

# Algoritmos Genéticos

Airton Bordin Junior  
[airtonbjunior@gmail.com]

Mestrado em Ciência da Computação – Inteligência Computacional  
Profº Dr Celso Gonçalves Camilo Junior

Universidade Federal de Goiania (UFG) - Instituto de Informática - Abril/2017

# Programação

- Introdução
- Heurísticas e Metaheurísticas
- Algoritmos evolucionários
- Algoritmos genéticos
- Referências





# Introdução

- Podemos classificar os problemas computacionais em 2 grupos [SALIBA, 2010]
  - Tratáveis, também chamados de polinomiais
    - Podem ser resolvidos por algoritmos determinísticos.
  - Intratáveis, ou não polinomiais
    - Sem algoritmo determinístico para resolver o problema em tempo hábil.

Tratáveis

- Polinomiais
- Algoritmos determinísticos

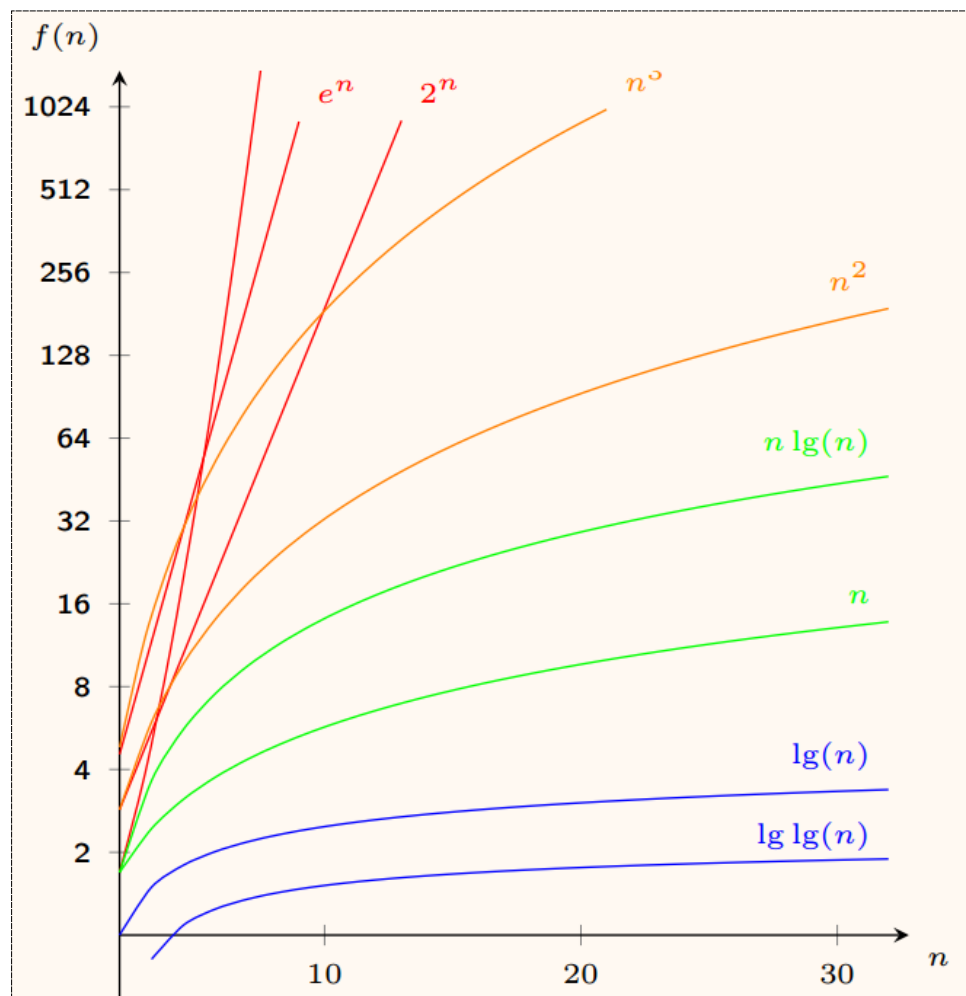
Intratáveis

- Não polinomiais
- Algoritmos não determinísticos
- Solução determinística inviável

# Introdução



[CAPPELLE, 2017]

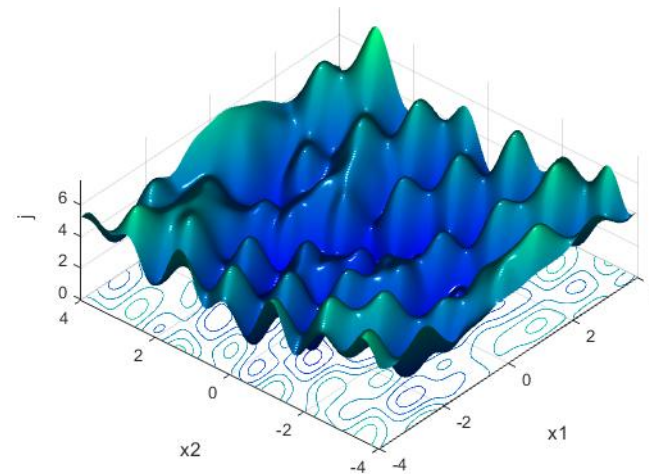






# Heurística

- Impraticabilidade de encontrar/calcular a melhor resposta para problemas não polinomiais;
- Desafio: produzir, em tempo reduzido, soluções tão próximas quanto possíveis da solução ótima.

