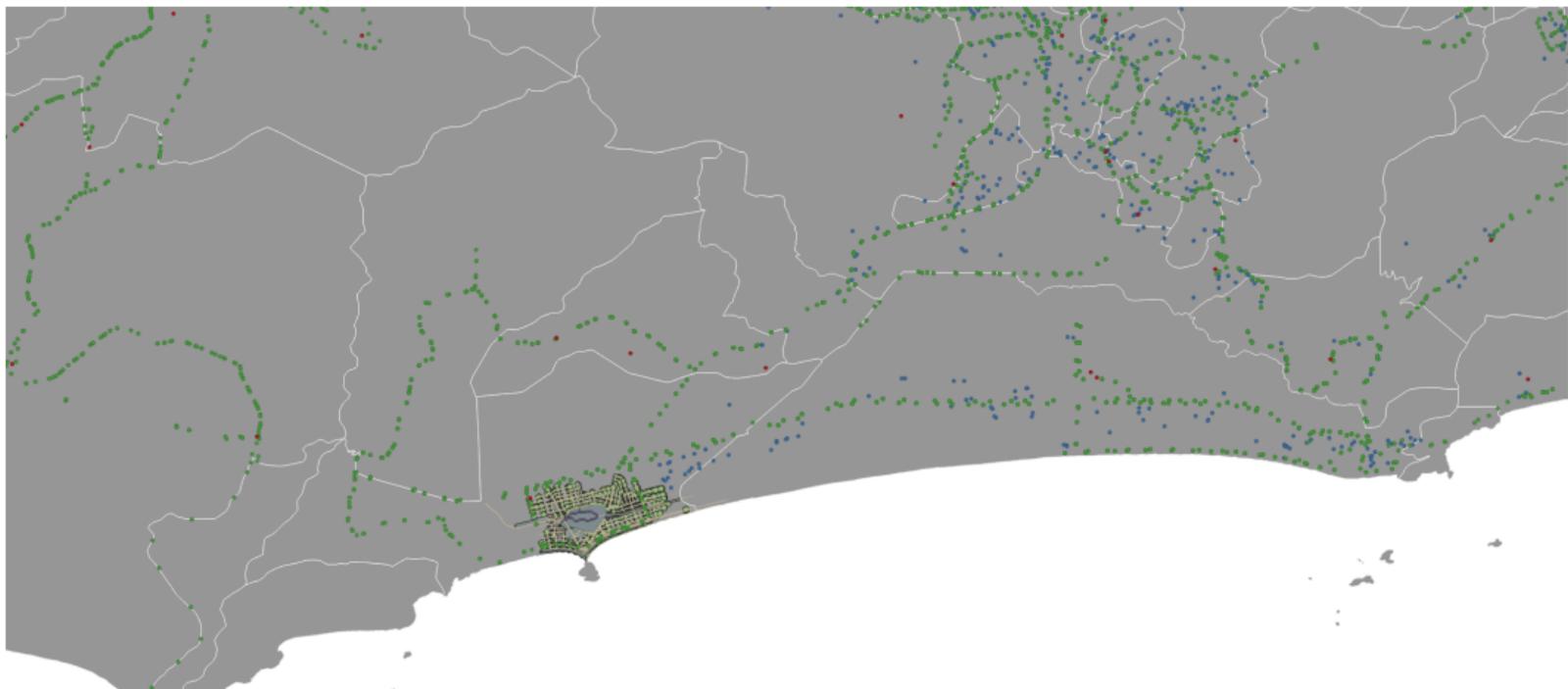
FDP $Beta(a = 1, b = 5)$:



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Área de preservação ambiental
- Recreio dos Bandeirantes - RJ
- Área \approx 40 hec
- Ocupação irregular

Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



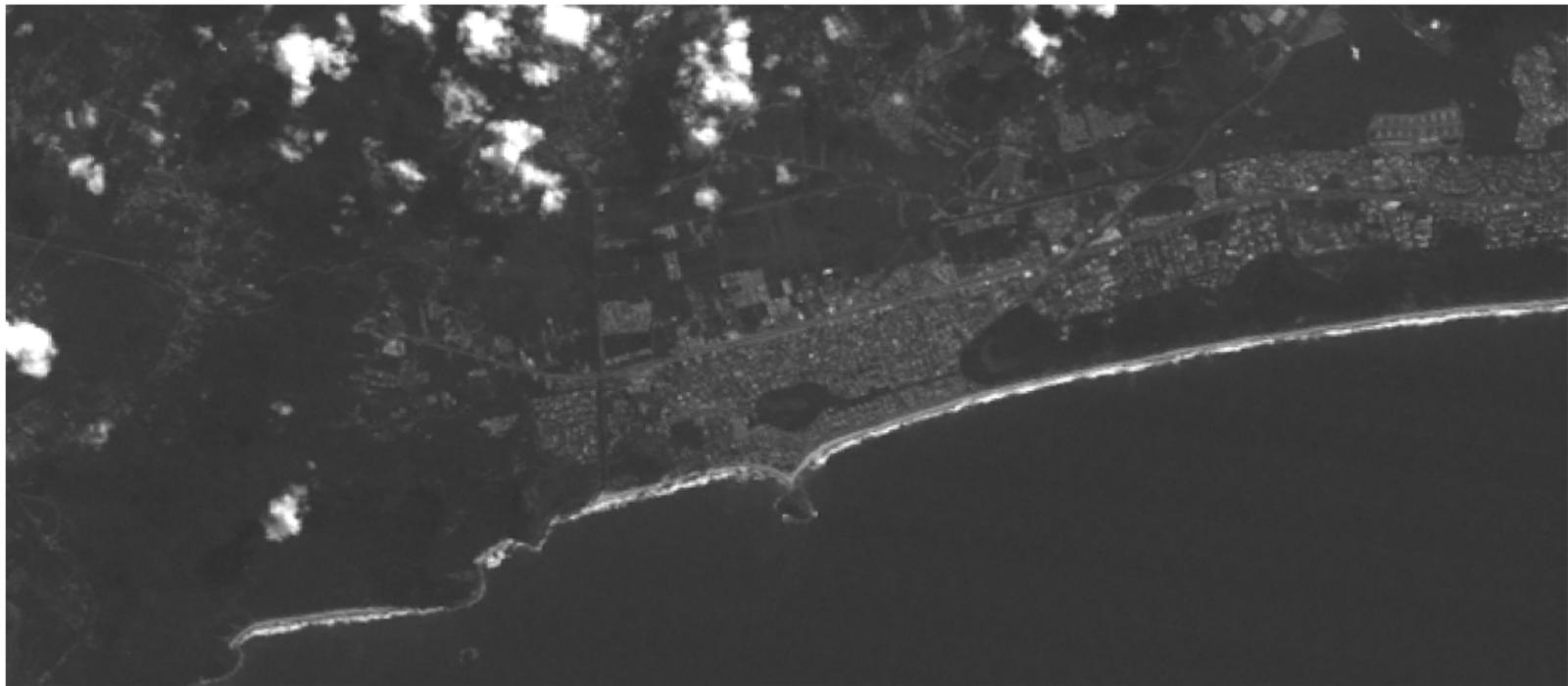
Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes



Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Parâmetros de entrada / atributos / camadas
 - ▶ Pontos de ônibus
 - ▶ Escolas
 - ▶ Hospitais
 - ▶ Discretização espacial e temporal

- Modelo:

$$P_{x,y}^{t+1} = \left(D_{x,y}^t - R_{x,y}^t \right) \times \prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t \times \prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t V^t x, y$$

- Saída/resultado:
- Número de células ocupadas: acumulado e por ano

Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Modelo baseado em forças

$$P_{x,y}^{t+1} = \left(D_{x,y}^t - R_{x,y}^t \right) \times \prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t \times \prod_{l=1} PC_{l,x,y}^t V_{x,y}^t$$

Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Modelo baseado em forças

$$P_{x,y}^{t+1} = \left(D_{x,y}^t - R_{x,y}^t \right) \times \prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t \times \prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t V_{x,y}^t$$

- Força de expansão:

$$D_{x,y}^t = \sum_{i=1}^{m-2} W_i S_{i,x,y}^t + W_{m-1} N_{x,y}^t$$

Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Modelo baseado em forças

$$P_{x,y}^{t+1} = \left(D_{x,y}^t - R_{x,y}^t \right) \times \prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t \times \prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t V_{x,y}^t$$

- Força de expansão:

$$D_{x,y}^t = \sum_{i=1}^{m-2} W_i S_{i,x,y}^t + W_{m-1} N_{x,y}^t$$

- Força de resistência:

$$R_{x,y}^t = W_m I_{x,y}^t$$

Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Modelo baseado em forças

$$P_{x,y}^{t+1} = \left(D_{x,y}^t - R_{x,y}^t \right) \times \prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t \times \prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t V_{x,y}^t$$

