

**DCC192**

2025/1

UF  G

# Desenvolvimento de Jogos Digitais

## A23: IA – Geração Procedural de Conteúdo

Prof. Lucas N. Ferreira

# Plano de Aula



- ▶ Histórico
- ▶ Métodos Construtivos
  - ▶ Funções de Ruído
  - ▶ Gramáticas Generativas
- ▶ Métodos Baseados em Busca
  - ▶ Algoritmos Evolutivos
- ▶ Métodos Baseados em Aprendizado

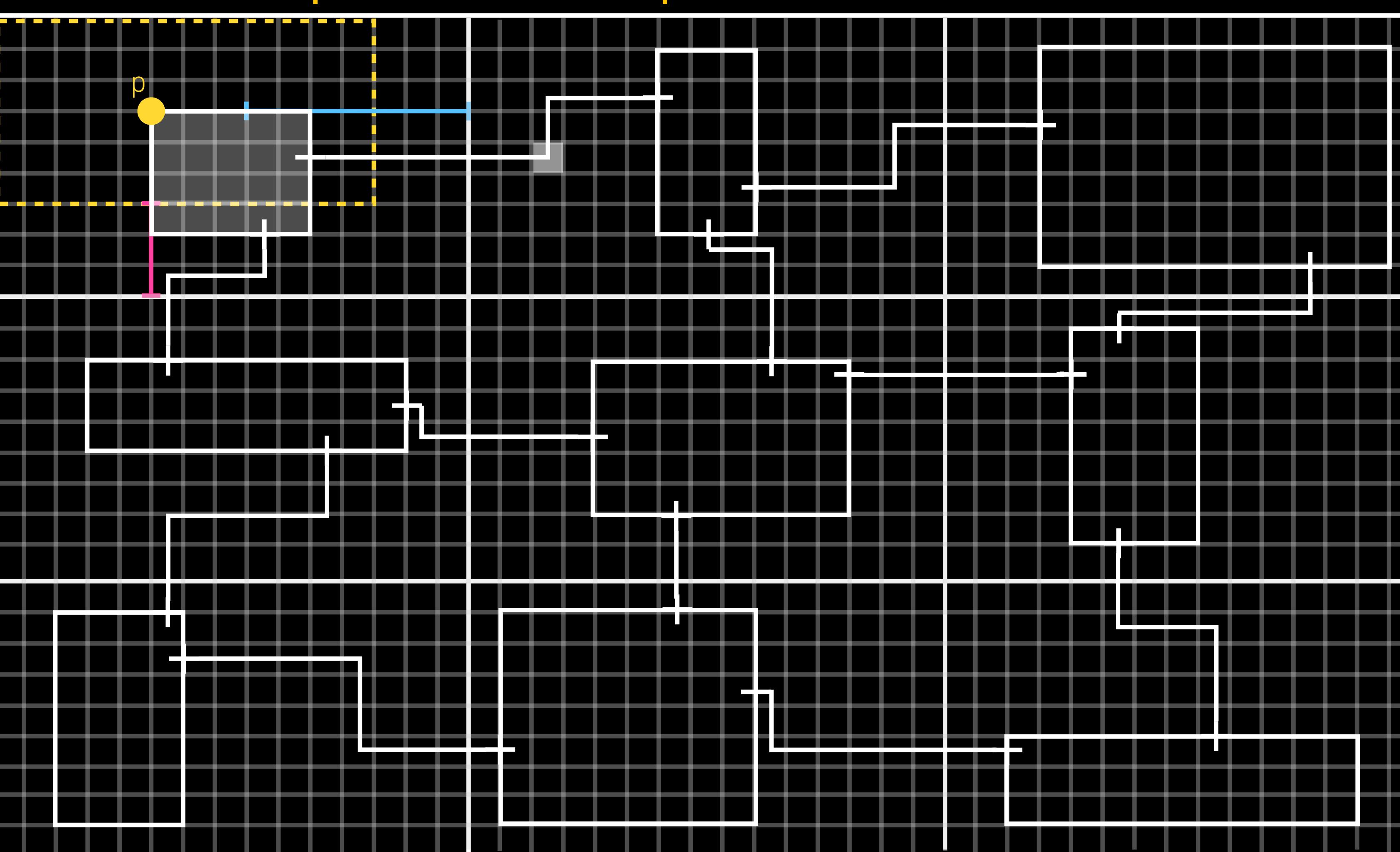
**Rogue** (1980s)

UC Santa Cruz/Berkeley

Micheal Toy, Glenn Wichman, Ken Arnold

BSD

## Sala 1



### Regras

- ▶ 9 áreas iguais
- ▶ 1 sala / área
- ▶ Salas Retângulares

### Restrições

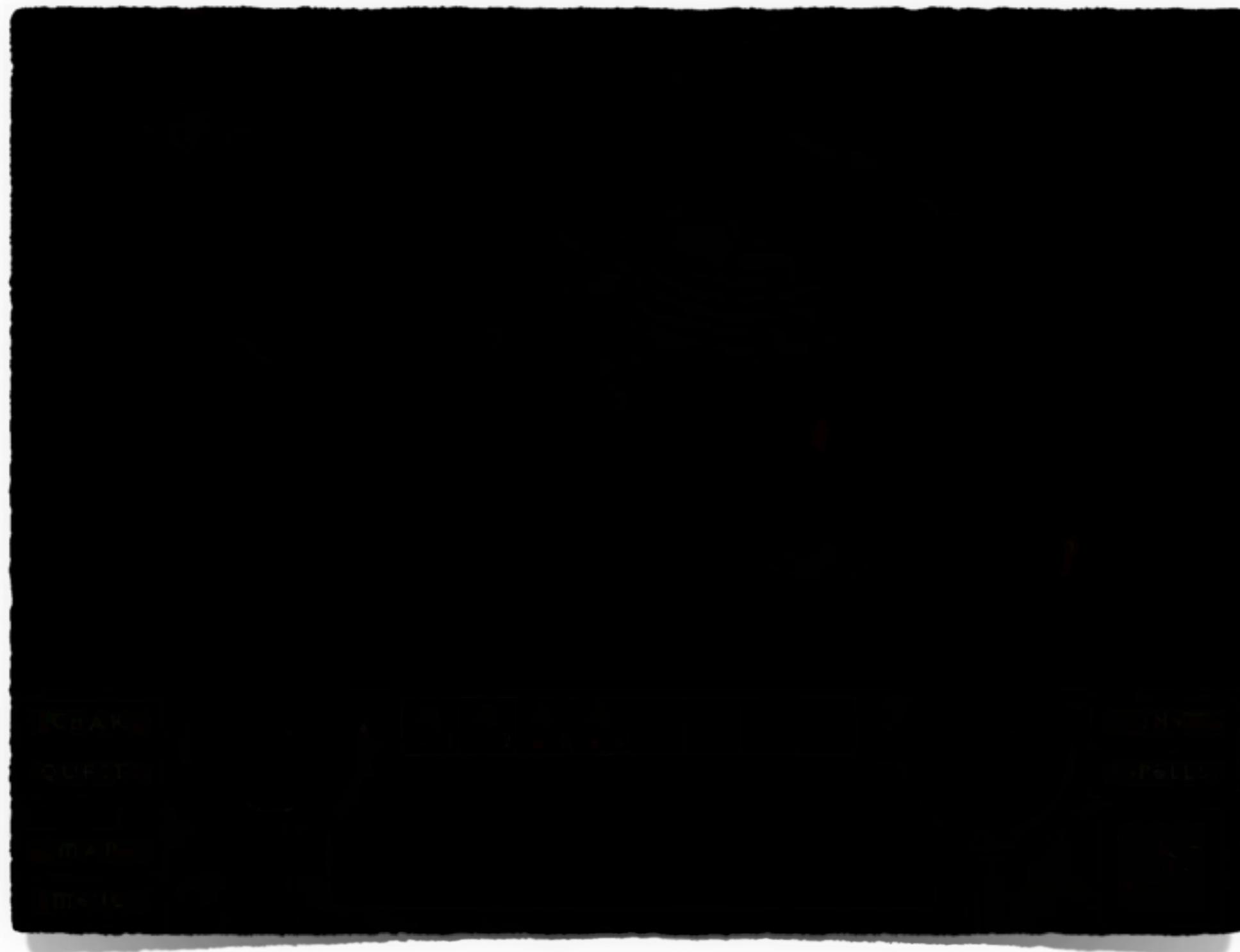
- ▶ largura sala  $\geq 3$
- ▶ altura sala  $\geq 3$

