

TEMA 1  
Aula 3

---

# TEMA 1

# Algoritmos Genéticos

## Aula 3

21out

- fundamentos: conceito / modelo / operadores / algoritmo

# Artificial Life

---

Karl Sims – Evolving Creatures (1994)

[https://www.youtube.com/watch?v=JBgG\\_VSP7f8](https://www.youtube.com/watch?v=JBgG_VSP7f8)

## Morfologia

- corpo: membros / articulações
- controle: propósito / movimentos & ações
- evolução genética

# Algoritmo Genético

---

Caixeiro viajante (traveling salesman)

<https://www.youtube.com/watch?v=KdrfFFWwWiU>

<https://www.youtube.com/watch?v=Lw-91UORjx4>

<https://www.youtube.com/watch?v=q6fPk0--eHY>

Adaptação genética de redes neurais

<https://www.youtube.com/watch?v=8V2sX9BhAW8>

# Algoritmos Evolucionários e Genéticos

## categorias / propostas

---

### Algoritmos evolucionários

- Algoritmos (estratégias) evolucionários
  - (Rechenberg, 1965)
  - Métodos para evolução de soluções de problemas
- Programação evolucionária
  - (Fogel, 1966)
  - Quando aplicados para o desenvolvimento de programas
- Algoritmos genéticos
  - (Holland, 1975)
  - Métodos evolutivos baseados no uso de codificação genética
- Programação genética
  - (Koza, 1992)
  - Quando aplicados para o desenvolvimento de programas

# Algoritmos Evolucionários e Genéticos

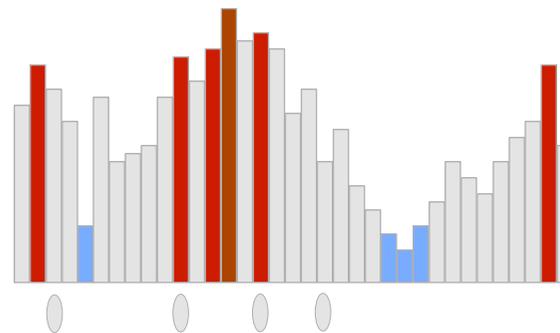
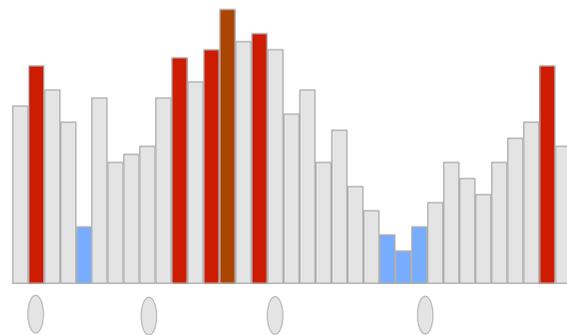
## fundamentos

---

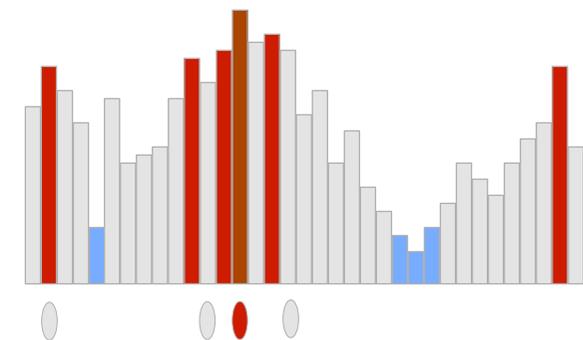
O que é?

- mecanismo de busca num espaço de soluções
- Buscamos uma solução (indivíduo) num espaço de soluções
  - Um bom indivíduo
  - Esperando poder encontra-lo sem precisar testar todos!!!
  - Com base em alguma coerência entre vizinhos
    - Quem está por perto não costuma ser tão diferente

# Algoritmos Evolucionários e Genéticos fundamentos



AG é um procedimento para escolher sucessivas amostras com a expectativa de chegar cada vez mais próximo da melhor situação



# Algoritmos Evolucionários e Genéticos

## fundamentos

---

Quando é interessante?

- Quando a dimensão deste espaço é intratável
  - Ou seja quando não se pode testar cada solução pelo fato de que tal ação excede em muito a capacidade (tempo) disponível
- Ex dimensões intratáveis:
  - $\sim 10^{80}$  número átomos universo
  - $\sim 10^{120}$  número de possíveis estados no xadrez
  - $10^{6000}$  6.000 semáforos em SP; 10 estados/semáforo

# Algoritmos Evolucionários e Genéticos

## fundamentos

A exploração de diferentes indivíduos permite vasculhar o enorme espaço de soluções

- entendendo-se cada indivíduo como uma particular solução do problema, e o espaço de soluções como aquele que contempla a todas as possíveis soluções

Particularmente indicado em casos em que o espaço é muito grande (ex:  $10^{30}$ )

- situações em que explorar todas as soluções na busca da melhor é algo intratável, e em que não há conhecimento da função que qualifica cada solução (se houver e for conhecida pode-se ter uma solução analítica simples – ex função linear, ou derivável, basta ver o seu máximo!)

# Algoritmos Evolucionários e Genéticos

## fundamentos

---

### Computação evolucionária

- Métodos *bottom-up* para desenvolvimento de sistemas e processos
- Podem apresentar princípios associados à
  - Criatividade
  - Emergência (surgir algo novo)

# Algoritmos Genéticos

## princípios

### Algoritmos genéticos

- Princípio
  - Método de embasamento estatístico
  - Sucessiva alteração de indivíduos numa população segundo um critério norteador do processo
    - Mecanismo de avaliação da qualidade dos indivíduos (*fitness*)
  - Codificação genética dos indivíduos, sobre a qual operam os procedimentos de reprodução e mutação
    - Permitem manter boas (melhores) características dos indivíduos da população enquanto exploram também outras novas
      - Início: sistema exploratório – favorece novas características
      - Fim: sistema conservativo – favorece a manutenção das melhores características obtidas

# Algoritmos Genéticos

## princípios

---

### Algoritmos genéticos

- Busca por caminhos para um destino
  - Identificar uma boa seqüência de etapas para atingir o objetivo
- Busca por soluções
  - Procurar por uma boa solução do problema (ou ótima)
    - Quando o espaço de possíveis soluções é de altíssima dimensão

# Algoritmos Genéticos

## princípios

---

### Algoritmos genéticos

- Exemplo
  - Evolução de máquina de estados que define o comportamento de um robô virtual (WoxBot)
    - Máquina (estados e transições) codificada geneticamente
    - Métrica de avaliação de desempenho: o sucesso do robô em procurar pirâmides evitando cubos
    - Procedimentos de reprodução genética:
      - cruzamento
      - mutação

# Algoritmos Genéticos

## princípios

---

- Identificação do individuo (aquilo que se quer melhorar)
- Codificação genética do indivíduo (para permitir o uso de operadores genéticos)
- Criação de sucessivas gerações da população (diversos indivíduos com algumas diferenças entre si, representadas nas diferentes codificações genéticas)
- Avaliação e ranking de todos os indivíduos
- Criação de novos indivíduos (nova geração) a partir dos atuais por reprodução (combinação entre pais) e mutação (pequenas alterações aleatórias)

# Algoritmos Genéticos

## conceito

---

### Individuo

- Cada solução é representada por um indivíduo

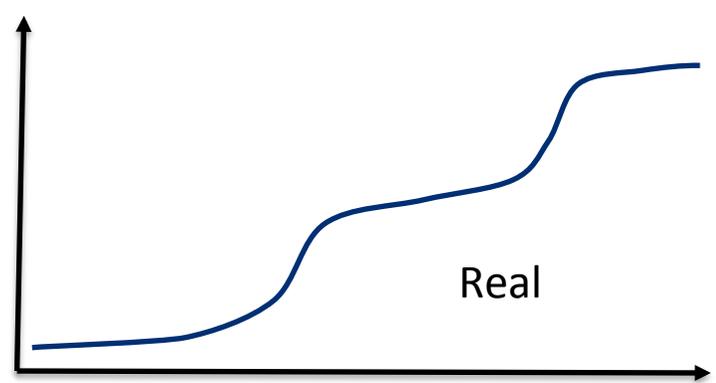
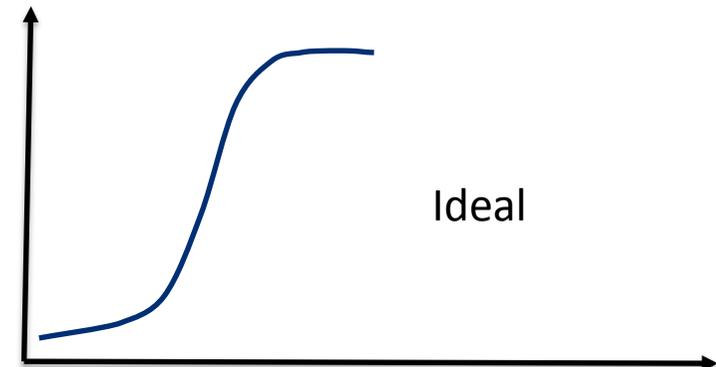
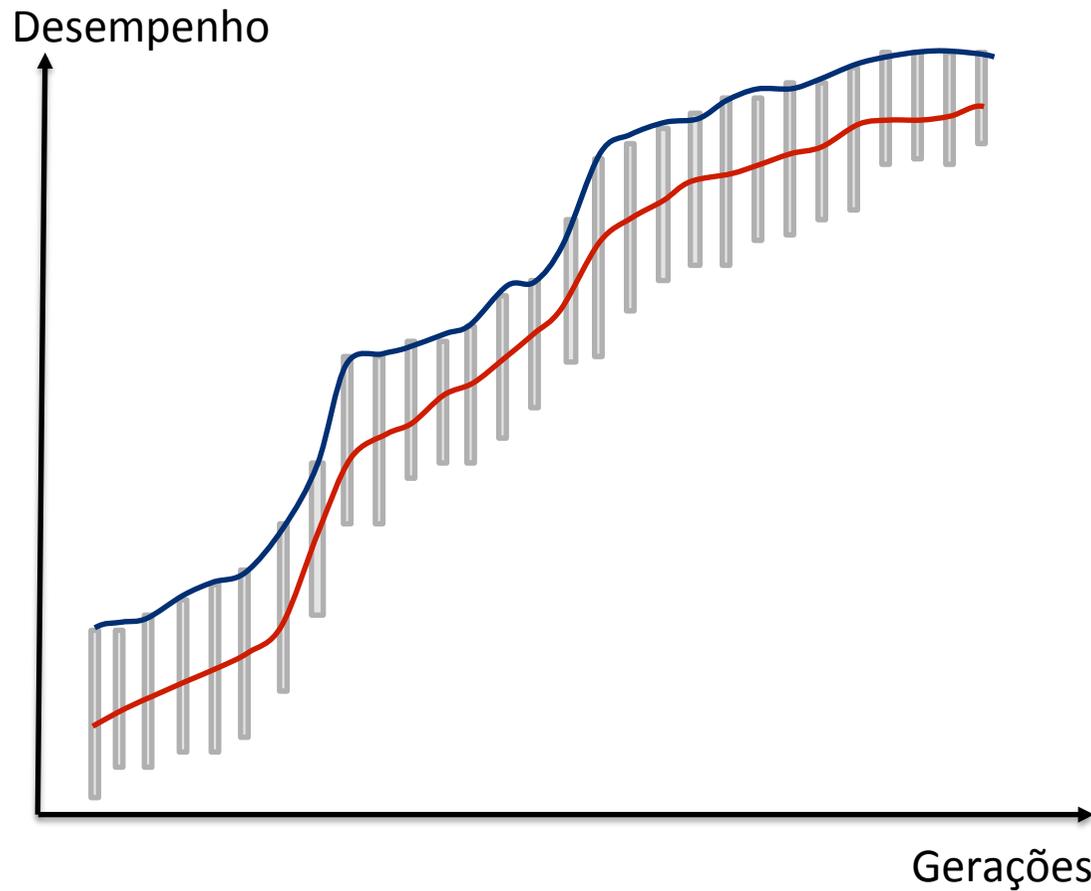
### População

