



Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em  
Informática Aplicada**



# Computação Evolutiva

---

AULA 03 – INTRODUÇÃO AOS ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS

# Roteiro

---

O que é um algoritmo evolucionário (AE)?

Componentes de um AE

Aplicação de Exemplo

Operação de típica de um AE

AE, otimização global e outros algoritmos de busca

# O que é um Algoritmo Evolucionário?

---

O histórico da CE fornece diversas variantes de algoritmos evolucionários, então é importante tentar estabelecer a forma geral de um AE básico, pois a ideia é a mesma em todas as variantes:

- Dada uma população de indivíduos inserida em algum ambiente com recursos limitados, a competição por estes recursos força o processo de seleção natural (o mais forte sobrevive)
- Dada uma função a ser maximizada que avalia a qualidade das soluções (aptidão ou *fitness*), é possível criar uma população aleatória que respeite o domínio desta função
- A função é calculada sobre a população criada para avaliar os indivíduos de melhor qualidade e estes serão escolhidos para serem sementes da próxima geração de indivíduos
  - Isso é feito aplicando recombinação ou mutação sobre os indivíduos mais aptos (chamados de pais), produzindo um ou mais novas soluções candidatas (os filhos ou descendentes)
- Os descendentes serão avaliados pela função de aptidão e os descendentes mais aptos serão as sementes da próxima geração, e assim por diante
- Esse processo é continuado até que uma solução candidata atinja um nível de qualidade previamente conhecido ou até que algum limite computacional é atingido

# O que é um Algoritmo Evolucionário?

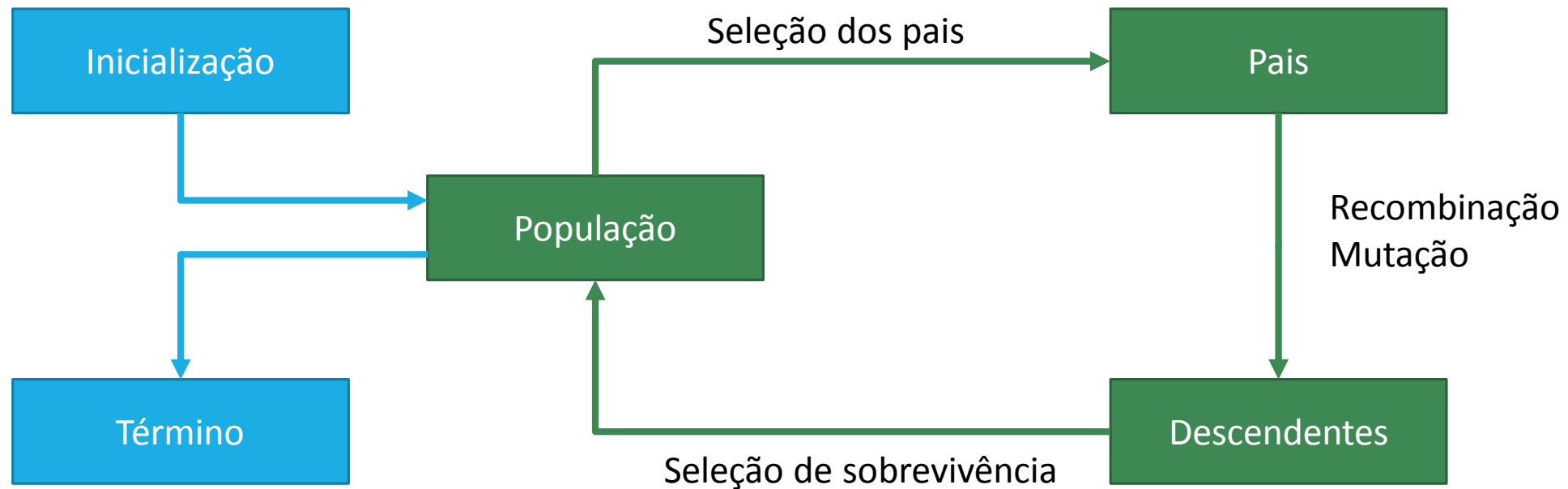
---

As principais forças que formam a base dos sistemas evolucionários são:

- Operadores de variação da população (recombinação e mutação) para criar a diversidade necessária e facilitar a busca por soluções novas
- Operador de seleção para o aumento da qualidade média das soluções da população

A aplicação combinada de variação e seleção é o que permite que melhores soluções sejam encontradas ao longo das iterações!

# O que é um Algoritmo Evolucionário?



# O que é um Algoritmo Evolucionário?

---

Um pseudocódigo...