### Aleatoriedade

- ▶  $p = (5, 3)$
- ▶  $w = 3 + 2 = 5$
- ▶  $h = 3 + 1 = 4$

# Roguelikes

O Rogue foi um jogo tão influente que ele deu início a um gênero de jogos chamado de *roguelikes*, caracterizado por níveis gerados proceduralmente e morte permanente.

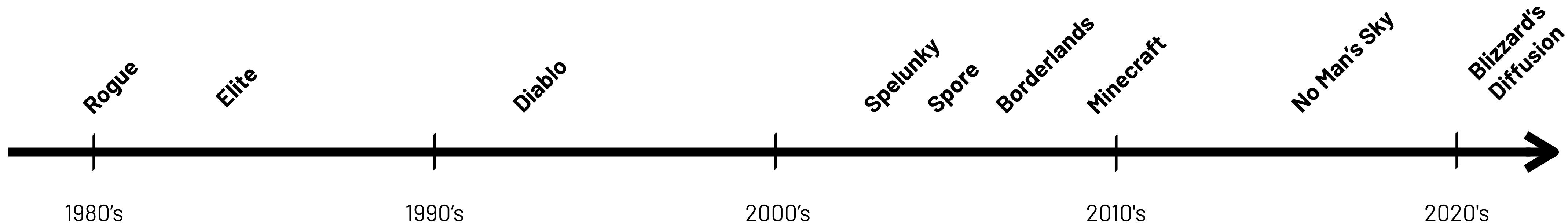


- ▶ Diablo (*roguelite*)
- ▶ Hades
- ▶ Spelunky
- ▶ The Binding of Isaac
- ▶ ...

# Histórico



Desde o Rogue, nos anos 80, a indústria de jogos passou a utilizar geração procedural de conteúdo com diferentes motivações:



~~Blizzard's Diffusion (2023)~~  
**Blizzard's Diffusion (2023)**  
Geração de Monstros  
Arte Conceitual



## Motivações

- ▶ Limitação de recursos computacionais
- ▶ Acelerar o processo de desenvolvimento
- ▶ "Rejogabilidade"

# Geração Procedural de Conteúdo



Geração procedural de conteúdo (do inglês, PCG) são métodos para gerar conteúdo automaticamente ou semi-automaticamente, ao invés de produzi-lo manualmente:

- ▶ **Métodos Construtivos**

Quando sabemos criar regras para definir como o conteúdo deve ser construído

- ▶ **Métodos Baseados em Busca**

Quando não é fácil criar regras, mas sabemos avaliar se o conteúdo é bom ou ruim

- ▶ **Métodos Baseados em Aprendizado**

Quando não é fácil criar regras, nem avaliar, podemos inferir padrões em bases de conteúdos

# O que é conteúdo?

Em PCG, conteúdo geralmente é tudo aquilo que está contido no jogo, excluindo a IA dos NPCs :

- ▶ **Texturas:** padrões naturais (cascalho, lava, tecidos, ...)
- ▶ **Modelos 3D:** veículos, items, personagens, ...
- ▶ **Níveis:** plataformas, masmorras, ...
- ▶ **Mundos:** mapas, florestas, cidades, galaxias, ...
- ▶ **Música:** adaptativa, simbólico, áudio, ...
- ▶ **Narrativas:** quests, histórias, diálogos, ...
- ▶ **Propriedades:** nome, atributos, cores, ...
- ▶ ...



**A IA dos NPCs é excluída por ser um campo de aplicação e pesquisa clássicos de IA em jogos**

# Métodos Construtivos



Métodos construtivos são todos aqueles onde aplicamos regras explícitas (possivelmente estocásticas) para definir como o conteúdo deve ser construído. Por exemplo:

## 1. Funções de Ruído



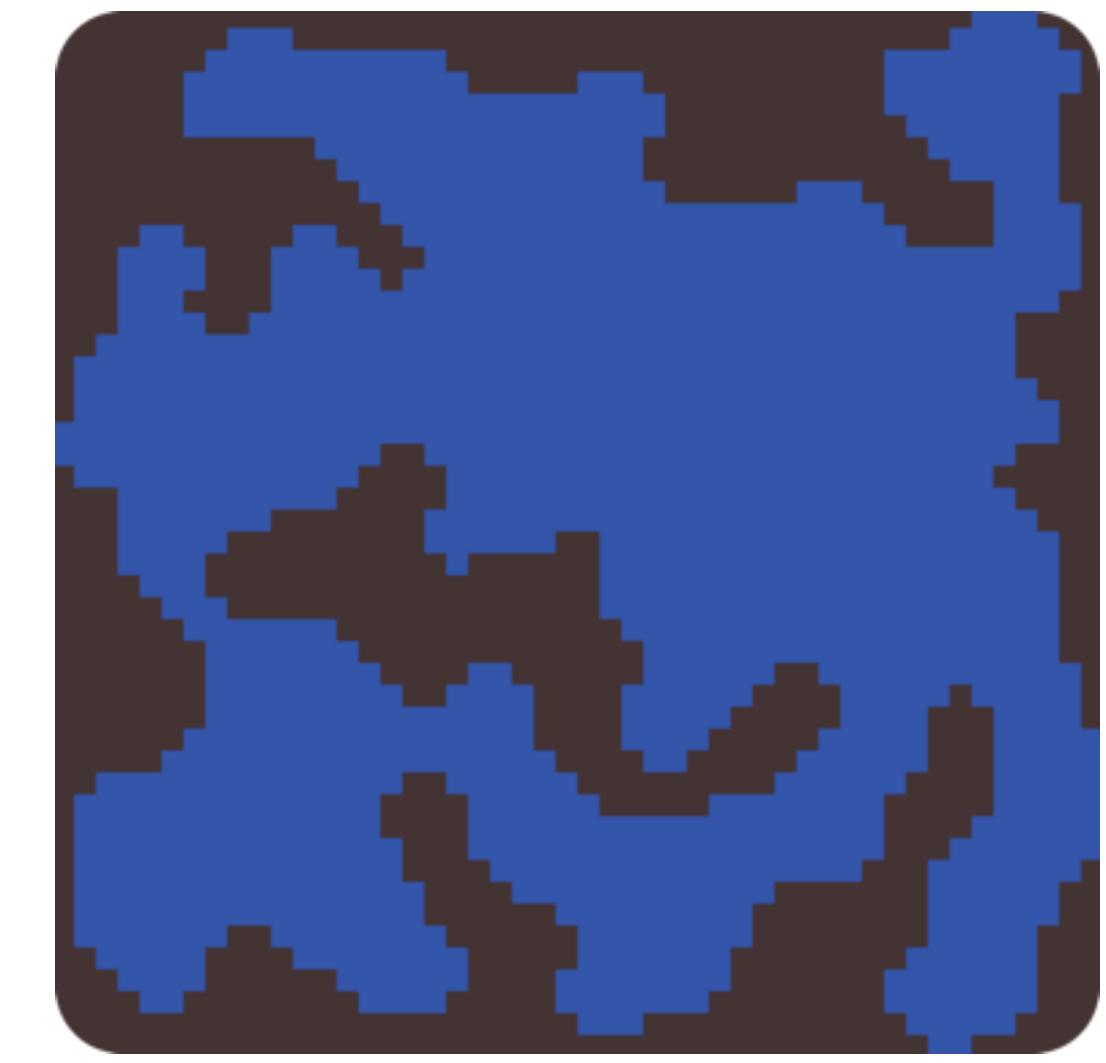
Ex.: Terrenos

## 2. Gramática Generativa



Ex.: Árvores

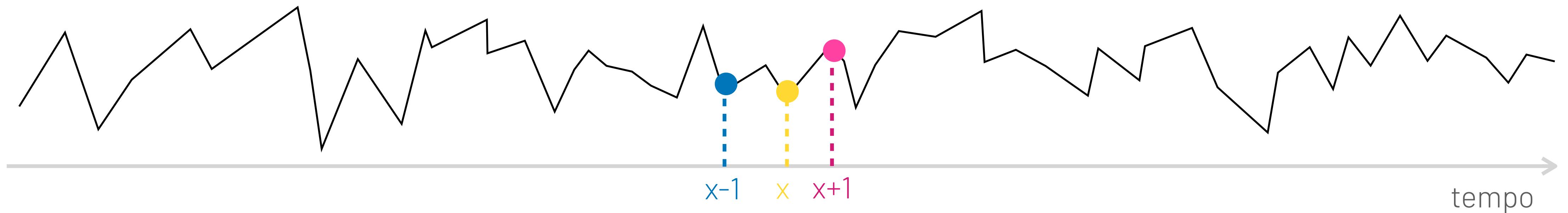
## 3. Autômatos Celulares



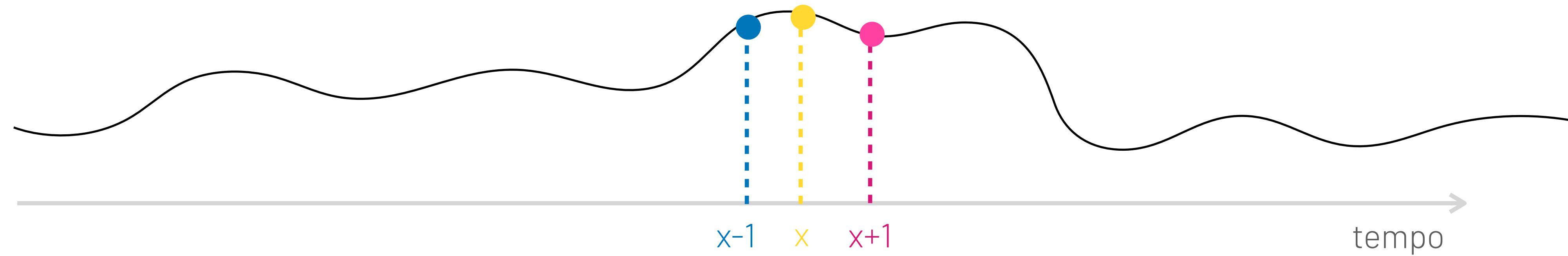
Ex. Cavernas

# Funções de Ruído

Geradores de números aleatórios produzem sequências de números sem um padrão discernível, aproximando uma distribuição uniforme:



Funções de ruído produzem sequências com um padrão discernível, onde um elemento da sequência depende dos seus vizinhos:



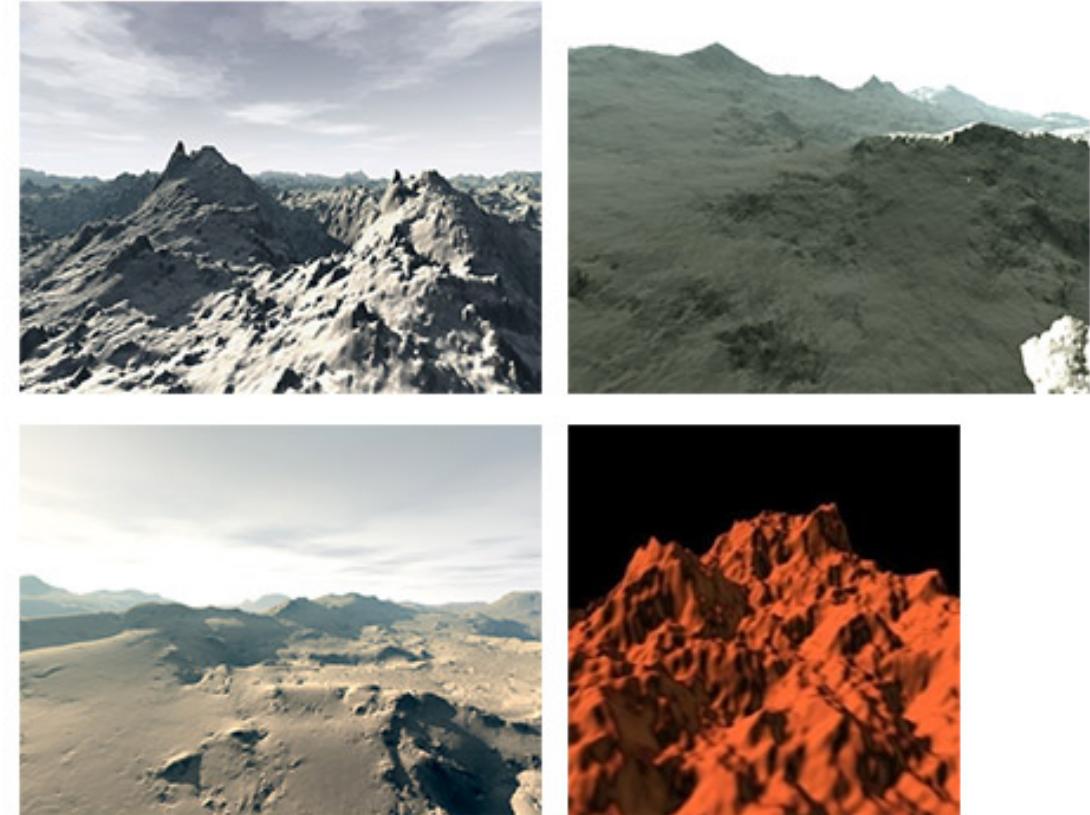
# Ruído de Perlin (*Perlin Noise*)