- Conjunto parcial de soluções é representado por uma população

### Gerações

- Ao longo de diversas gerações se observa uma mudança no perfil dos indivíduos da população que vão se especializando (chegando mais próximos da melhor)

# Algoritmos Genéticos conceito



# Algoritmos Genéticos

## modelo

---

### Fenótipo

- O individuo em si
- Representa uma possível solução do problema tratado

### Genótipo

- Uma codificação (binária) do indivíduo

# Algoritmos Genéticos

## modelo

---

A maior dificuldade esta em garantir a consistência do fenótipo com base no genótipo

- Correspondência biunívoca

Cada novo genótipo tem que poder corresponder a um fenótipo (indivíduo ou solução) possível (consistente)

- Modelos homogêneos
  - Fácil
- Modelos heterogêneos
  - Pode ser difícil
  - Eventualmente necessite de validadores do processo construtivo

# Algoritmos Genéticos

## modelo

---

Ex: individuo é um animal (consistência estrutural)

- O cruzamento (reprodução) deve produzir um novo individuo que mantenha as mesmas características dos seus pais, combinando-as
  - Pernas mais longas (pai) e braços mais curtos (mãe)
- O que não pode acontecer é por exemplo surgir algo com os pés na cabeça!

# Algoritmos Genéticos

## modelo

Embora o exemplo anterior pareça obvio, nem sempre é fácil de se garantir tal consistência

- Ex: individuo corresponde a um conjunto de rotas de ônibus
- Um novo individuo deve corresponder a um novo conjunto de rotas, mas deve-se garantir por exemplo que a cobertura das mesmas seja completa (toda a cidade)
- E ao se misturar dois conjuntos de rotas isso pode não ser trivial. Ex, o filho pode herdar dois conjuntos de rotas de uma região da cidade deixando outra região descoberta

# Algoritmos Genéticos

## modelo

---

O primeiro e talvez mais importante ponto a ser trabalhado quando se trabalha com algoritmos genéticos é o da especificação do modelo do individuo (fenótipo) e de um correspondente código (genótipo) que o represente

Não parece haver uma regra para isso. Cada projeto deve ser tratado independentemente, analisando suas características e procurando uma representação que permita uma manipulação consistente

# Algoritmos Genéticos

## operadores

---

Operadores agem sobre o genótipo com efeito sobre o fenótipo

Altera-se o código e com isso transforma-se o individuo

# Algoritmos Genéticos

## operadores

---

### Reprodução

- novo individuo composto a partir da composição (partes) de seus pais
  - Pais escolhidos considerando probabilisticamente seus desempenhos
    - melhores levam vantagem, mas piores não são excluídos!

### Mutação

- novo individuo transformado aleatoriamente
  - mutações tem baixa ocorrência (3% a 10%)
  - dentre as ocorrências as pequenas alterações são mais frequentes (lei das potencias inversas – terremotos!)

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

### Representação / Codificação

Ex: Automato

estados e transições

número de estados (vamos considera-lo fixo)

número de transições (entre mínimo e máximo)

código: cada transição

implícito (posição no código):  $E_i/C$

explícito (valor):  $E_f$

6 estados / de 0 a 3 transições por estado

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

Representação / Codificação

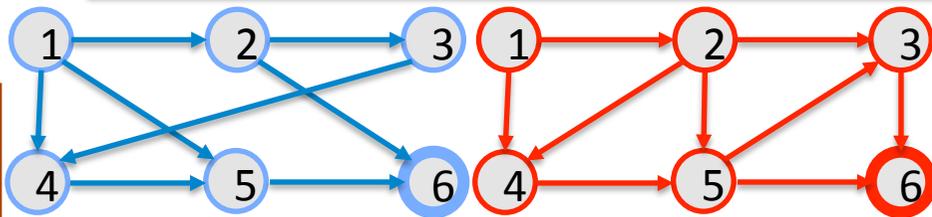
Ex: Automato

Cross Over

2 pais gerando 2 filhos

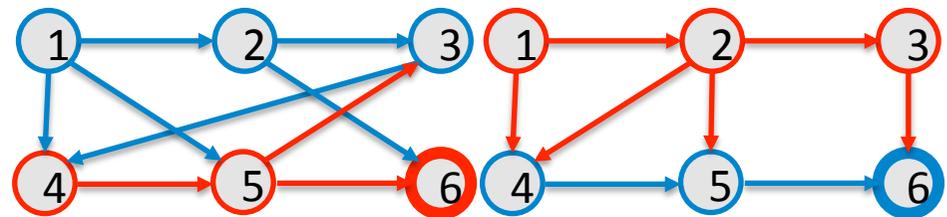
Compostos a partir de parte de cada um dos pais

# Algoritmos Genéticos exemplo / procedimento



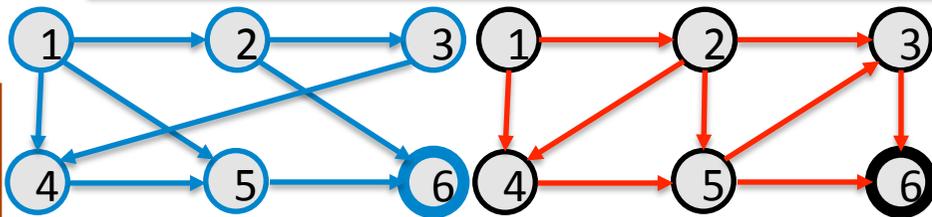
Reprodução 1 (1-3 / 4-6)

Ef: (Ei C)	a	b	c	Ef: (Ei C)	a	b	c
1	4	2	5	1	4	2	
2	3		6	2	3	4	5
3			4	3			6
4		5		4		5	
5			6	5	3		6
6				6			



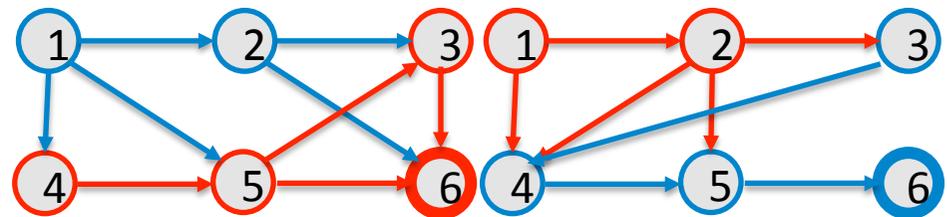
Ef: (Ei C)	a	b	c	Ef: (Ei C)	a	b	c
1	4	2	5	1	4	2	
2	3		6	2	3	4	5
3			4	3			6
4		5		4		5	
5	3		6	5			6
6				6			

# Algoritmos Genéticos exemplo / procedimento



Reprodução 2 (1-2 / 3-6)

Ef: (Ei C)	a	b	c	Ef: (Ei C)	a	b	c
1	4	2	5	1	4	2	
2	3		6	2	3	4	5
3			4	3			6
4		5		4		5	
5			6	5	3		6
6				6			

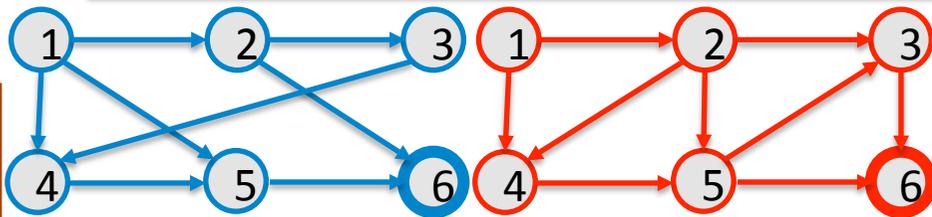


Ef: (Ei C)	a	b	c	Ef: (Ei C)	a	b	c
1	4	2	5	1	4	2	
2	3		6	2	3	4	5
3			6	3			4
4		5		4		5	
5	3		6	5			6
6				6			

4 2 5 3 2 6 3 3 4 4 5 4 5 5 6 6 6 6

4 2 1 3 4 5 3 3 6 4 5 4 3 5 6 6 6 6

# Algoritmos Genéticos exemplo / procedimento

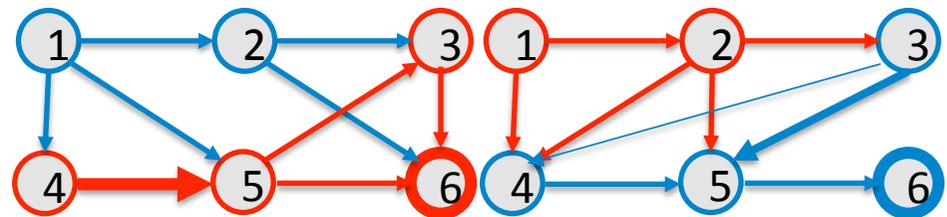


Ef: (Ei C)	a	b	c	Ef: (Ei C)	a	b	c
1	4	2	5	1	4	2	
2	3		6	2	3	4	5
3			4	3			6
4		5		4		5	
5			6	5	3		6
6				6			

4 2 5 3 2 6 3 3 4 4 5 4 5 5 6 6 6 6

4 2 1 3 4 5 3 3 6 4 5 4 3 5 6 6 6 6

Reprodução 2 (1-2 /3-6)  
com Mutação (3 / 4)



Ef: (Ei C)	a	b	c	Ef: (Ei C)	a	b	c
1	4	2	5	1	4	2	
2	3		6	2	3	4	5
3			6	3			5
4	5			4		5	
5	3		6	5			6
6				6			

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

Pseudo código

Criação da população inicial (n indivíduos)

Avaliação de cada individuo e ordenação (ranking)

Criação da nova população

- seleção de pares para reprodução (quem)

- seleção do critério de reprodução (como)

- reavaliação (novos indivíduos)

- escolha dos indivíduos da nova população

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

Pseudo código

Criação da população inicial (n indivíduos)

*aleatória (normalmente a melhor forma – generalidade)*

*ou*

*segundo algum critério*

*ex: homogeneamente distribuídos no espaço de soluções*

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

Pseudo código

Avaliação de cada individuo ....