## INÍCIO

*INICIALIZA* uma *população* com soluções candidatas aleatórias;

*AVALIE* cada solução candidata;

REPITA (até que uma *CONDIÇÃO DE PARADA* é satisfeita)

*SELECIONE* os pais;

*RECOMBINE* pares de pais;

*FAÇA MUTAÇÃO* na solução filha gerada;

*AVALIE* novas soluções candidatas;

*SELECIONE* indivíduos para a próxima geração;

FIM REPITA

FIM

# O que é um Algoritmo Evolucionário?

---

Características dos algoritmos evolucionários:

- EAs são baseados em população, isto é, processam uma coleção inteira de soluções candidatas
- A maioria dos EAs usam recombinação para misturar as informações de duas ou mais soluções para formar uma nova solução
- EAs são estocásticos

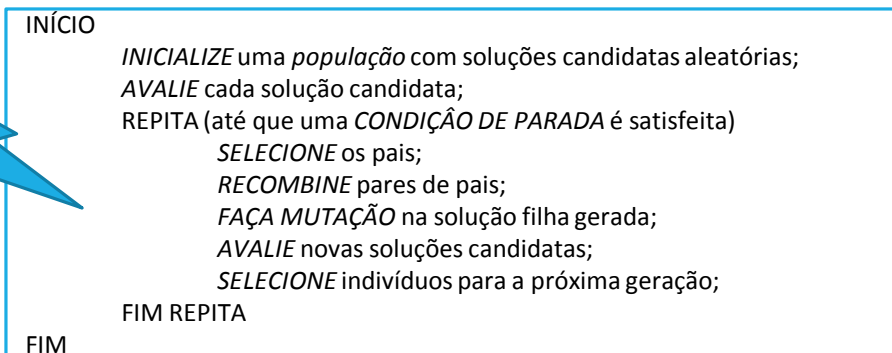


# Componentes de um AE

Os componentes de um AE são os elementos-chave que irão dar a forma para AEs concretos, que serão usados para resolver problemas específicos:

- Representação (definição dos indivíduos);
- Avaliação de aptidão (ou função de *fitness*)
- População
- Mecanismo para seleção dos pais
- Operadores de variação da população (recombinação e mutação);
- Mecanismo de seleção dos sobreviventes (substituição)
- Inicialização
- Condição de parada

São os elementos  
em *itálico* do  
pseudocódigo!



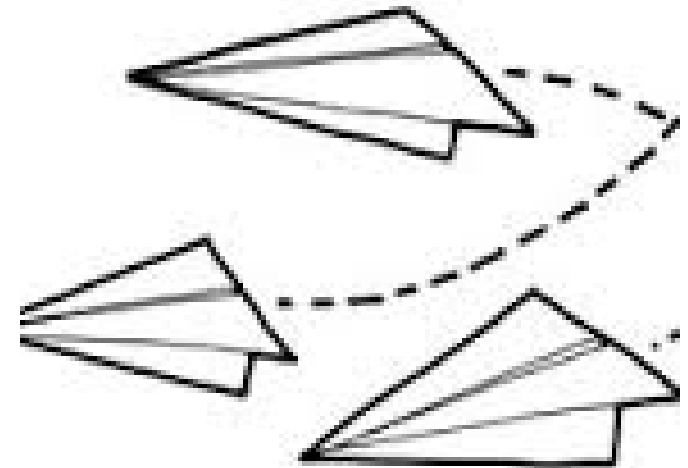


# Componentes de um AE: representação

---

A representação dos indivíduos é a forma de estabelecer um elo entre o “mundo real” e o “mundo do AE”:

- Algumas abstrações/simplificações podem ser necessárias
- O objetivo desta etapa é representar os fenótipos dos indivíduos usando genótipos
  - Há diversas escolhas, pois se os fenótipos forem vários inteiros, é possível representa-los usando inteiros em si ou números binários.
  - Exemplo: o fenótipo 18 pode ser representado por 10010



# Componentes de um AE: representação

A representação dos indivíduos é a forma de estabelecer um elo entre o “mundo real” e o “mundo do AE”:

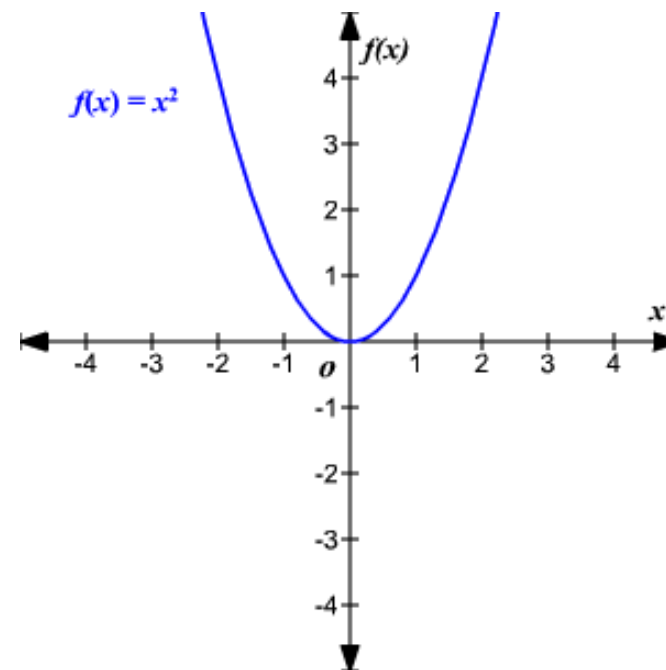
- Há diversos sinônimos usados na literatura para designar os aspectos de representação