m



Criado por Ken Perlin nos anos 80

Gerar texturas realistas para o filme Tron, ganhando um Oscar (1997) em technical achievement



O Ruído Perlin pode ser usado para gerar modelos 3D e texturas padronizadas com qualidades naturais, como:

- ▶ Terrenos, Água, Explosões, ...
- ▶ Nuvem, Cascalho, Mármore, ...

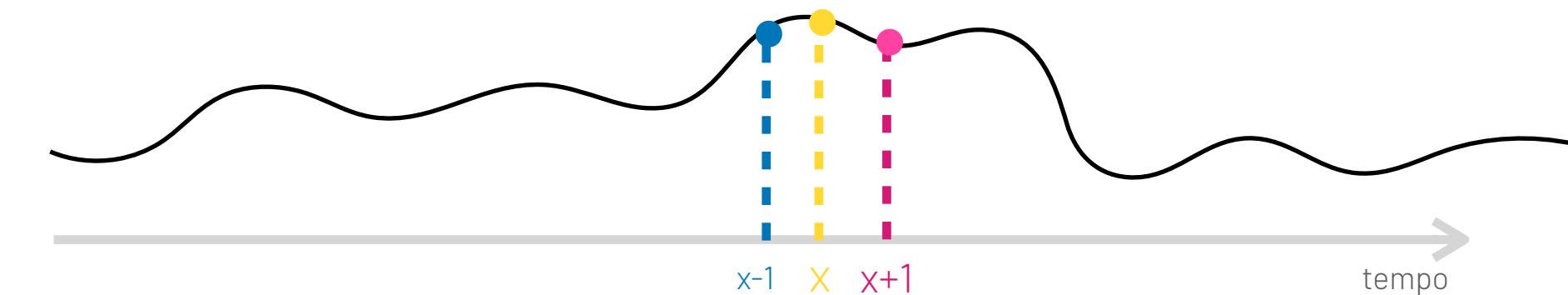
# Ruído de Perlin (*Perlin Noise*)



O ruído de perlin é uma função que recebe uma coordenada no espaço  $x$  de ruído e retorna um número aleatório  $p$ , geralmente em  $[0,1]$ , ou  $[-1, 1]$ :

$$p = \text{perlin}(x)$$

- ▶ O ruído de perlin 1D pode ser visto como uma sequência contínua de valores ao longo do tempo.
- ▶ Especifique um "momento no tempo"  $x \in \mathbb{R}$  para acessar um valor de ruído  $p = \text{perlin}(x)$ .
- ▶ O valor de  $p$  no tempo  $x$  está relacionado aos valores nos tempos vizinhos  $x - 1$  e  $x + 1$ .



Por exemplo:

```
perlin(10) // p: 0.47  
perlin(15) // p: 0.54  
perlin(22) // p: 0.50
```

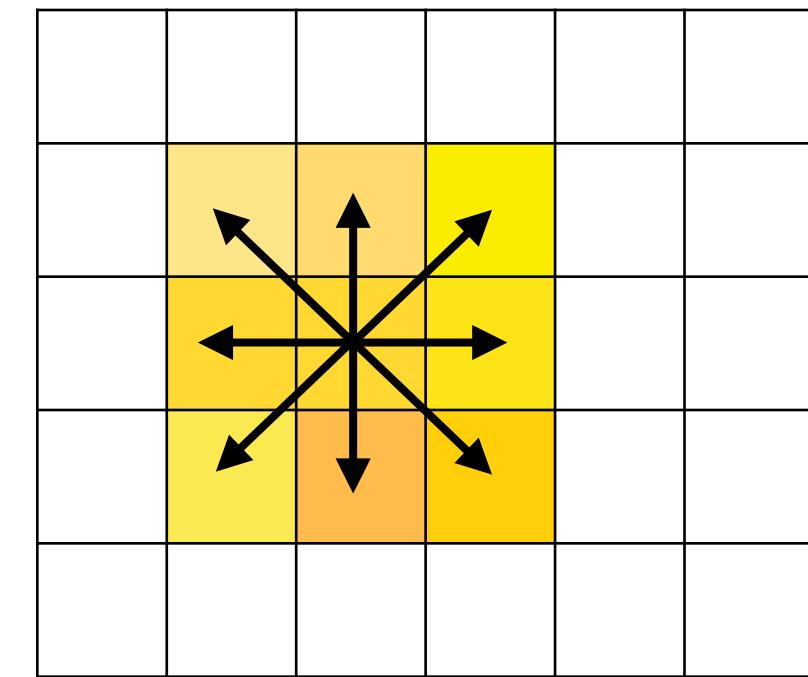
# Ruído de Perlin (*Perlin Noise*)

m

O ruído de perlin é uma função que recebe uma coordenada no espaço  $x$  de ruído e retorna um número aleatório  $p$ , geralmente em  $[0,1]$ , ou  $[-1, 1]$ :

$p = \text{perlin}(x, y)$

- ▶ O ruído de perlin 2D pode ser visto como uma grade bidimensional de valores contínuos.
- ▶ Especifique uma posição  $(x, y) \in \mathbb{R}^2$  para acessar um valor de ruído  $p = \text{perlin}(x, y)$ .
- ▶ O valor  $p$  na coordenada  $(x, y)$  será semelhante a todos os seus vizinhos: acima, abaixo, à direita, à esquerda e ao longo das diagonais.