*avaliação individual (desempenho natural)*

*ou*

*avaliação por competição (torneios: um contra o outro(s))*

... e ordenação (ranking)

mantendo os melhores

*ou*

*favorecendo os melhores (maiores chances)*

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

Pseudo código

Criação da nova população

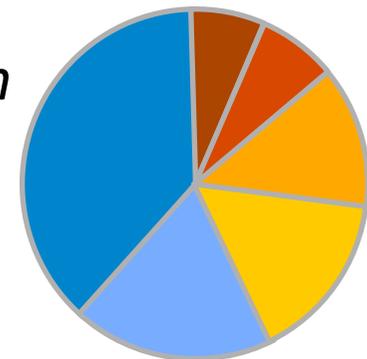
seleção de pares para reprodução (quem)

*aleatória*

*ou*

*favorecendo os melhores*

*proporcionalmente ao desempenho de cada um*



# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

Pseudo código

Criação da nova população

seleção de critérios para reprodução (como)

*definição do ponto de quebra do código*

*fixa*

*ou*

*aleatória*

*agregando mutação*

*chance de mutação e ponto de mudança*

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

Pseudo código

Criação da nova população

reavaliação

# Algoritmos Genéticos

## exemplo / procedimento

---

Pseudo código

Criação da nova população

escolha dos indivíduos da nova população

*mantendo os melhores (elitismo)*

*ou*

*favorecendo os melhores*

*ou*

*aleatória*

*ou*

*alguma combinação das anteriores*

# Algoritmos Genéticos

## conclusão

---

### Método genérico

- para procura de soluções
- para evoluir (melhorar) soluções

### Próxima aula

- estudo de alguns casos
  - Woxbot (robô que evolui para sobreviver por mais tempo)
  - Genpolis (sistema de procura por uma carta semafórica mais eficiente)

# Algoritmo Genético

---

Caixeiro viajante (traveling salesman)

<https://www.youtube.com/watch?v=KdrfFFWwWiU>

<https://www.youtube.com/watch?v=Lw-91UORjx4>

<https://www.youtube.com/watch?v=q6fPk0--eHY>

Adaptação genética de redes neurais

<https://www.youtube.com/watch?v=8V2sX9BhAW8>









# TEMA 1

# Algoritmos Genéticos

## Aula 4

21out

- aplicações: exemplos / simulações / vídeos
- (modelagem do individuo)
- exemplos: woxbot / genpolis
-

# Algoritmos Genéticos exemplos

---

## WOXBOT

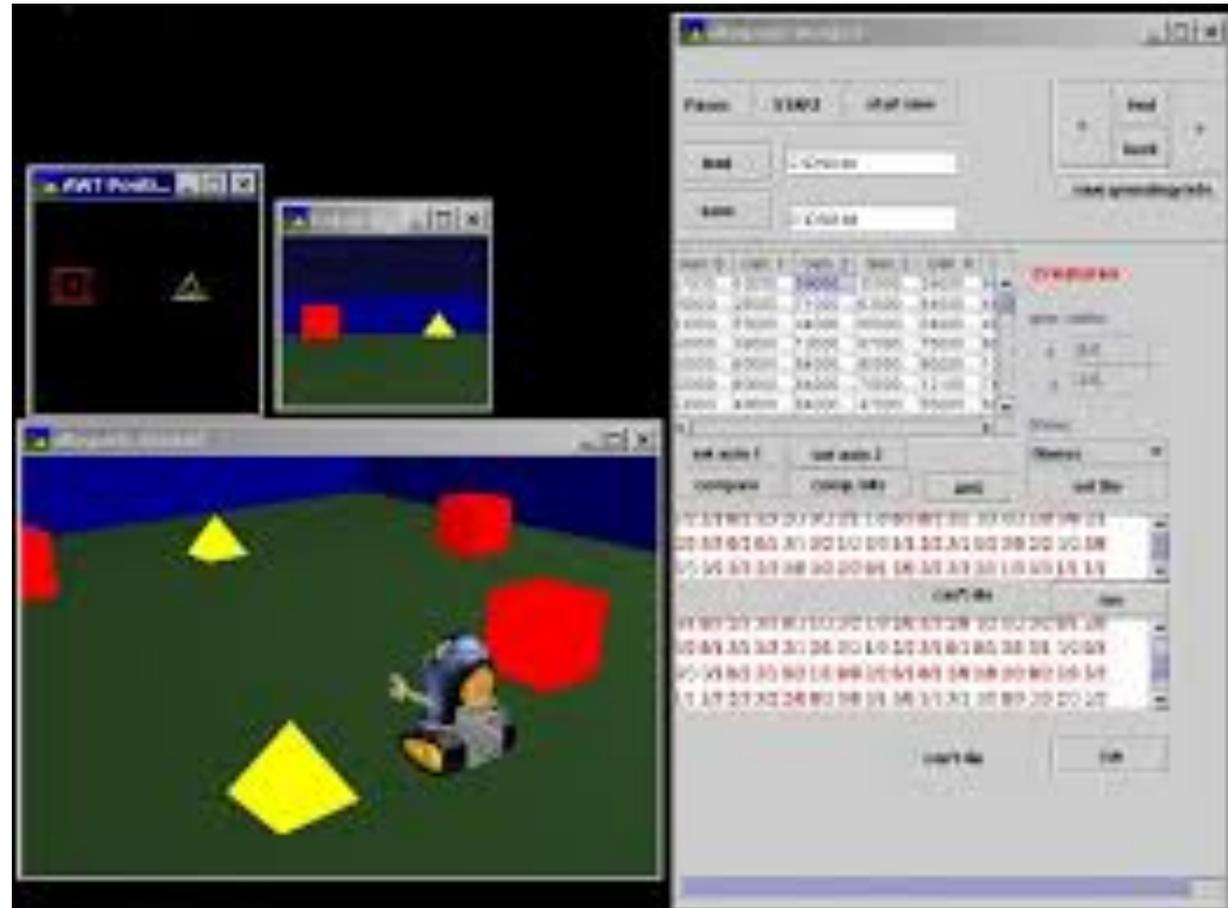
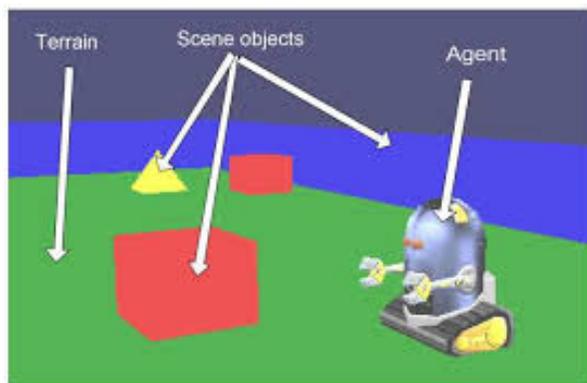
um robô controlado por autômato que evolui

## GENPOLIS

plano semafórico que evolui

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT



# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

### Robô

vive numa arena (ambiente)

- onde se encontram cubos (roubam energia)
- e pirâmides (fornecem energia)
- onde se movimenta livremente

consome energia de forma contínua, precisando portanto encontrar fontes onde possa se recarregar

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

### Robô

Dotado de sensor visual (câmera com redes neurais)

- câmera captura imagens do ponto de vista do robô
- RNA previamente treinada reconhece objetos na cena
  - identificando cubos e pirâmides
  - reportando sua localização relativa
    - frente, direita, esquerda / perto, longe
- Informação repassada para o centro de decisões (MEF)

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

### Robô

Controlado por um autômato evolutivo (decisor)

- estados correspondem a ações
  - Seguir em frente, virar a direita ou esquerda
  - Em consequência do que se movimenta na cena
  - Podendo então (MEF adequada) perseguir alguns objetos e evitar outros

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

### Robô

Controlado por um autômato evolutivo (decisor)

- evolui ao longo de gerações de modo a conduzir a um robô mais adaptado ao ambiente
  - *vida prospera e longa (Dr Spock, Star Trek)*
- sem que haja interferência do criador do robô
- adaptação é autônoma!
  - Favorece robôs que procuram pirâmides enquanto evitam cubos (acumulam mais energia, tendo então vida mais longa)