Situação	Nomenclaturas e seus sinônimos
Terminologias usadas no contexto do problema original	Solução candidata, fenótipo, e indivíduo
Terminologias usadas no contexto do AE	Cromossomo, genótipo, ou mesmo indivíduo
Nomenclatura para os elementos de um indivíduo	Variável, gene, posição, locus. O objeto que ocupa uma posição é um alelo ou valor da variável

# Componentes de um AE: avaliação

A função de avaliação (função de *fitness*) fornece uma medida numérica da qualidade de um indivíduo e é a forma de avaliar o progresso do AE

- É a base para o processo de seleção
- Exemplo: se o problema é encontrar um inteiro  $x$  que maximiza  $f(x) = x^2$ , a função de fitness do genótipo 10010 primeiro faria uma decodificação para o fenótipo equivalente ( $10010 \rightarrow 18$ ) e depois calcularia o seu quadrado:  $18^2 = 324$ .
- Lembre-se que a função de *fitness* tem como objetivo avaliar a obtenção de boas soluções, sejam em problemas de minimização ou maximização.



# Componentes de um AE: população

---

A função da população é armazenar possíveis soluções.

- Nos casos mais simples a população é apenas um conjunto de indivíduos, mas em casos mais sofisticados podem apresentar comportamentos especiais.
- Os indivíduos em si são objetos estáticos, mas a população é altamente dinâmica
- Em geral a população possui um tamanho fixo e os operadores de seleção funcionam levando em consideração este tamanho
- É importante que a população apresente diversidade entre os seus indivíduos, mas não há uma medida de diversidade única, pois o conceito é muito abrangente
  - Diversidade no espaço de objetivos, no espaço fenotípico, etc



# Componentes de um AE: seleção de pais

---

A função principal da seleção dos pais é permitir que os melhores indivíduos sejam os pais para as próximas gerações.

- A seleção dos pais e seleção de sobreviventes são os mecanismos que “empurram” o AE na direção de melhorias contínuas com o passar das gerações
- Em geral a seleção dos pais é probabilística:
  - Indivíduos de elevada qualidade possuem mais chance de serem pais do que indivíduos de baixa qualidade
  - Indivíduos de baixa qualidade podem vir a ser pais, mas a chance é pequena
  - Se a seleção não for probabilística e apenas os melhores tiverem chance, o AE fica parecido com uma “busca gulosa” e frequentemente a busca ficará estagnada em ótimos locais

# Componentes de um AE: variação

---

Os operadores de variação da população são responsáveis por gerar novos indivíduos a partir de indivíduos existentes

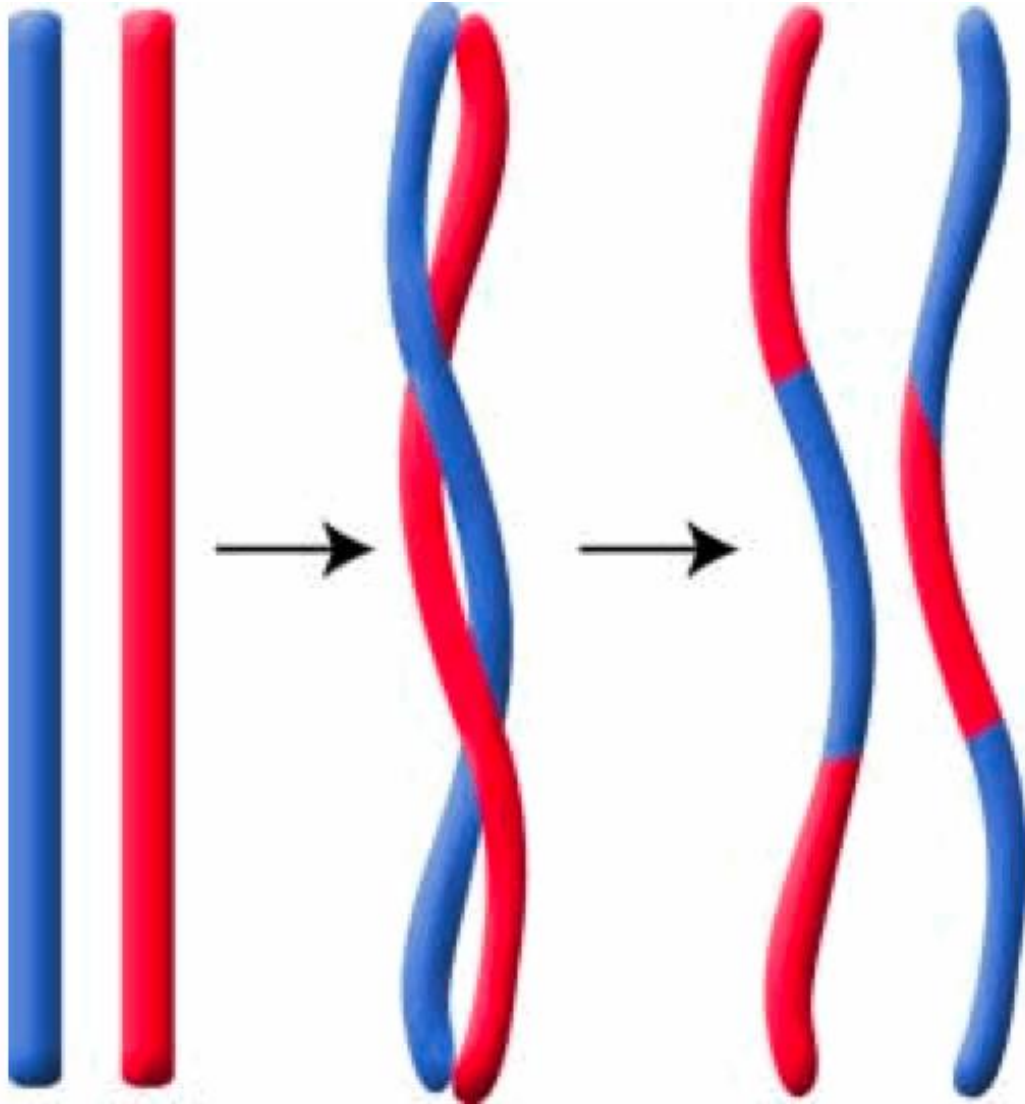
- Do ponto de vista do espaço fenotípico, a função é gerar soluções candidatas com características novas
- Existem 2 possibilidades de acordo com a aridade:
  - Operadores de variação unários: mutação
  - Operadores de variação  $n$ -ários: recombinação (o caso binário é o mais comum)
- Os operadores de variação são aplicados de forma probabilística (possuem uma chance diferente de zero de não serem usados)
- São dependentes da representação usada