Por exemplo:

```
perlin(3, 6) // p: 0.47  
perlin(3, 7) // p: 0.54  
perlin(4, 7) // p: 0.50
```

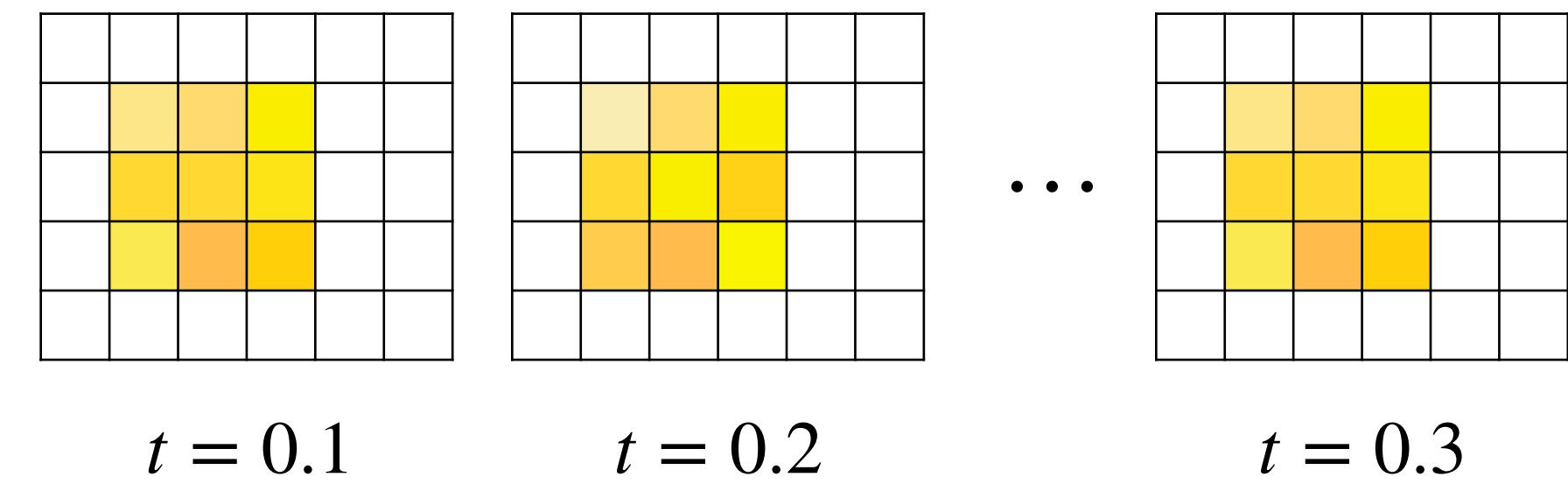
# Ruído de Perlin (*Perlin Noise*)



O ruído de perlin é uma função que recebe uma coordenada no espaço  $x$  de ruído e retorna um número aleatório  $p$ , geralmente em  $[0,1]$ , ou  $[-1, 1]$ :

$p = \text{perlin}(x, y, z)$

- ▶ O ruído de perlin 3D pode ser visto como uma grade tridimensional ou como um ruído 2D onde a terceira coordenada  $z$  é o tempo.
- ▶ Especifique uma posição  $(x, y) \in \mathbb{R}^2$  e um valor de  $z \in \mathbb{R}$  no espaço ou tempo para acessar um valor  $p = \text{perlin}(x, y, z)$ .
- ▶ O valor  $p$  na coordenada  $(x, y)$  será semelhante a todos os seus vizinhos 3D ou ao longo do tempo  $z$ .



Por exemplo:

```
perlin(3, 6, 0.1) // p: 0.47  
perlin(3, 7, 0.2) // p: 0.54  
perlin(4, 7, 0.2) // p: 0.50
```

# Gramáticas Generativas



Gramáticas Generativas são um conjunto de regras de produção para manipulação de strings. Elas possuem os seguintes componentes:

- ▶ **Símbolos:**

- ▶ **Terminal:** Caracteres do alfabeto
- ▶ **Não Terminal:** Tokens para padrões de símbolos terminais.

- Exemplo:**

- Símbolos Terminais**

- { a, b }

- ▶ **Regras de produção**

- Regras para mapear símbolos não terminais em uma string.

- ▶ **Axioma**

- Uma string inicial a ser expandida com as regras de produção.

- Símbolos Não Terminais**

- { A, B }

- Regras de Produção**

- 1 . A → AB

- 2 . B → b

# Gramáticas Generativas



Para gerar uma string a partir de uma gramática gerativa:

1. Considere um número máximo N de transformações

Por exemplo, N = 4

**Exemplo:**

2. Considere uma string inicial  $S_0 = \text{axiom}$

Por exemplo,  $S_0 = A$

**Símbolos Terminais**

{ a, b }

3. Para  $i = 0 \dots N$ :

**2.1** Substitua cada símbolo não terminal de  $S_i$  pelo lado direito das regras de produção correspondentes.

**Símbolos Não Terminais**

{A, B}

**2.2** Faça  $S_{i+1}$  ser o resultado da instrução 2.1

**Regras de Produção**

1. A  $\rightarrow AB$

2. B  $\rightarrow b$

$S_0 = A, S_1 = AB, S_2 = ABb, S_3 = ABbb, S_4 = ABbbb$

# L-Systems

Em 1968, o botânico húngaro Aristid Lindenmayer desenvolveu um sistema baseado em gramática para modelar os padrões de crescimento das plantas.

## Regras de produção

$$F \rightarrow F [+F] F [-F] F$$

## Símbolos não-terminais

F: Desenha linha e move

G: Move (sem desenhar)