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

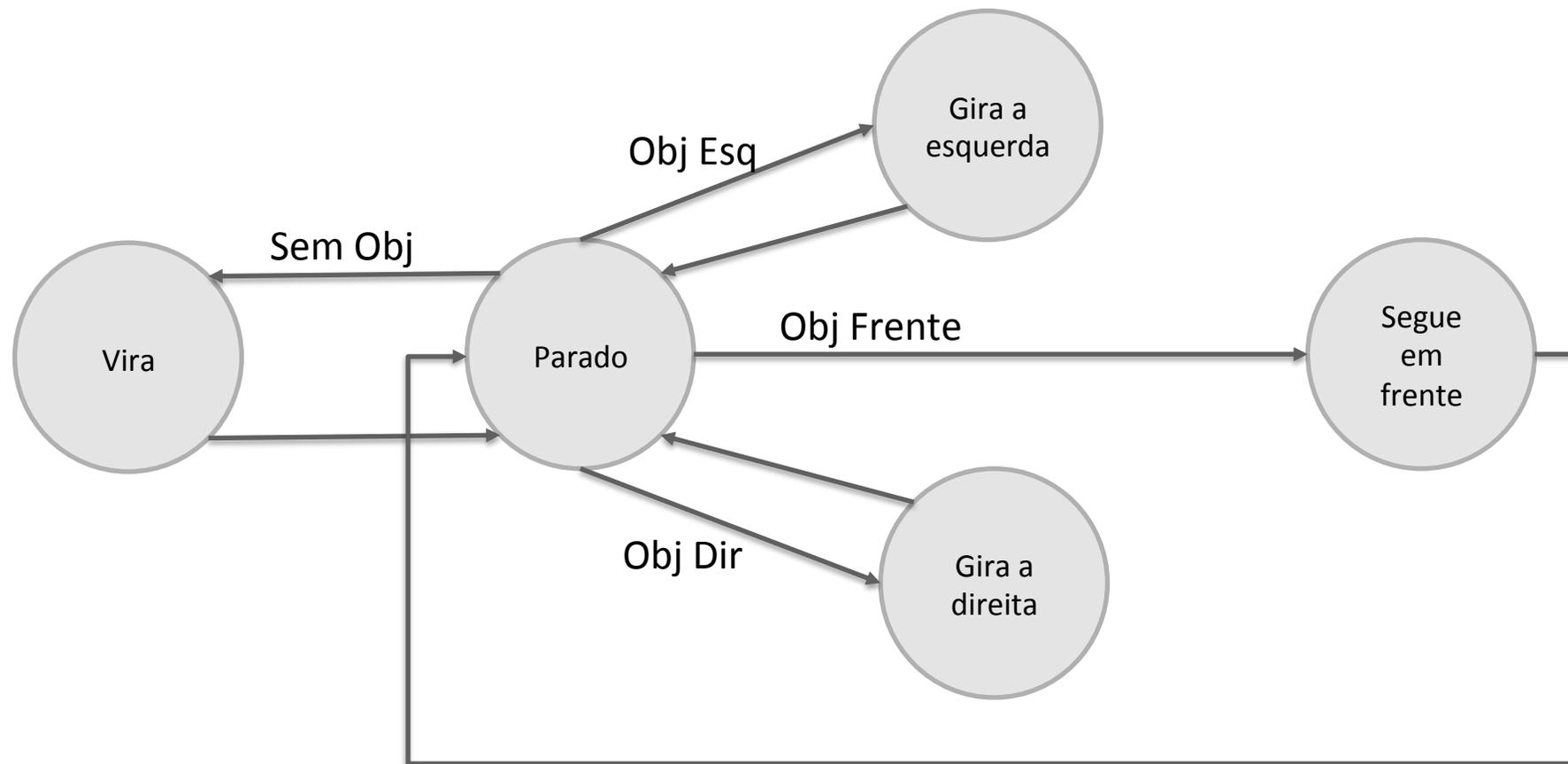
Robô melhor adaptado é aquele de mais rapidamente tomar decisões corretas a partir dos objetos identificados, de modo a ir ao encontro das pirâmides enquanto evita os cubos

Encontrar a FSM ideal não é tarefa trivial. Existem diversas opções (estratégias para reger o comportamento)

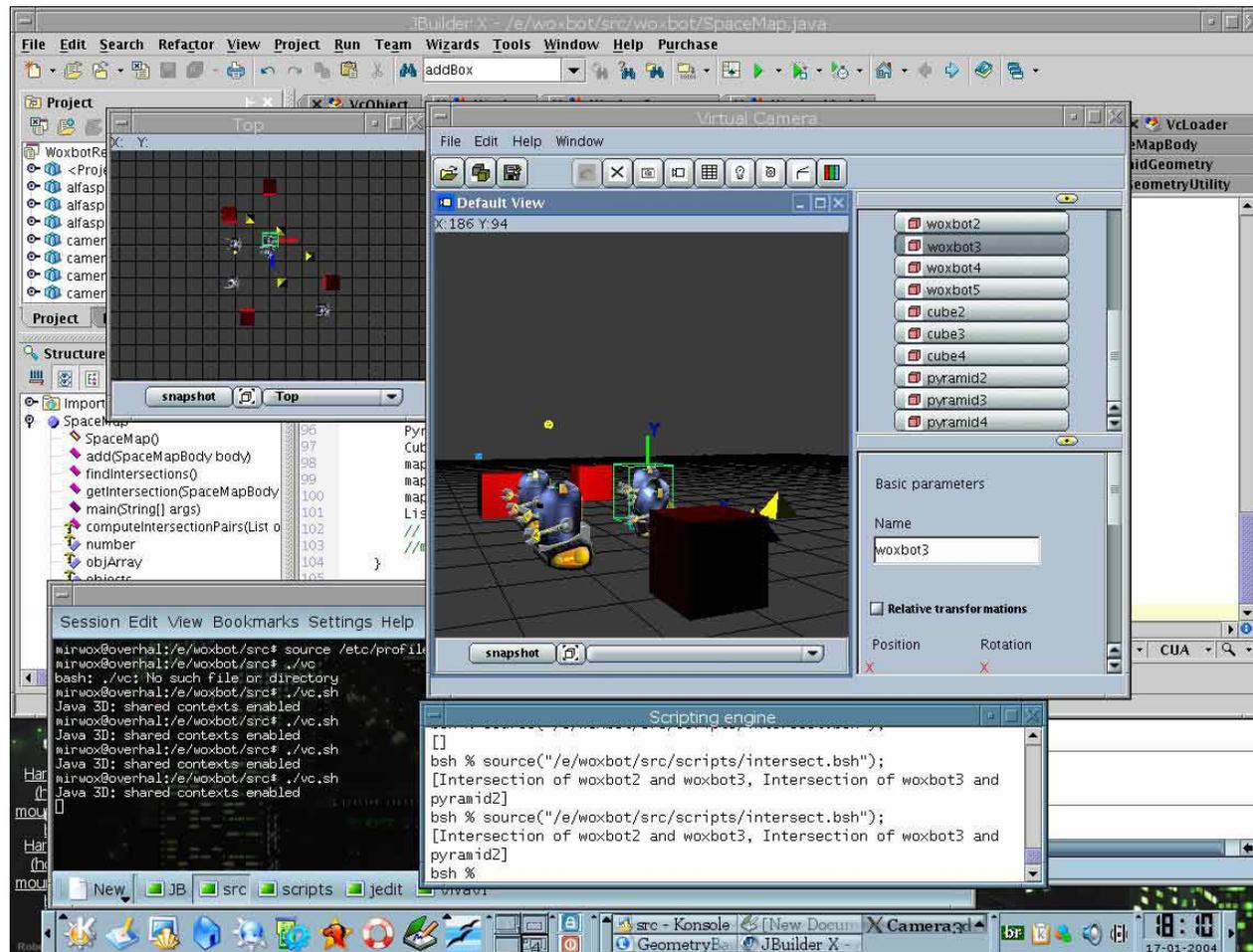
O bom é que podem ser encontradas de forma autônoma usando conceitos adaptativos / evolutivos

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT



# Algoritmos Genéticos WOXBOT



# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

Recolhimento dos exercícios feitos em casa

Discussão das propostas – semelhanças e diferenças

Análise do processo mental humano que levou ao resultado  
neste caso nós fizemos tudo

Comparação com o método computacional evolutivo  
neste caso nós participamos, definindo critérios e  
condições de contorno

Representação com vistas a Codificação

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

Para resolver um problema é fundamental defini-lo bem

E então compreender quais estratégias parecem mais adequadas (número de estados, graus de percepção, o que parece ser a melhor ação em cada situação)

Mesmo que a solução venha a ser encontrada computacionalmente (de forma autônoma por métodos evolutivos) ela só acontece depois que tiverem sido definidas as condições de contorno do problema

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

Neste caso compõe a condição de contorno  
número de estados adequado  
nem tão pouco que não consiga lidar com o problema  
nem tanto que torne seu tratamento difícil

Temos que definir os estados?

é mais fácil definir o significado de cada estado a priori  
mas pode ser deixado para que seja definido pelo AG, só que neste caso  
se cria um problema a mais (como automatizar a definição / significado  
de cada estado)

Temos que definir as transições?

não, neste caso cabe ao processo evolutivo fazê-lo  
mas temos que definir o conjunto de condições a ser avaliado

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

Neste caso compõe a condição de contorno  
graus de percepção (condições de transição)  
nenhum, um ou mais objetos no campo visual  
melhor decisão em cada caso

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

Se partirmos de estados pré-definidos, deixaremos para a evolução a busca ótima das transições  
é mais simples, mas também mais restritivo

Se deixarmos tudo livre, podemos imaginar que seja possível encontrar um modelo mais robusto, mas cujo custo (tempo computacional) seja maior (proibitivo?)

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

Resumindo, a intervenção de um projetista ainda se faz necessária

Nem tudo é criado ou emerge a partir do nada de forma autônoma

Apenas damos condições para que mecanismos automáticos (por nós concebidos / programados) possam intervir e então criar autonomamente o que esperamos deles (neste exemplo a MEF)

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

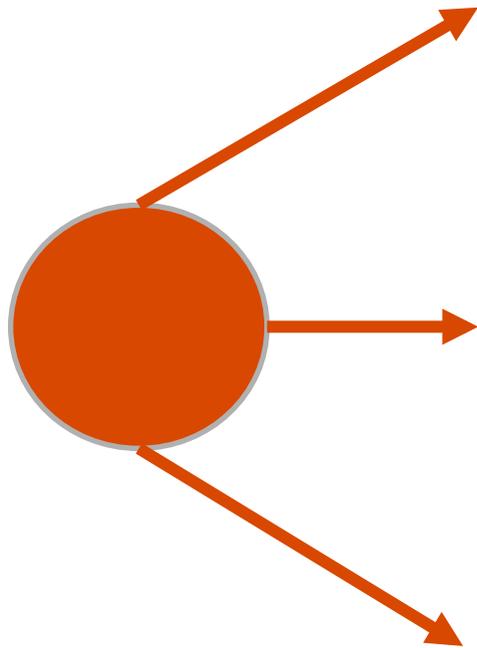
---

De qualquer forma a ideia é que o AG seja capaz de fazer boas escolhas, o que pressupõe que o elenco de itens a escolher seja definido a priori

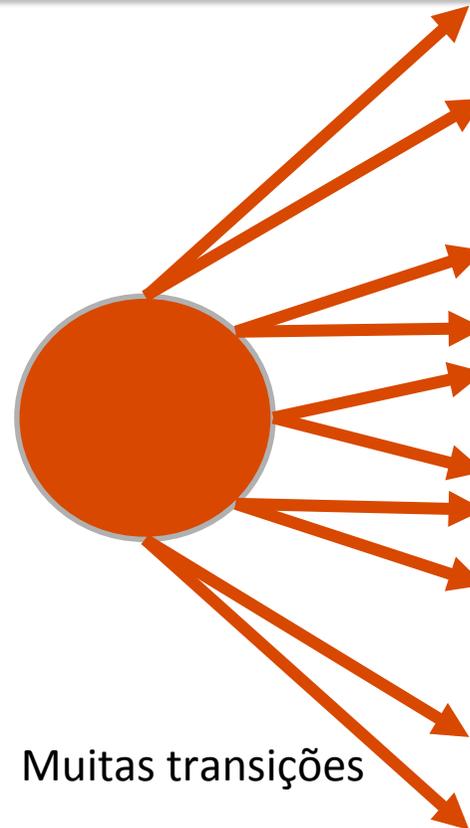
por exemplo todos os estados possíveis, dos quais o AG escolheria alguns (ou usaria todos)