# Componentes de um AE: mutação

## Características:

- É aplicado sobre um cromossomo e entrega um mutante ligeiramente modificado, chamado de filho ou descendente.
- Um operador de mutação é sempre estocástico: a saída (solução filha) depende da solução pai e de uma série de escolhas aleatórias
  - Heurísticas específicas de cada problema não deveriam ser consideradas como operadores de mutação.
- A mutação é usada de diferentes formas em dialetos diferentes de AE.
- Algumas provas matemáticas sobre a capacidade de convergência de um AE se apoiam nos operadores de mutação para permitir que o algoritmo “salte” para posições diferentes no espaço de busca.





# Componentes de um AE: recombinação

O operador binário (n-ário) de variação é chamado de recombinação ou crossover:

- Este operador mistura as características de dois pais diferentes para gerar dois novos descendentes.
- É um operador estocástico: quais partes recombinar e como recombinar podem ser definidas por escolhas aleatórias.
- O uso de mais de dois pais é possível (embora não seja muito popular)



# Componentes de um AE: substituição

---

A seleção de sobreviventes ou estratégia de substituição atua no sentido de levar o processo evolucionário às melhorias contínuas (como a seleção dos pais). Visão geral:

- É chamado após a criação dos descendentes.
- Como o tamanho da população normalmente é fixo, é necessário tomar a decisão de quais indivíduos devem ser mantidos e este operador é usado para este fim
- A qualidade dos indivíduos geralmente é o principal critério para a seleção dos sobreviventes, mas outros critérios podem ser usados, como a idade
- A principal diferença entre a seleção dos pais e a seleção dos sobreviventes é que a primeira é estocástica e a segunda é determinística

# Componentes de um AE: inicialização

---

## Visão geral:

- Na maioria das aplicações de AE é o operador mais simples, pois consiste em simplesmente gerar uma população inicial de indivíduos de forma aleatória.
- Alguns problemas podem adotar heurísticas específicas para gerar soluções de elevada qualidade já na primeira geração do AE



# Componentes de um AE: parada

---

Alguns problemas podem ter um valor de aptidão-alvo para que pode ser usado como condição de parada do algoritmo, mas muitas vezes não se dispõe desta informação. Condições frequentes:

- Um tempo máximo de execução previamente definido.
- Um número de avaliações de aptidão é alcançado.
- A melhoria da avaliação de aptidão passa a ficar abaixo de um valor para um dado período de tempo.
- A diversidade da população cai abaixo de um limiar.
- Mais de um critério pode ser usado em conjunto (uso de operadores lógicos para parar caso um ou outro ocorra primeiro)

# Evolucionário passo-a-passo

---

Para melhor entendimento dos componentes de um AE, será mostrado o passo-a-passo de uma execução para o problema de maximizar valores de  $x^2$  para o intervalo 0-31:

- Será usada uma codificação binária de 5 bits mapeando inteiros (fenótipo) para sequencias de bits (genótipo).
- Para seleção dos pais, um indivíduo  $i$  na população  $P$  é escolhido para ser pai com probabilidade  $p_i = f(i)/\sum f(j)$ .
- O operador de sobreviventes consiste em substituir todos os indivíduos antigos pelos novos.
- A mutação troca o valor do bit de cada posição se um número aleatório gerado entre 0 e 1 está abaixo de um limiar, chamado de **taxa de mutação**
- A recombinação é feito usando um ponto de corte para trocar os dados dos dois pais