- Meio ambiente:

- Força de expansão:

$$D_{x,y}^t = \sum_{i=1}^{m-2} W_i S_{i,x,y}^t + W_{m-1} N_{x,y}^t$$

$$\prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t$$

- Força de resistência:

$$R_{x,y}^t = W_m I_{x,y}^t$$

Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Modelo baseado em forças

$$P_{x,y}^{t+1} = \left(D_{x,y}^t - R_{x,y}^t \right) \times \prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t \times \prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t V^t x, y$$

- Força de expansão:

$$D_{x,y}^t = \sum_{i=1}^{m-2} W_i S_{i,x,y}^t + W_{m-1} N_{x,y}^t$$

- Força de resistência:

$$R_{x,y}^t = W_m I_{x,y}^t$$

- Meio ambiente:

$$\prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t$$

- Políticas públicas:

$$\prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t$$

Modelo para simulação de ocupação irregular do parque Chico Mendes

- Modelo baseado em forças

$$P_{x,y}^{t+1} = \left(D_{x,y}^t - R_{x,y}^t \right) \times \prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t \times \prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t V_{x,y}^t$$

- Força de expansão:

$$D_{x,y}^t = \sum_{i=1}^{m-2} W_i S_{i,x,y}^t + W_{m-1} N_{x,y}^t$$

- Força de resistência:

$$R_{x,y}^t = W_m I_{x,y}^t$$

- Meio ambiente:

$$\prod_{r=1} EC_{r,x,y}^t$$

- Políticas públicas:

$$\prod_{r=1} PC_{l,x,y}^t$$

- Perturbação:

$$V_{x,y}^t = 1 + (-\ln(\alpha))^a$$

Agentes e multiagentes

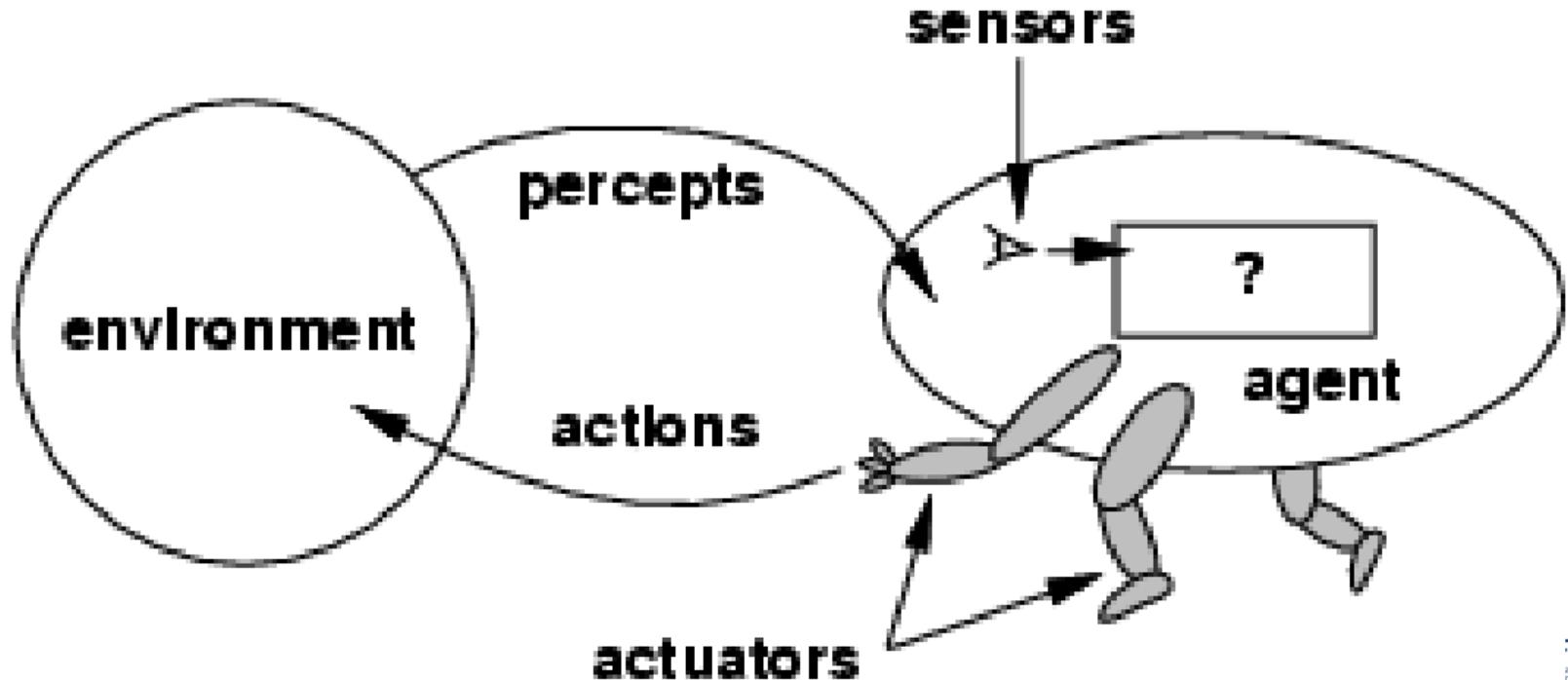
Agentes e multiagentes

- O que é um agente ?



Agentes

- Um **agente** é algo capaz de perceber seu **ambiente** por meio de **sensores** e de agir sobre esse ambiente por meio de **atuadores**.



Exemplos de agentes:

- Agente humano

Exemplos de agentes:

- Agente humano
 - ▶ **Sensores:** Olhos, ouvidos e outros órgãos.
 - ▶ **Atuadores:** Mãos, pernas, boca e outras partes do corpo.
- Agente robótico

Exemplos de agentes:

- Agente humano
 - ▶ **Sensores:** Olhos, ouvidos e outros órgãos.
 - ▶ **Atuadores:** Mãos, pernas, boca e outras partes do corpo.
- Agente robótico
 - ▶ **Sensores:** câmeras e detectores de infravermelho.
 - ▶ **Atuadores:** vários motores.
- Agente de software

Exemplos de agentes:

- Agente humano
 - ▶ **Sensores:** Olhos, ouvidos e outros órgãos.
 - ▶ **Atuadores:** Mãos, pernas, boca e outras partes do corpo.
- Agente robótico
 - ▶ **Sensores:** câmeras e detectores de infravermelho.
 - ▶ **Atuadores:** vários motores.
- Agente de software
 - ▶ **Sensores:** entrada do teclado, conteúdo de arquivos e pacotes vindos da rede.
 - ▶ **Atuadores:** tela, disco, envio de pacotes pela rede.

Mapeando percepções em ações

- Sequência de percepções: história completa de tudo que o agente percebeu.
- O comportamento do agente é dado abstratamente pela função do agente:

$$f : P^* \rightarrow A$$

- ▶ P^* uma sequência de percepções
- ▶ A é uma ação
- O programa do agente roda em uma arquitetura física para produzir f .
- Agente = arquitetura + programa.