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT



Poucas transições

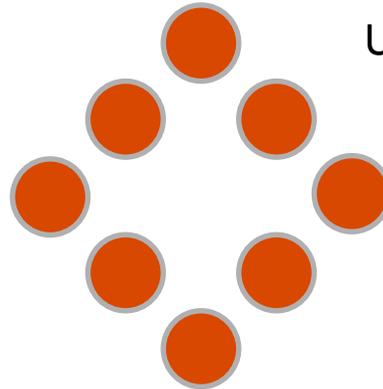


Muitas transições

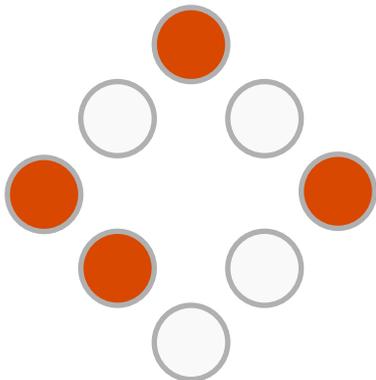
# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

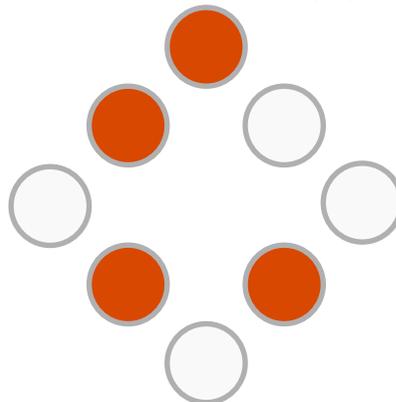
Universo de estados possíveis (8)



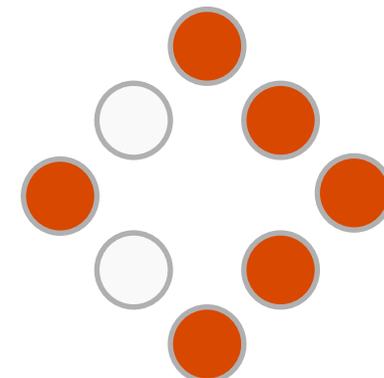
MEF 1:  
com alguns estados (4)



MEF 2:  
com outros estados (4)

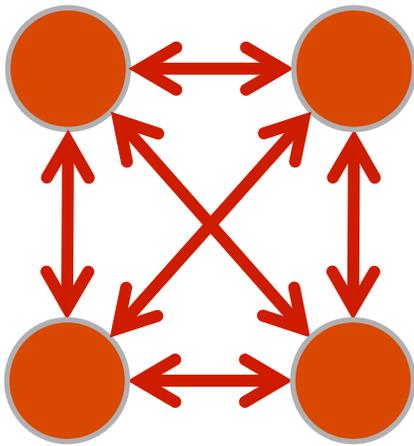


MEF n:  
com outros estados (6)



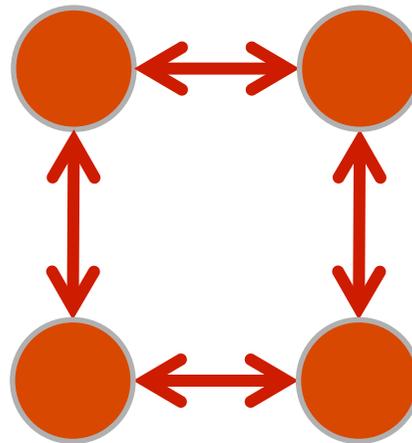
# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT



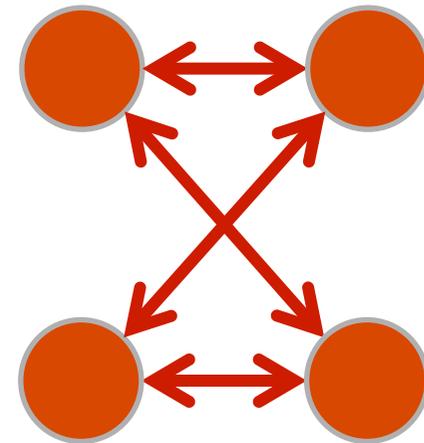
Rede pequena  
Poucos estados

Totalmente conectada



Rede pequena  
Poucos estados

Parcialmente conectada

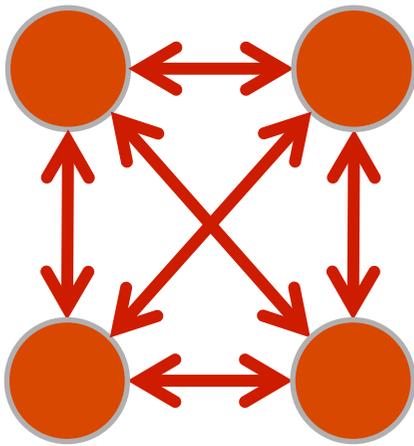


Rede pequena  
Poucos estados

Parcialmente conectada

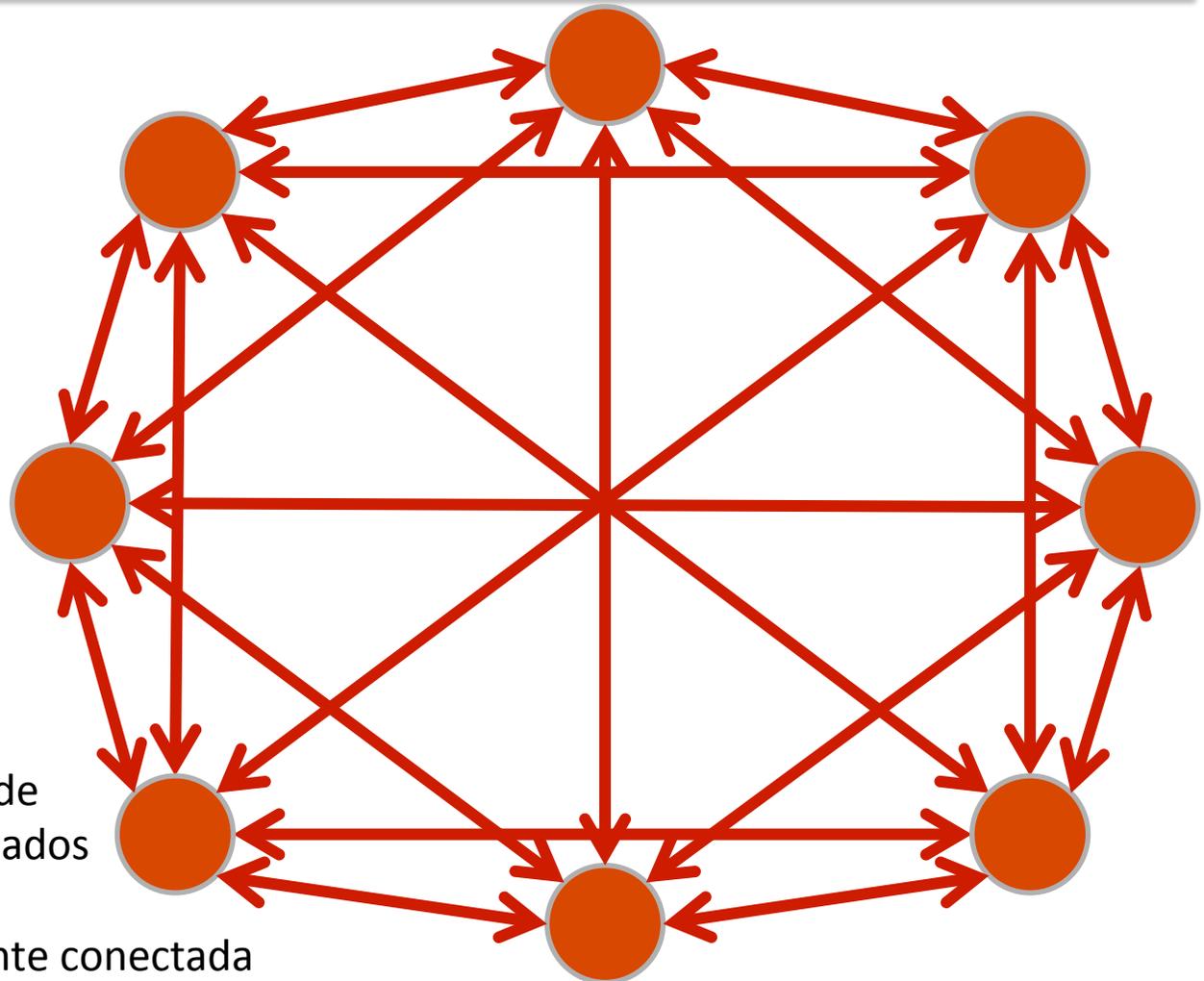
# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT



Rede pequena  
Poucos estados

Totalmente conectada



Rede grande  
Muitos estados

Parcialmente conectada

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

Construção das redes

conexão completa ou parcial  
homogênea ou não (alguma hierarquia)

O que quer que seja, o conceito deve ser escolhido para poder ser definido entre os critérios que serão usados pelo AG na busca por novas configurações

A menos da configuração completa e homogênea, as demais correm o risco de levar a redes desconexas no processo de reprodução

Neste caso pode-se proceder com as averiguações de consistência ou simplesmente deixar isso em aberto (estas redes tem menores chances de serem boas e serão provavelmente descartadas)

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

O mesmo vale para as transições, e neste caso se resume a definir o conjunto de todas as situações que podem ser vislumbradas

neste caso é razoável supor que tenhamos que criar classes

um objeto, dois objetos, vários objetos

localização: segmentada

direita, direita-centro, centro, ...

próximo, intermediário, longe

# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

### DISCUSSÃO

#### CONSTRUÇÃO CONJUNTA DE UMA REDE (FSM)

escolha de critérios

proposição de uma arquitetura (FSM)

identificação de dúvidas, problemas, ...