# Evolucionário passo-a-passo

População inicial:

String #	População inicial	Valor x	Fitness $f(x) = x^2$	$Prob_i$	Expectativa na seleção	Possível seleção
1	0 1 1 0 1	13	169	0,14	0,58	1
2	1 1 0 0 0	24	576	0,49	1,97	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0,06	0,22	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0,31	1,23	1
Soma			1170	1,00	4,00	4
Média			293	0,25	1,00	1
Máx.			576	0,49	1,97	2

# Evolucionário passo-a-passo

Recombinação e avaliação de descendentes:

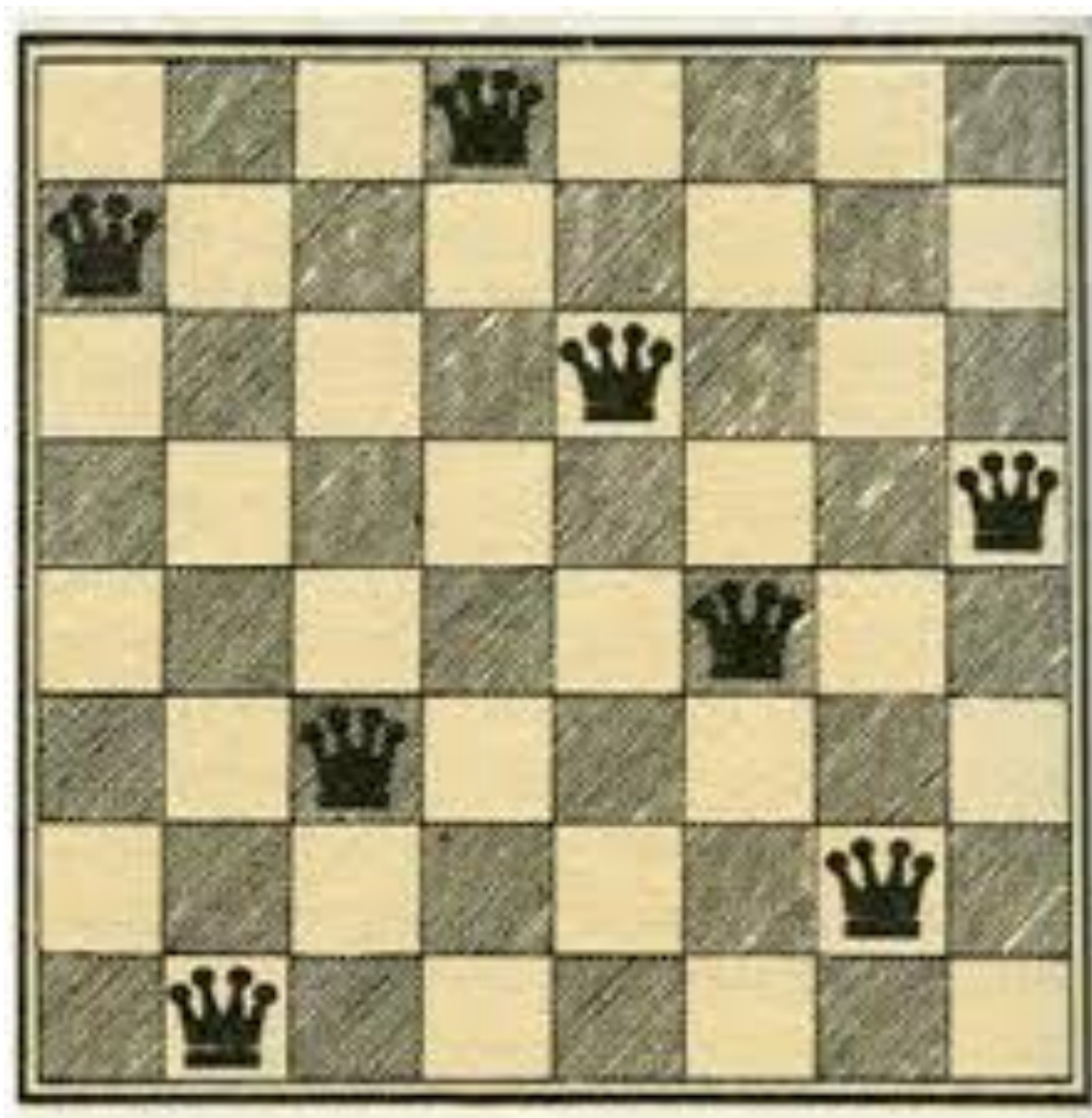
String #	Mating pool	Ponto de cruzamento	Descendentes depois do xover	Valor de x	Fitness $f(x) = x^2$
1	0 1 1 0   1	4	01100	12	144
2	1 1 0 0   0	4	11001	25	625
3	0 1   0 0 0	2	01011	27	729
4	1 0   0 1 1	2	10000	16	256
Soma					1724
Média					439
Máx.					729

# Evolucionário passo-a-passo

Mutação e avaliação de descendentes:

String #	Mating pool	Descendentes depois do xover	Valor de x	Fitness $f(x) = x^2$
1	01100	11100	26	676
2	11001	11001	25	625
3	01011	11011	27	729
4	10000	10100	18	324
Soma				2354
Média				588,5
Máx.				729

Neste exemplo o fitness médio passou de 293 para 588,5 e o maior passou de 576 para 729!