Agentes e Multi-Agentes

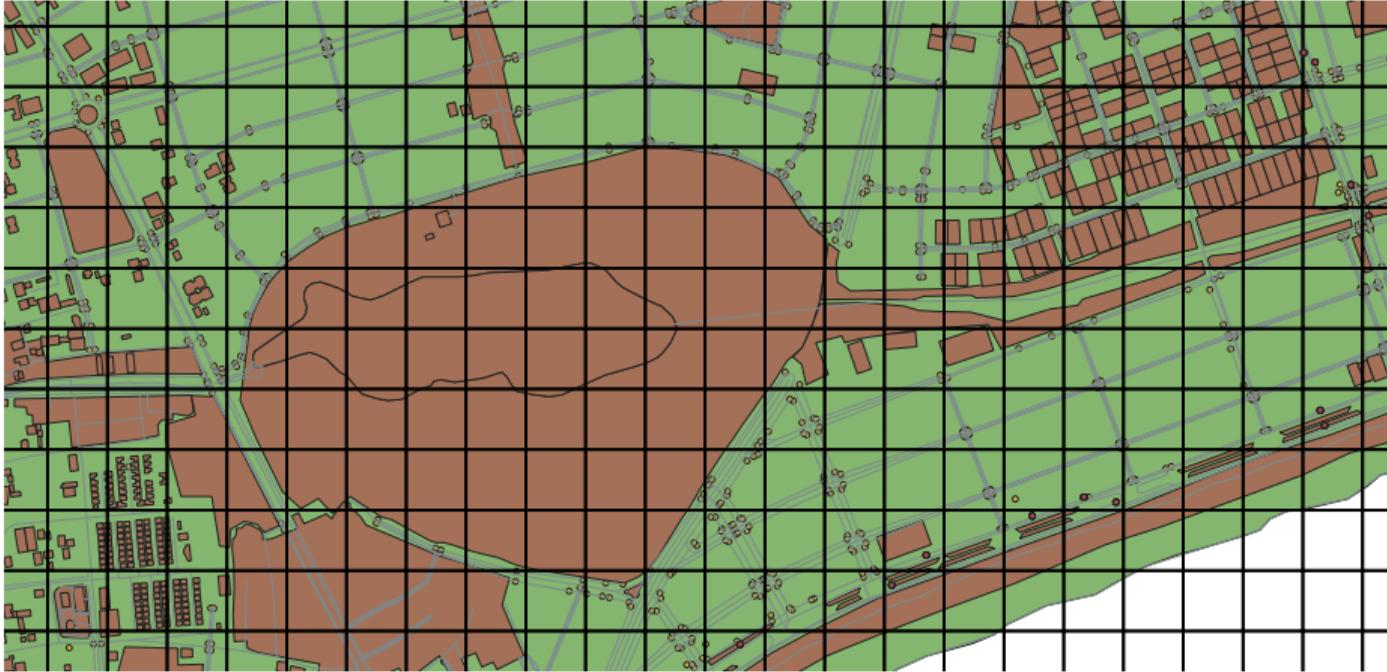
- Discretização do espaço e do tempo



Região do Parque Chico Mendes

Agentes e Multi-Agentes

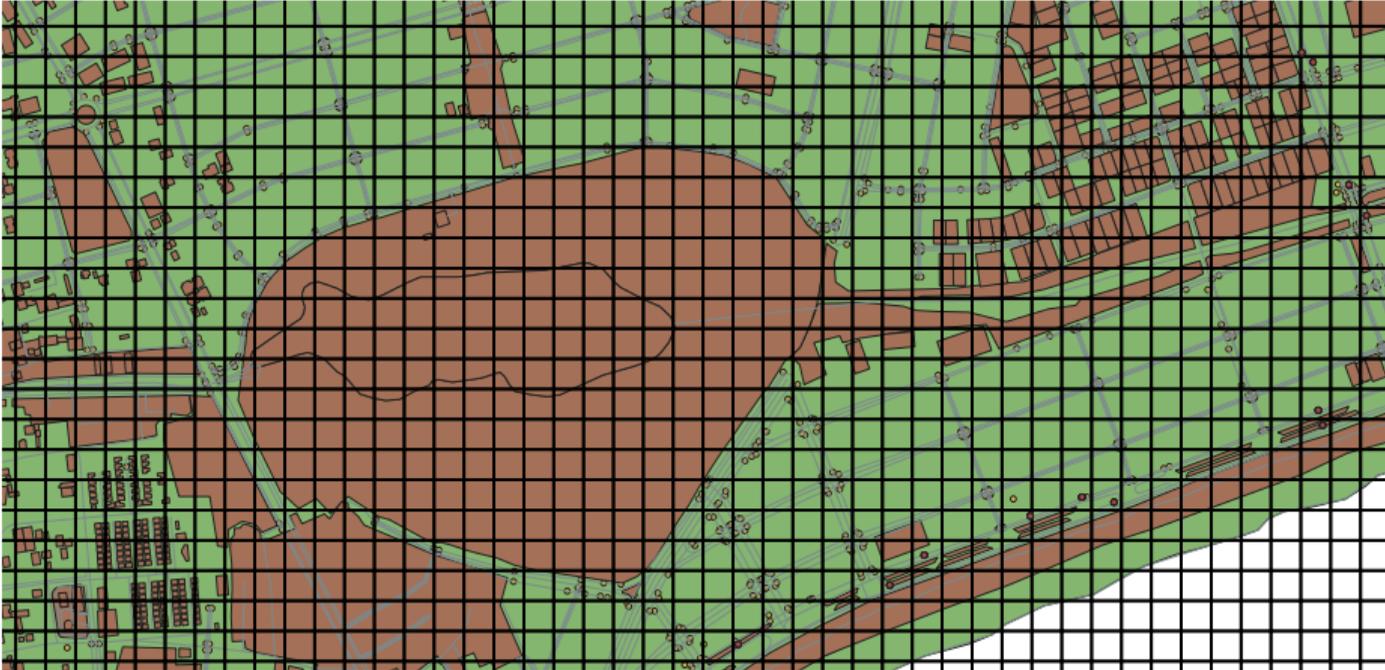
- Discretização do espaço e do tempo



Região do Parque Chico Mendes - 100m

Agentes e Multi-Agentes

- Discretização do espaço e do tempo



Região do Parque Chico Mendes - 50 m