# Algoritmos Genético

## Tráfego/Mobilidade Urbana

---

Rotas de ônibus (campus da USP)

Descrição do problema

matriz origem destino

escolha dos pontos (aglomeração)

Representação das rotas

# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

---

### Plano Semafórico

qual a carta de tempos que propicia o melhor escoamento do tráfego numa determinada condição?

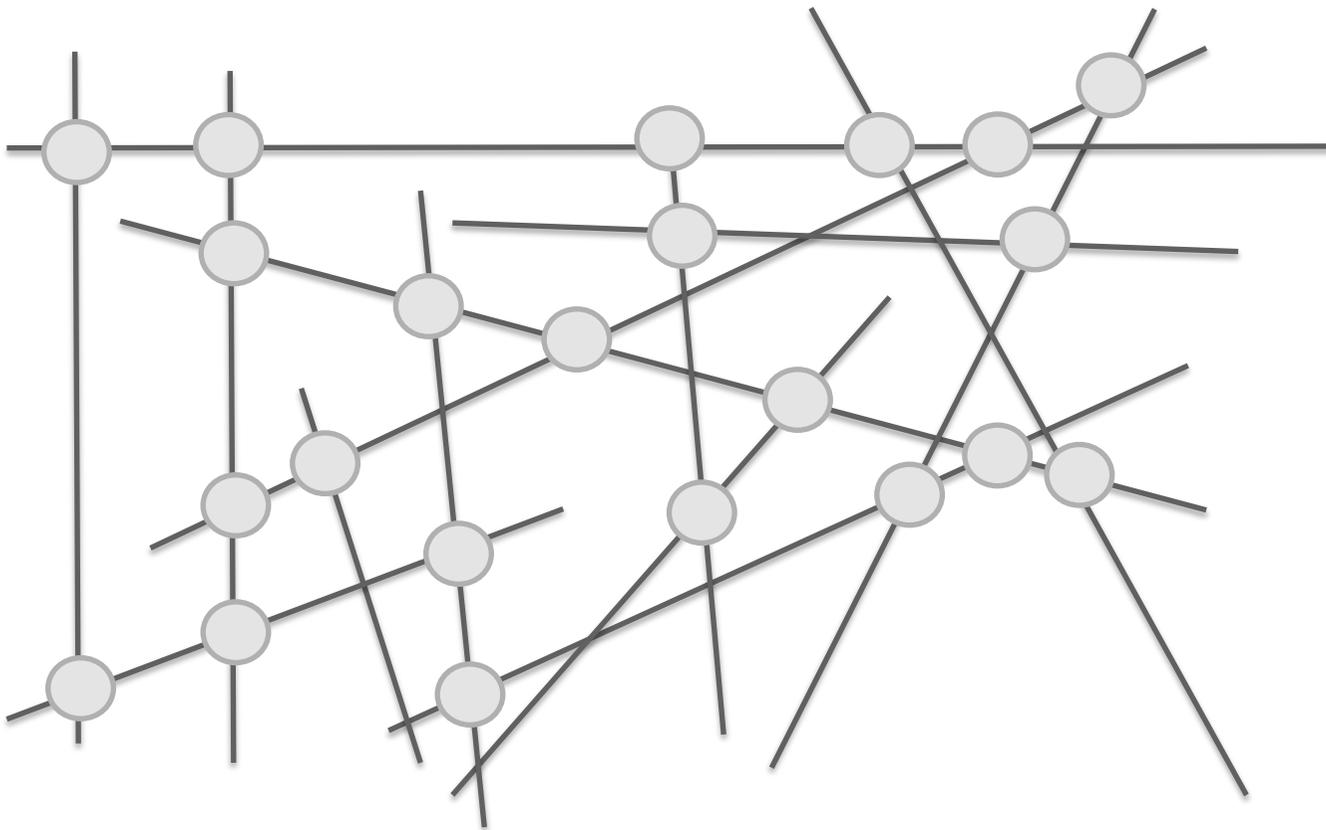
por condição entende-se a situação do trânsito (densidade de veículos na malha) considerando padrões (medias históricas) por faixa horaria

aumentar o tempo de verde para favorecer o fluxo num cruzamento (para uma das vias) tem efeito nos cruzamentos seguintes da rede, da mesma forma que é afetada por cruzamentos anteriores

Trata-se portanto de um problema de otimização de caráter global (distribuído)

# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS





# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

---

AG – propõe sucessivas soluções, combinando soluções anteriores

SIMULADOR – avalia o impacto de cada nova solução (carta semafórica) no escoamento do trafego

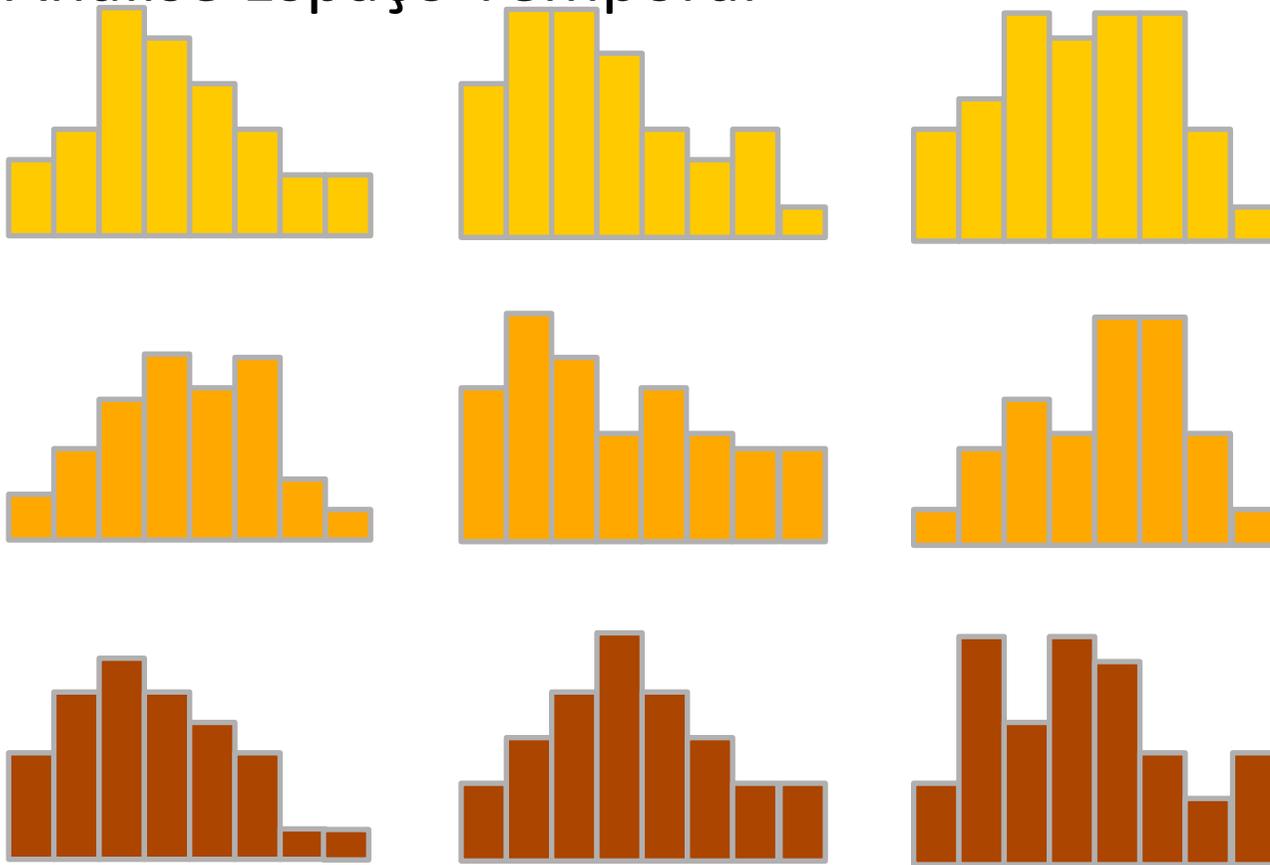
DADOS INICIAIS – obtidos a partir de medidas / observações da realidade, discriminado por faixas horarias (intervalos de duas horas)

assumindo que exista um padrão médio de trafego nestas janelas temporais que seja mantido com pouca dispersão