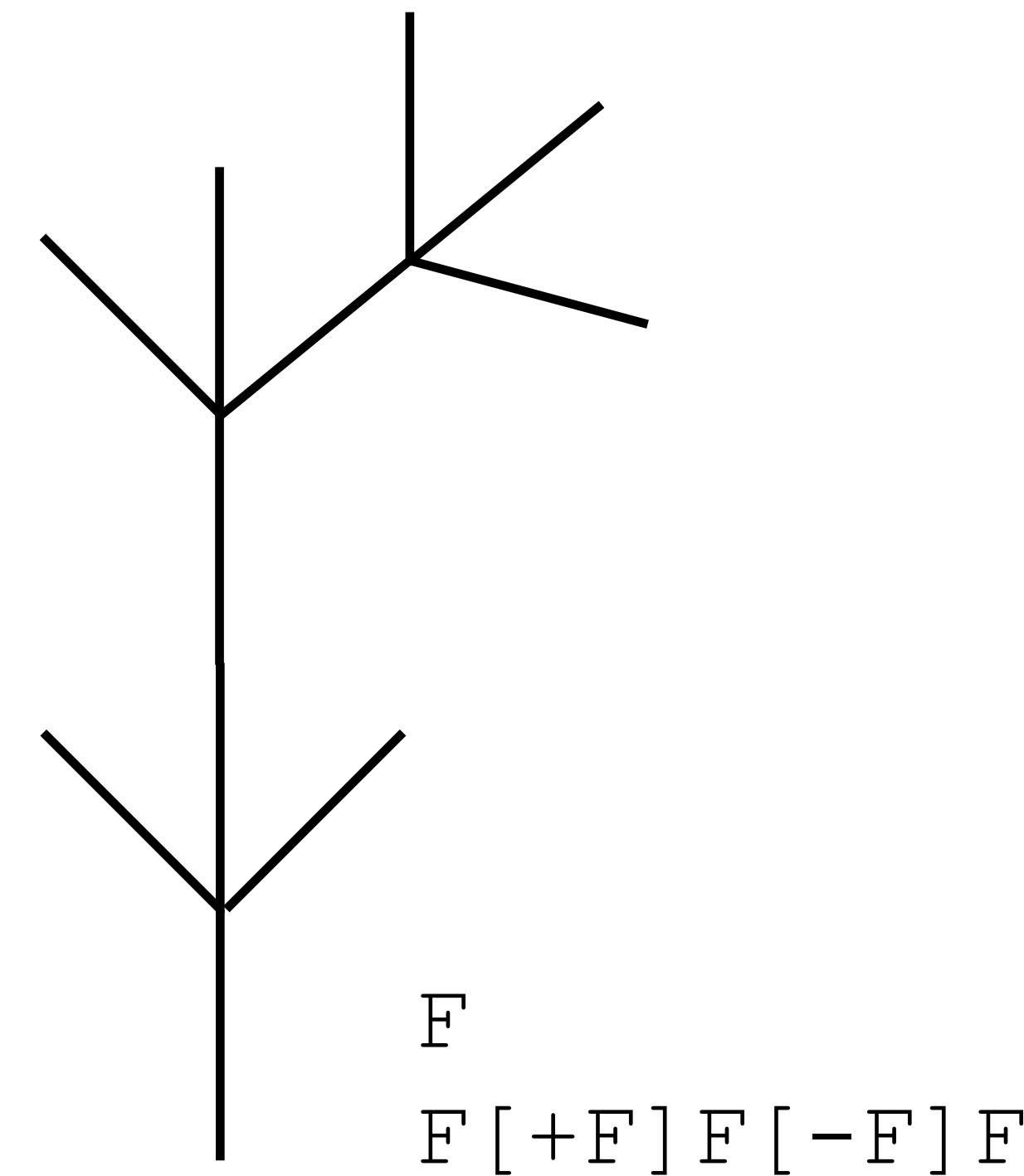
## Símbolos terminais

+: Virar à direita  $\theta$  graus

-: Virar à esquerda  $\theta$  graus

[: Salvar localização atual

]: Restaurar localização anterior



# Métodos Baseados em Busca



Métodos Baseados em Busca exploram um espaço de conteúdo, buscando por aqueles de melhor qualidade. Por exemplo:

## 1. Busca no Espaço de Estados



Ex.: Labirintos

## 2. Algoritmos Evolutivos



Ex.: Níveis ou Mapas

# Algoritmos Evolutivos

Algoritmos genéticos são algoritmos de busca local inspirados na teoria da seleção natural da Biologia, eles "evoluem" uma população de **indivíduos**  $x$  segundo uma **função de adaptação**  $f$ :

Por exemplo, considere o problema de gerar mapas simétricos no League of Legends:



0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## 1. Indivíduo

$x \rightarrow$  Arranjo de bits (0/1)

## 2. Avaliação

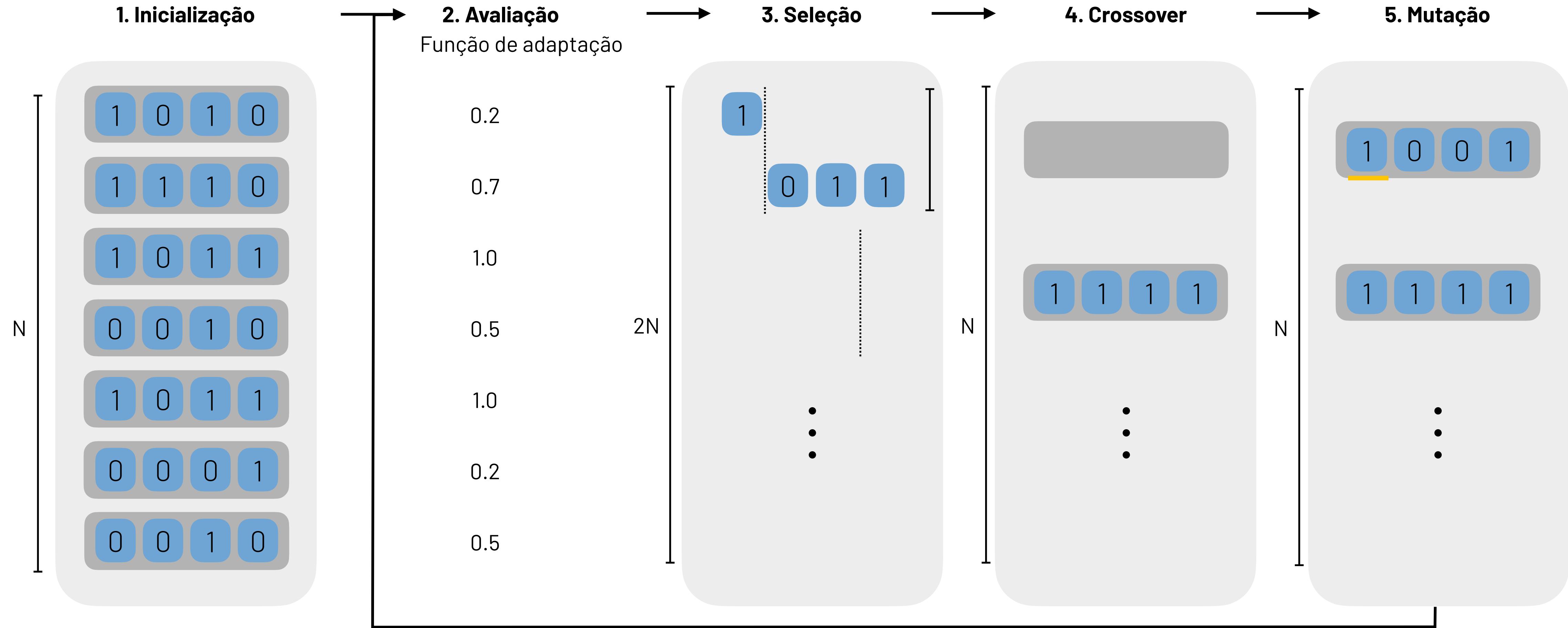
- ▶  $a(x) \rightarrow$  Menor caminho entre s e g
- ▶  $b(x) \rightarrow$  Simetria do mapa
- ▶  $c(x) \rightarrow$  Nº de blocos no mapa