# Aplicação de exemplo: problemas das 8 rainhas

Como colocar oito rainhas no tabuleiro de xadrez de modo que nenhuma seja atacada?

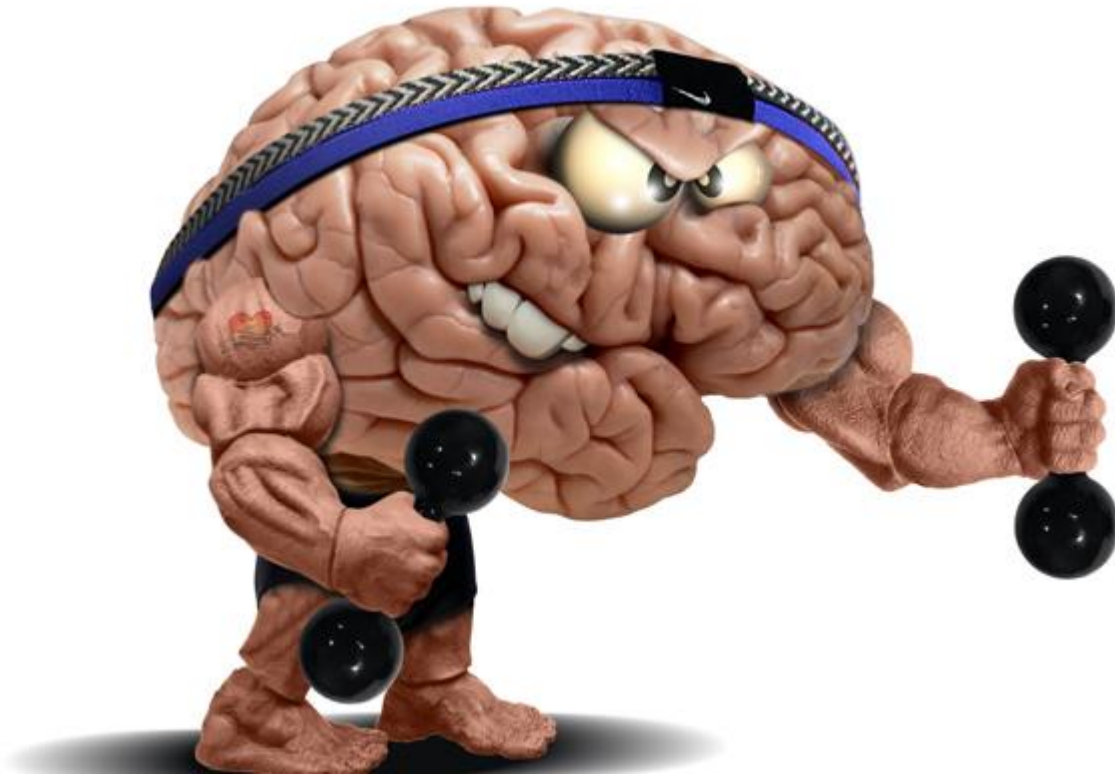
Representação	Inteira
Recombinação	Cruzamento de um ponto
Mutação	Swap
Seleção dos pais	2 melhores de 5 aleatórios
Seleção de sobreviventes	Substituir os piores
Tamanho da população	100
Número de descendentes	2
Inicialização	Aleatória
Parada	Solução ou 10000 avals.



# Aplicação de exemplo: problemas das 8 rainhas

---

Mão na massa!



# Operação típica de um AE

Os algoritmos evolucionários apresentam um perfil de execução típico. Considere a otimização de uma função unidimensional que precisa ser maximizada:

- Em um primeiro estágio, logo após a inicialização, os indivíduos são aleatoriamente espalhados no espaço de busca
- Após algumas gerações, os operadores de variação e de seleção fazem com que os indivíduos abandonem regiões de baixo fitness para escalar os picos
- No final, algumas soluções são concentradas em picos de elevado valor de fitness