# Algoritmos Genéticos

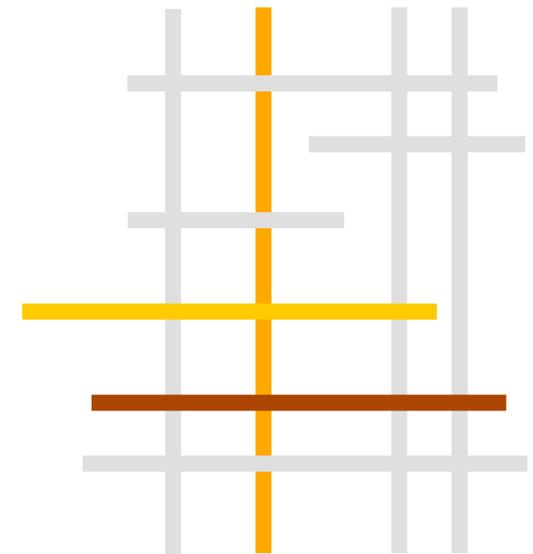
## GENPOLIS – situação original

### Análise Espaço Temporal



Dia Faixa Horária

Trecho Via

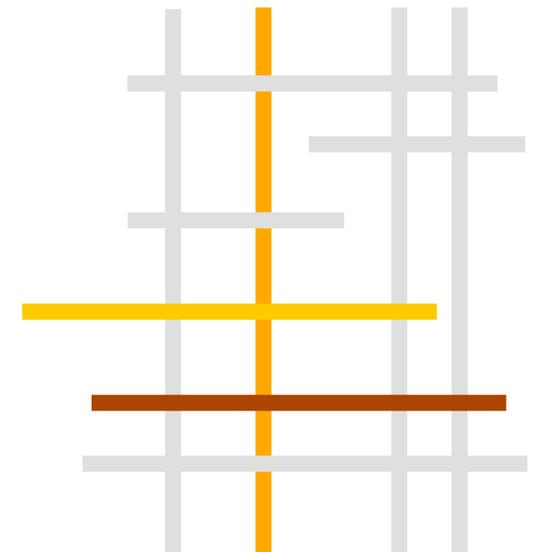
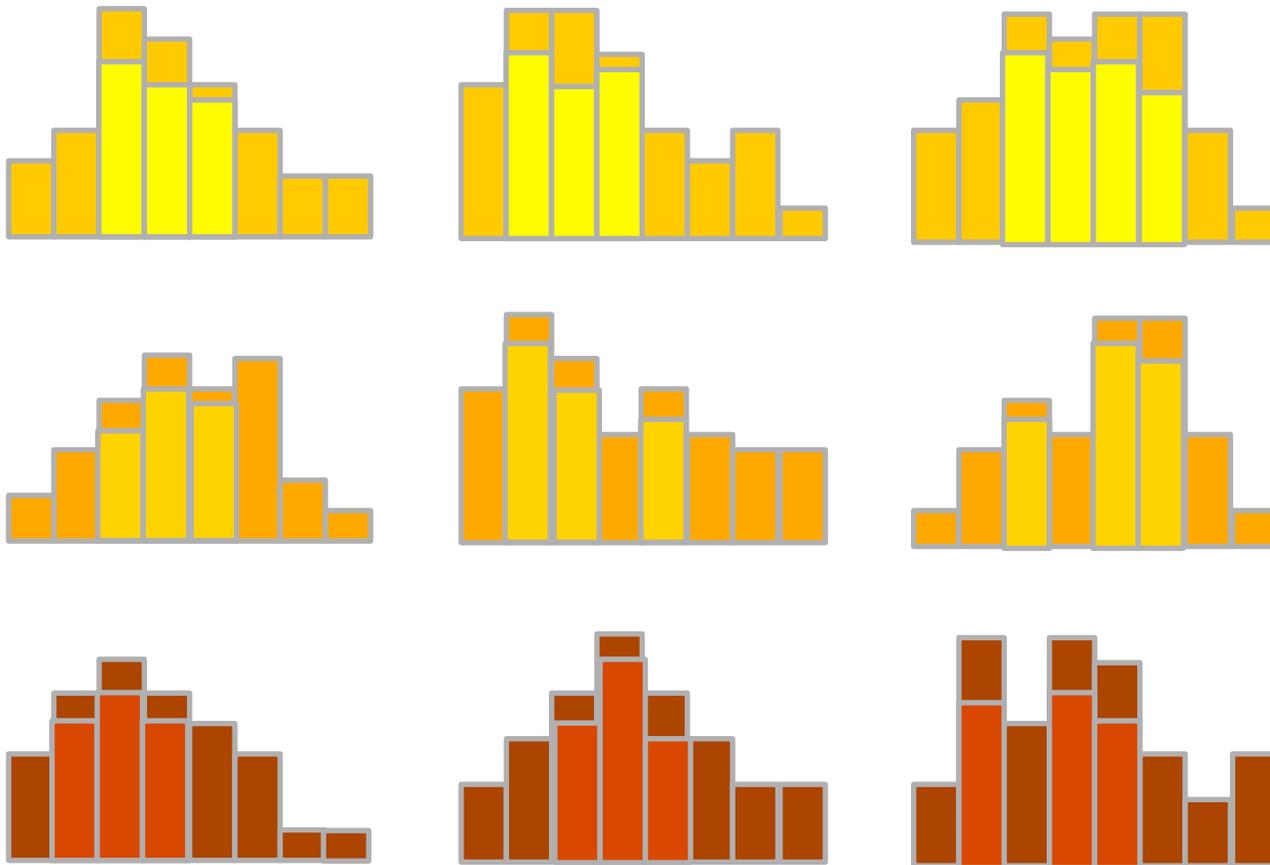


# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS – situação melhorada

Dia Faixa Horária

Trecho Via



# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

### Carta Semafórica

		gerações						
		G1	G2	G3	G4			GF
cruzamentos	C1	30/30	35/25	40/20	50/10	45/15	40/20	<b>35/25</b>
	C2	20/40	20/40	25/35	35/25	30/30	25/35	<b>30/30</b>
	C3	10/50	20/40	40/20	35/25	30/30	25/35	<b>25/35</b>
	Cn	10/50	20/40	40/20	35/25	40/20	45/15	<b>40/20</b>
	Km (total) congestionamento	108	98	102	96	92	93	<b>91</b>

# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

### Mapa Genético

tempos	plano
10/50	1
20/40	2
30/30	3
40/20	4
50/10	5

5 estados por semáforo  
40 semáforos na rede considerada

$5^{40}$  possíveis combinações

gene	C1	C2	C3	C4						C40
G1	1	5	3	4						3
G2	3	3	3	1						4
Gn	2	4	2	3						5

# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

### Mapa Genético

tempos	plano
05/55	1
10/50	2
15/45	3
20/40	4
25/35	5
30/30	6
35/25	7
40/20	8
45/15	9
50/10	10
55/05	11

11 estados por semáforo  
40 semáforos na rede considerada

$11^{40}$  possíveis combinações

gene	C1	C2	C3	C4						C40
G1	1	8	3	8						5
G2	3	6	3	9						7
Gn	4	7	2	7						9

# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

---

Modelagem (definição do gene) é muito simples

Boa simulação (avaliação de cada candidato) é quem consome muito tempo de processamento

Explosão combinatória

Testar todas as possibilidades é impraticável

Tem portanto que explorar coerência entre soluções  
se de fato existir, então com um numero de testes sensivelmente menor que o total é possível se chegar a boas soluções

# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

---

### FIGURAS

Cenário / rede de vias metropolitana

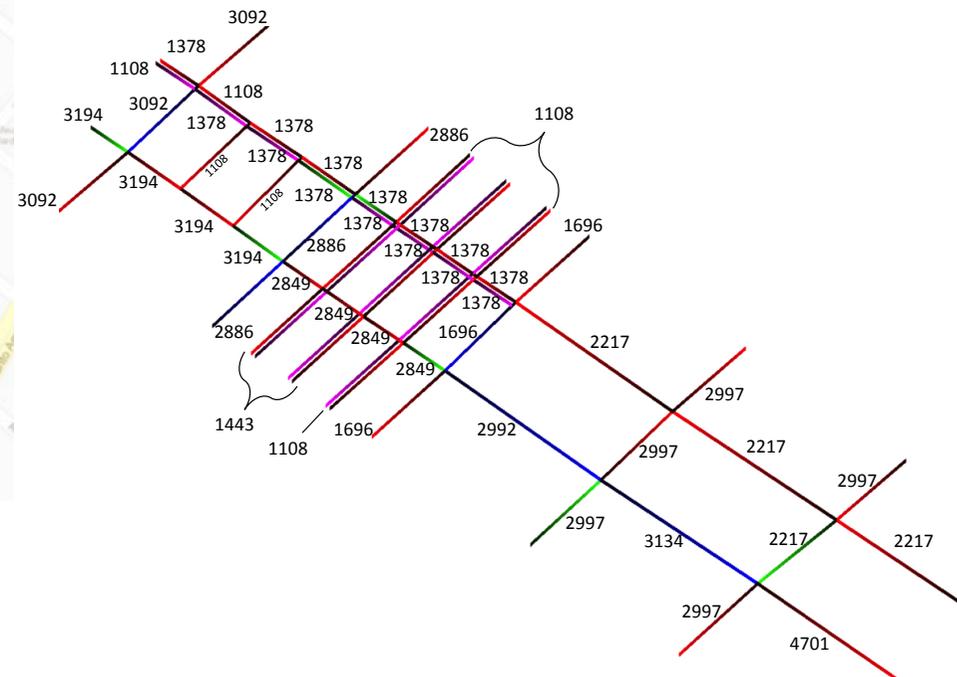
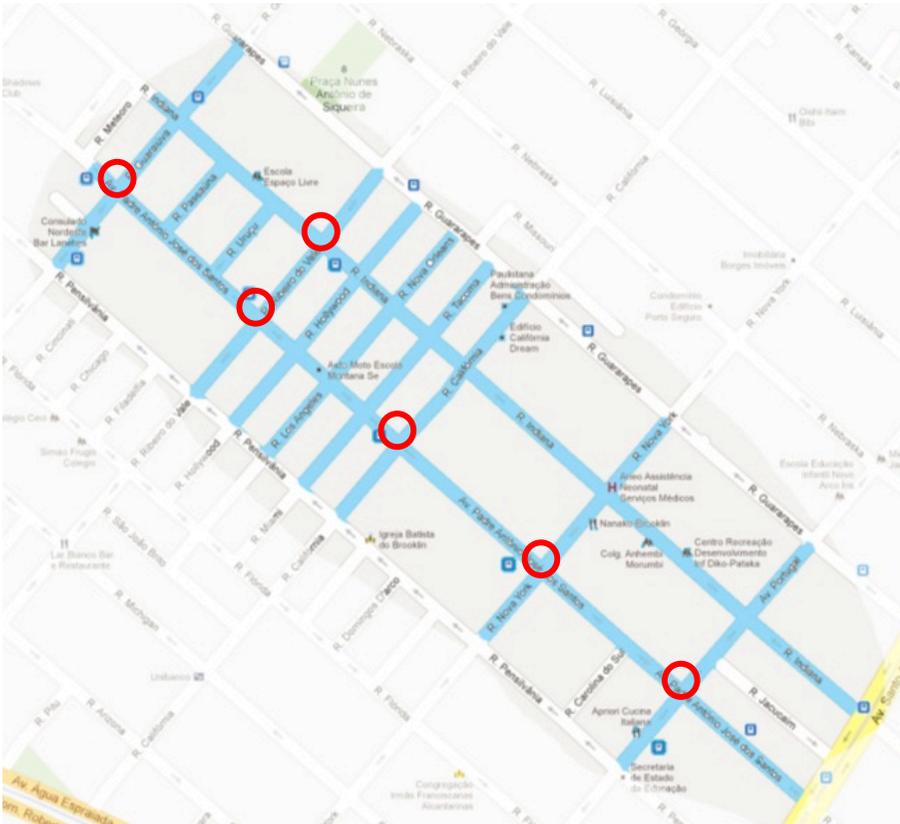
Carta semafórica

Medidas estatísticas (históricas por faixa horaria)