$$f(x) = w_1 a(x) + w_2 b(x) + w_3 c(x)$$

# Algoritmos Evolutivos

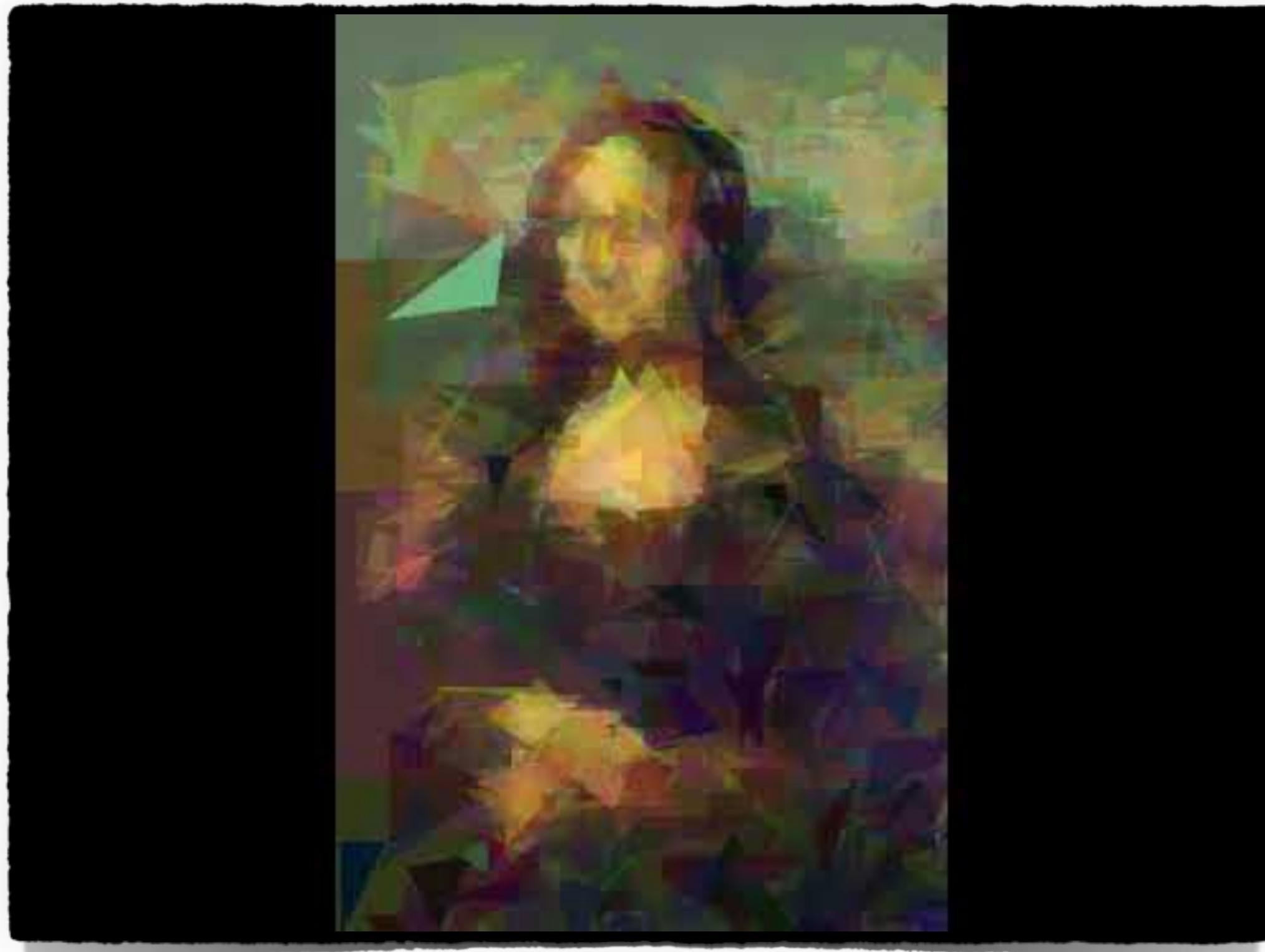


A evolução começa com uma **Inicialização** e segue em uma repetição de: **Avaliação → Seleção → Crossover → Mutação**



# Aplicações: Reestilização de imagens

m



- ▶ Imagens representadas por polígonos
- ▶ Função de adaptação direta que calcula a distância pixel-a-pixel entre o fenótipo do indivíduo e a imagem objetivo
- ▶ Exemplo:  
<https://chriscummins.cc/s/genetics/>