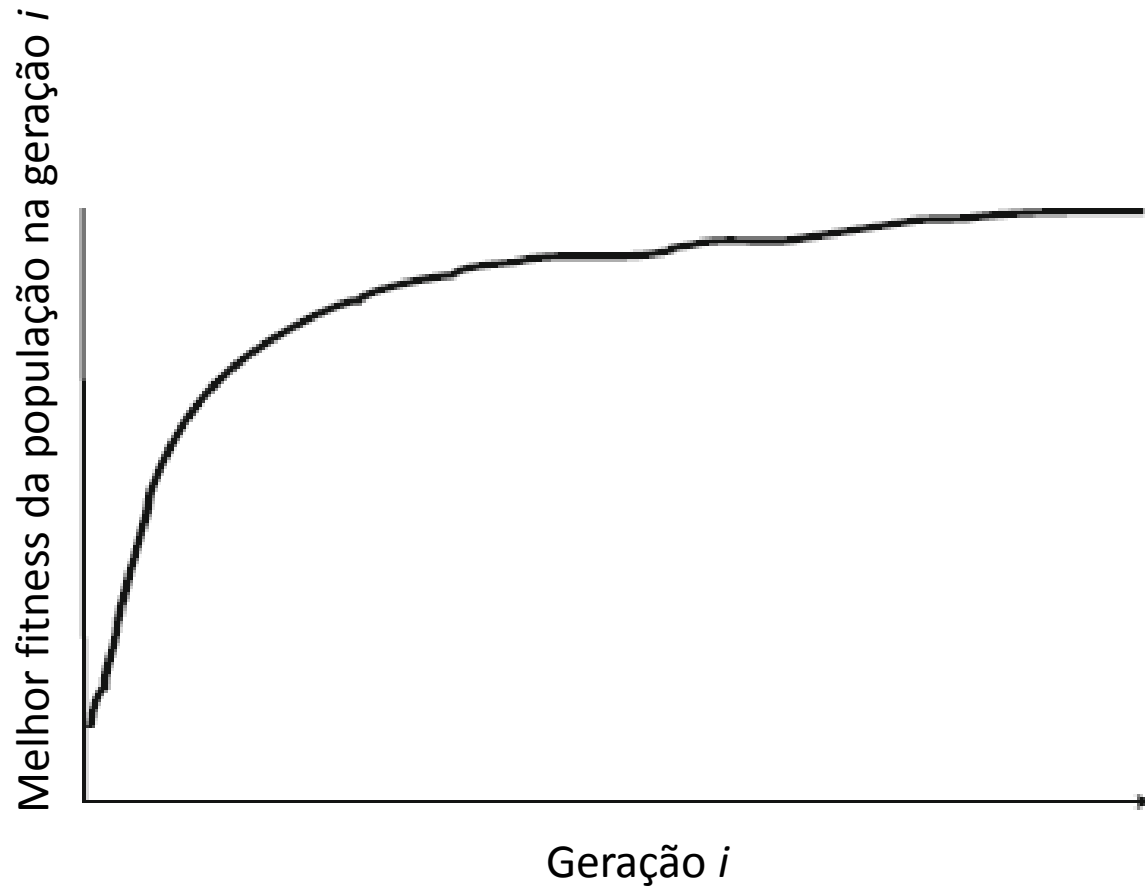


# Operação típica de um AE

Os algoritmos evolucionários apresentam um perfil de execução típico:

- Embora não exista uma distinção clara entre os termos **exploration** e **exploitation**, essas palavras são geralmente usadas para descrever as diferentes fases da busca
  - *Exploration* é a geração de novos indivíduos em regiões ainda não exploradas do espaço de busca (busca em largura).
  - *Exploitation* é o processo de refinamento da busca nas regiões próximas de boas soluções obtidas na fase de *exploration*
- A convergência prematura é um fenômeno que pode ocorrer devido à rápida perda de diversidade, levando o algoritmo a ficar preso em ótimos locais.