Combinação ideal

# Algoritmos Genéticos

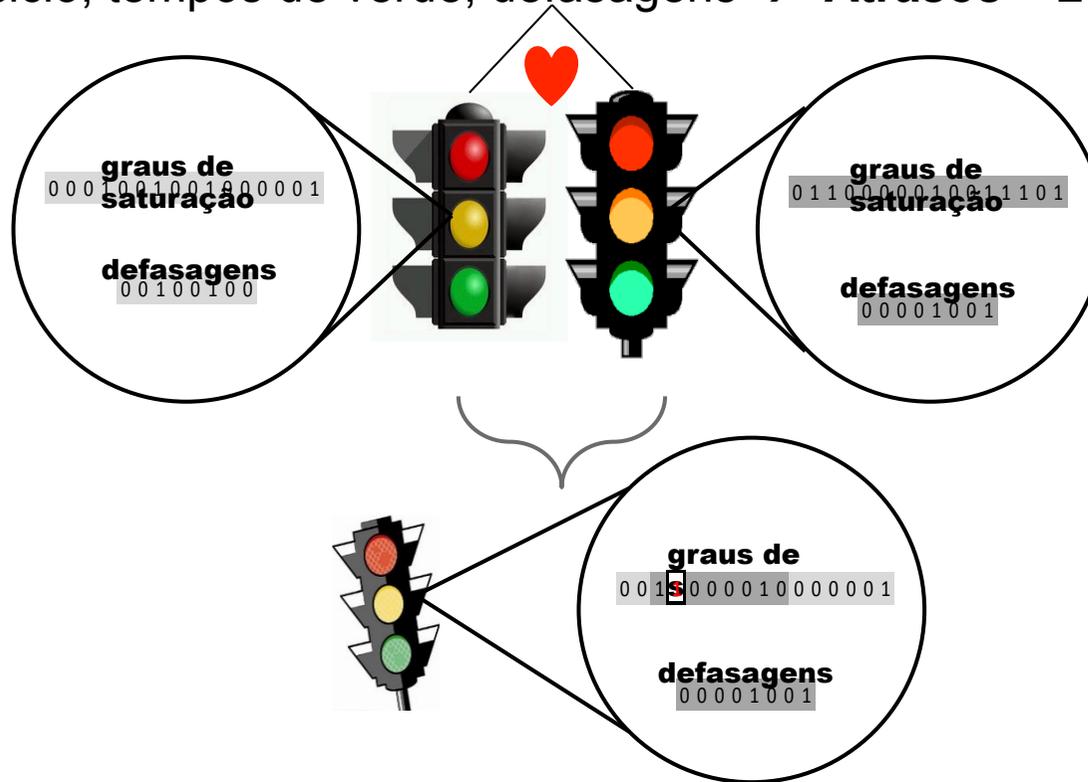
## GENPOLIS



# Algoritmos Genéticos

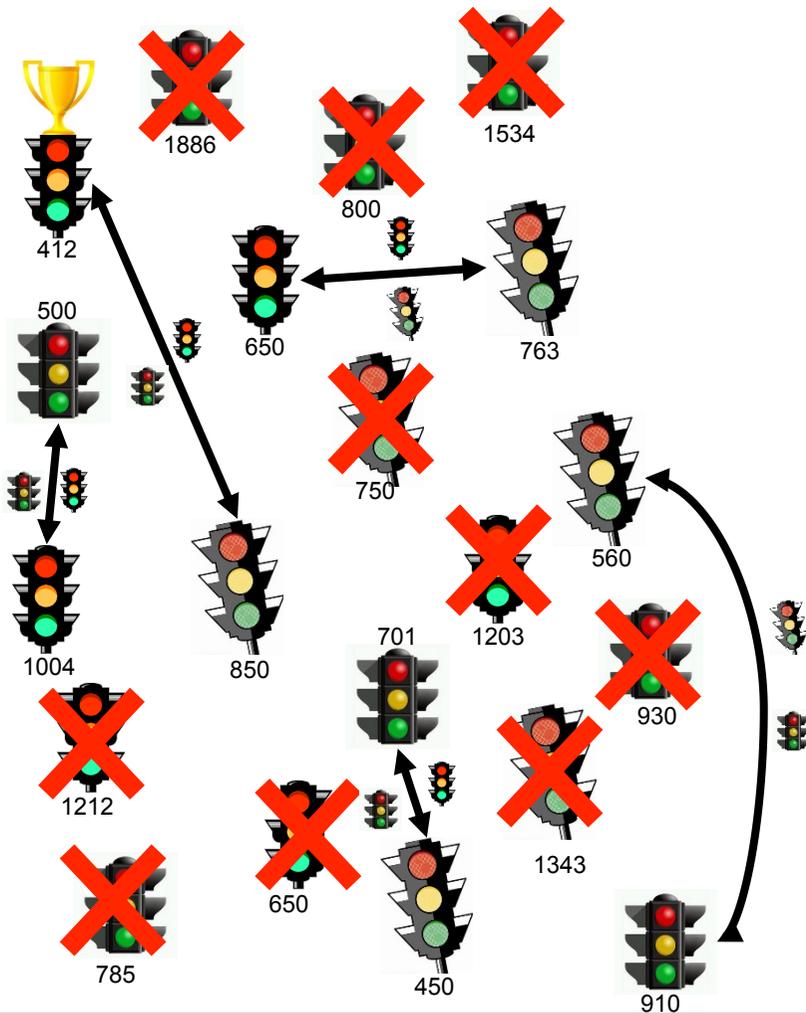
## GENPOLIS

Tempo de ciclo, tempos de verde, defasagens → **Atrasos + 20\*nParadas**

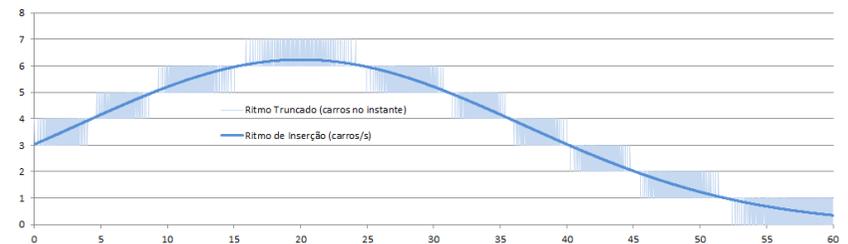


# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS

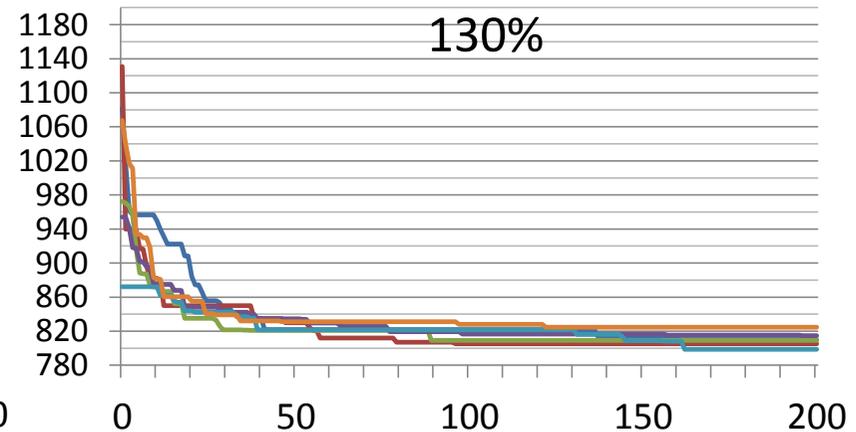
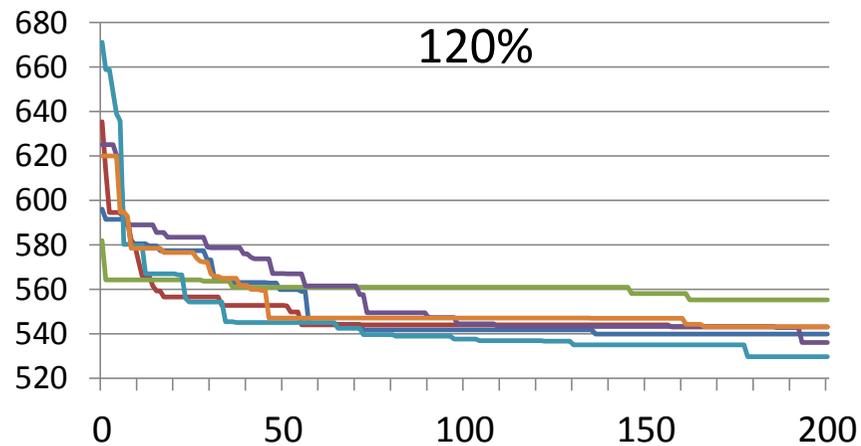
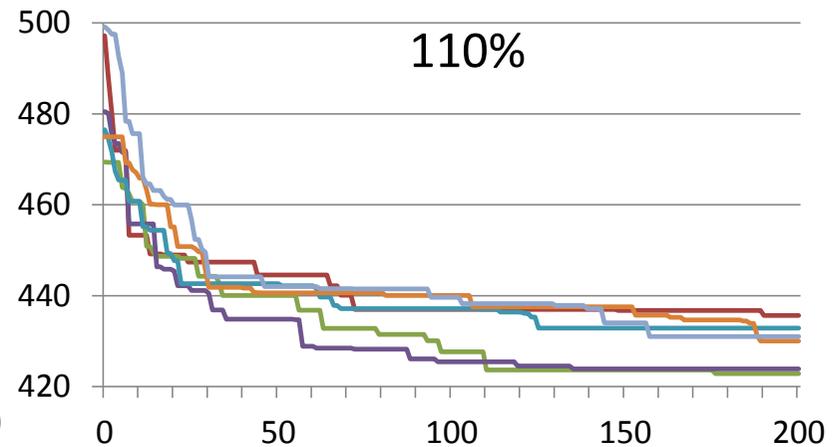
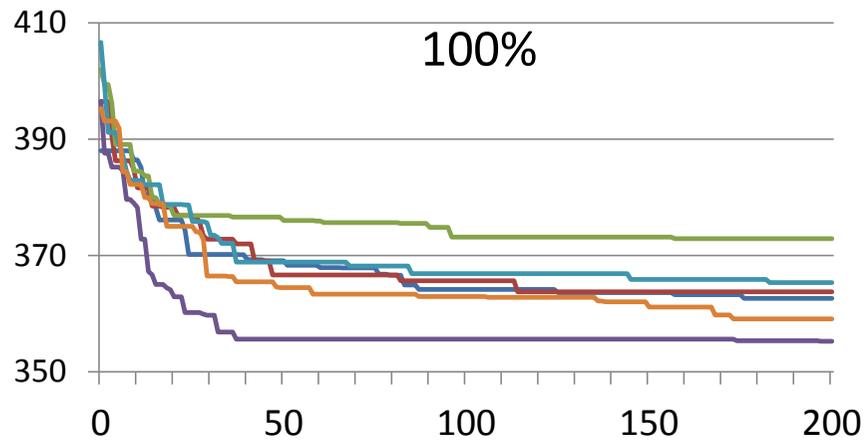


GERAÇÃO 1



# Algoritmos Genéticos

## GENPOLIS



# Algoritmos Genéticos

## WOXBOT

---

Exercício para próxima aula!

Como poderia ser a MEF que persiga pirâmides evitando cubos? Considere no máximo o uso de 8 estados.

Defina cada estado proposto e as condições de transição (dentre categorias resultantes do classificação visual)