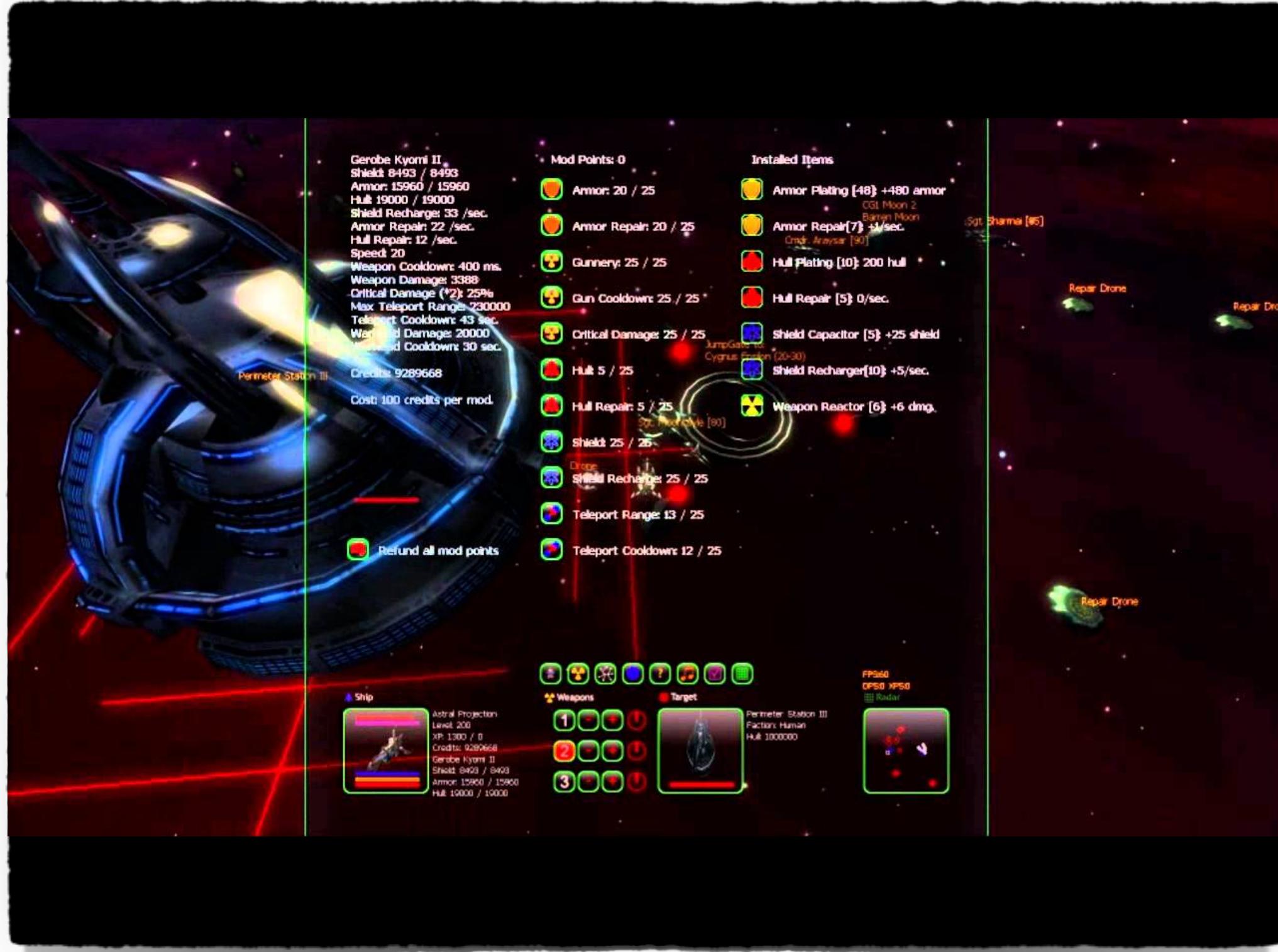
# Aplicações: Geração de criaturas

m



- ▶ Criaturas representadas por sólidos geométricos
- ▶ Função de adaptação baseada em simulação medindo o quanto a criatura se moveu
- ▶ Exemplo:  
[https://rednuht.org/genetic\\_cars\\_2/](https://rednuht.org/genetic_cars_2/)

# Aplicação: Galactic Arms Race



- ▶ Jogo MMO de Batalha
- ▶ Evolução de armas representadas como sistemas de partículas
- ▶ Função de adaptação interativa, onde a qualidade das armas é medida pelo tempo que os usuário as utilizam

[https://store.steampowered.com/app/249610/  
Galactic\\_Arms\\_Race/](https://store.steampowered.com/app/249610/Galactic_Arms_Race/)

# Métodos Baseados em Aprendizado



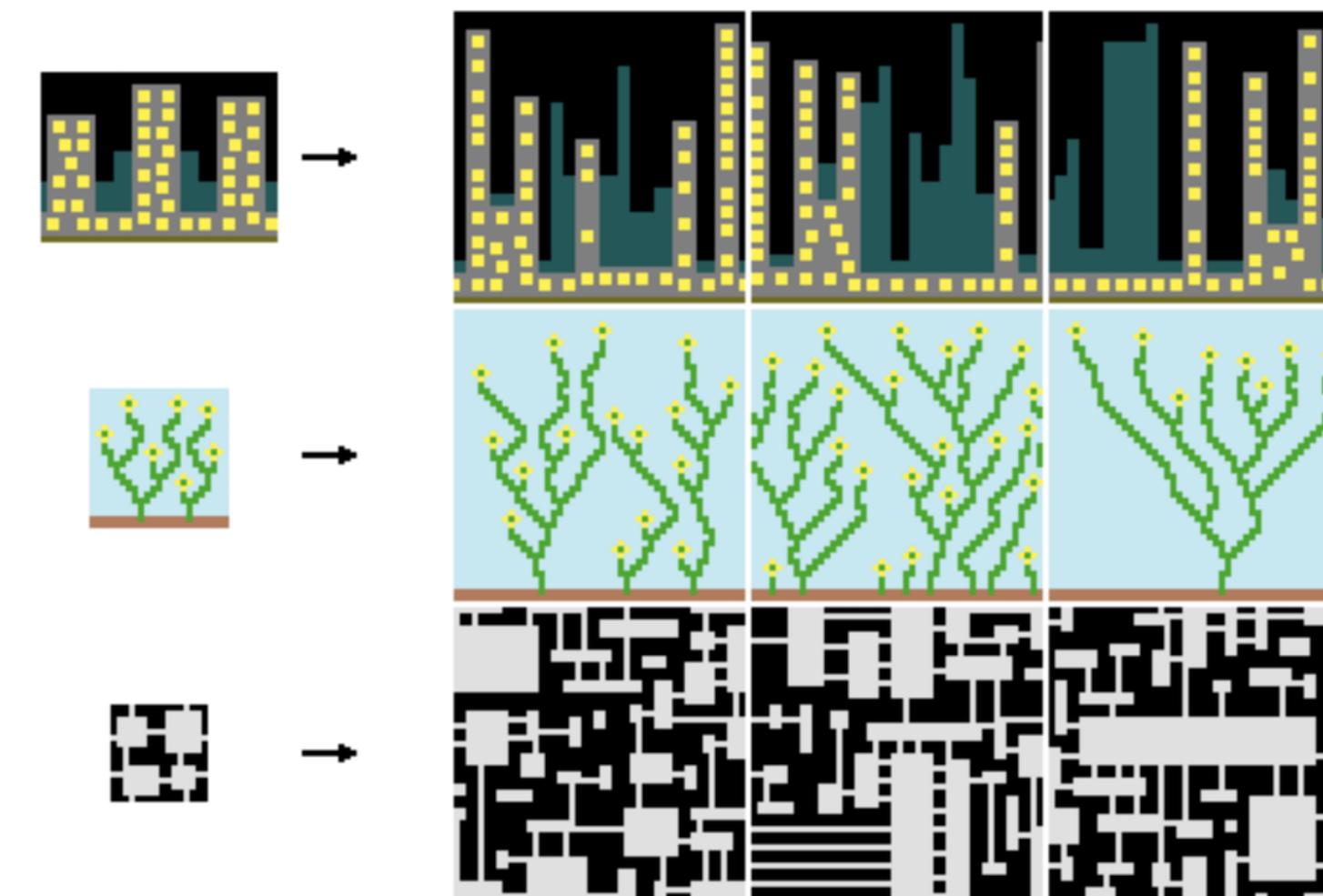
Os métodos baseados em aprendizado inferem uma distribuição de probabilidade de um determinado conjunto de dados de conteúdo e amostram a partir dessa distribuição.

## 1. Modelos de Markov

Elara Brightblade  
Isolde Fireheart  
Liana Moonshadow  
Thalissa Stormrider  
Sylas Blackthorn  
Evaine Whitewing

Ex.: Nomes

## 2. Wave Function Collapse



Ex.: Texturas e Mapas

## 3. Redes Neurais Artificiais (RNAs)



Ex. Imagens, Texto, Música, ....

Atualmente, PCG está centrado em RNAs e, particularmente em Large Language Models (LLMs), pois eles podem gerar conteúdo dos mais diversos com qualidade impressionante:

## Arte Conceitual



Concept art for a female human D&D character;  
warrior; brave; 4k, hand drawn, sketch

## Nomes

Elara Brightblade

Isolde Fireheart

Liana Moonshadow

Thalissa Stormrider

Sylas Blackthorn

# Próxima aula



## A24: Narrativas

- ▶ Filmes de Animação (cutscenes)
- ▶ Sistemas de Missões (quests)