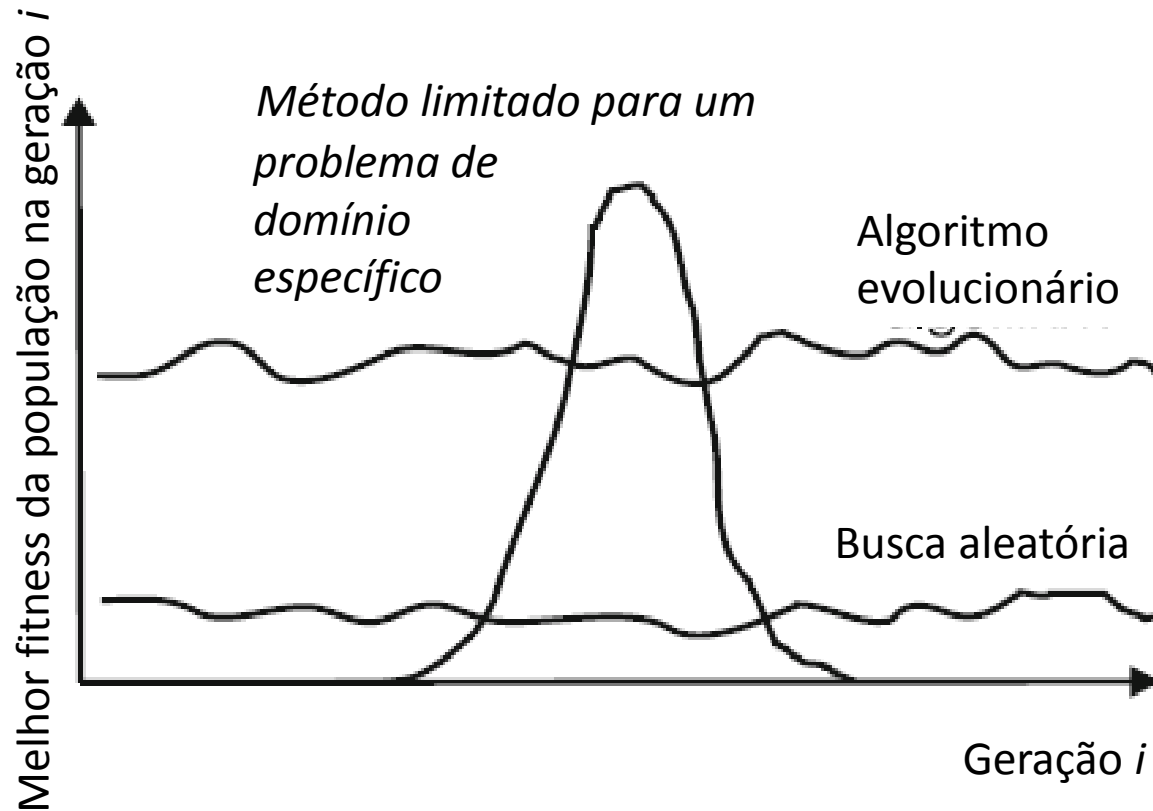




# Operação típica de um AE

Outra forma de entender a evolução de um AE é observando a evolução do fitness da melhor solução ao longo do tempo

- Esse gráfico é conhecido como curva de convergência do algoritmo
- Geralmente possui um aspecto geral de rápido progresso nas primeiras execuções e a formação de uma assíntota após algumas iterações



# Operação típica de um AE

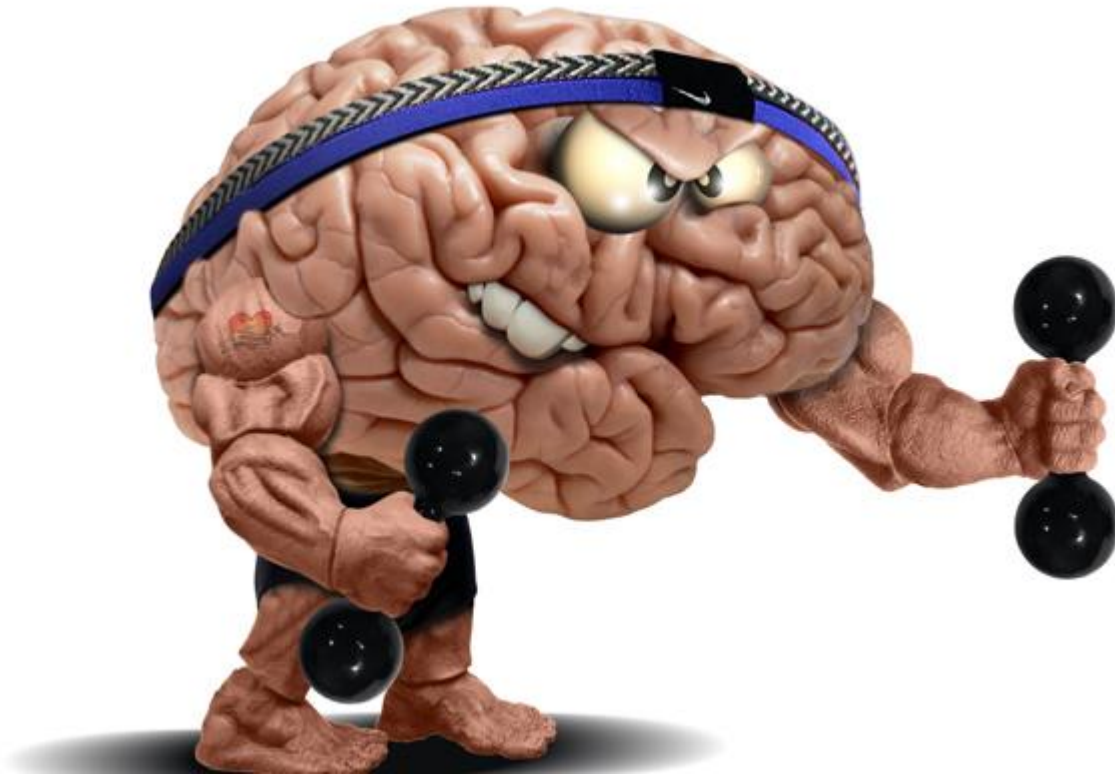
Comparação entre AE, busca aleatória e soluções para problemas específicos

- Um AE tipicamente é melhor do que uma busca aleatória
- Soluções específicas podem apresentar melhores resultados do que um AE, mas demandam grande esforço de projeto e não oferecem bons resultados para famílias de problemas

# Aplicação de exemplo: problemas das 8 rainhas

---

Crie as curvas de convergência para a sua versão do problema das 8 rainhas!





Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em  
Informática Aplicada**



# Computação Evolutiva

---

AULA 03 – INTRODUÇÃO AOS ALGORITMOS EVOLUCIONÁRIOS