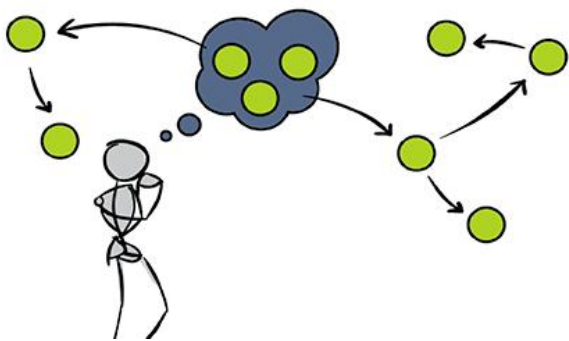




# Metaheurística

## Propriedades e características das metaheurísticas

[SALIBA, 2010]



Estratégias que guiam o processo de busca;

Exploração eficiente do espaço de busca - soluções ótimas ou quase ótimas;

De simples procedimentos de busca local a complexos processos de aprendizado;

Aproximados e usualmente não determinísticos;

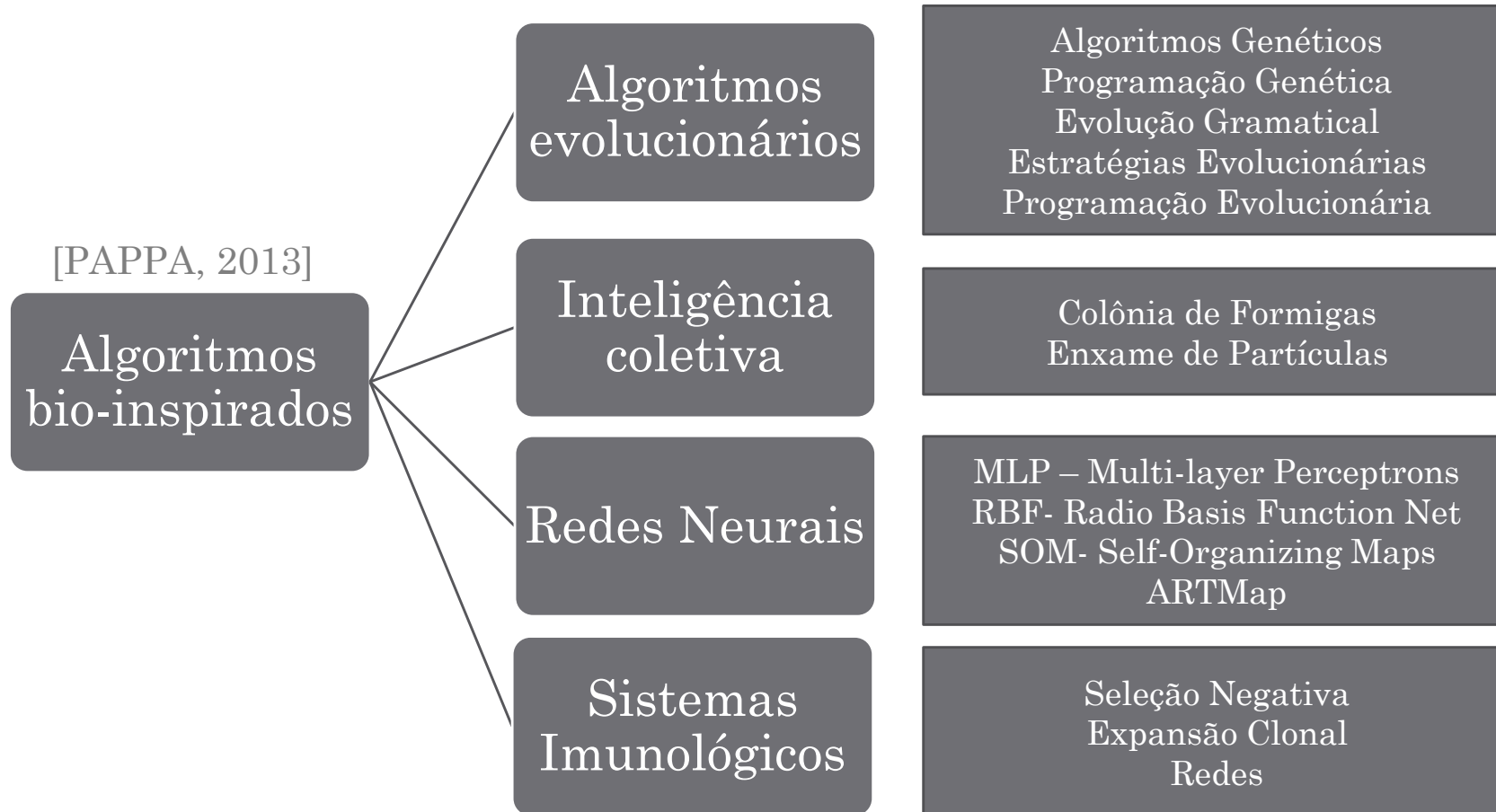
Podem incorporar mecanismos para evitar ficar presos em áreas confinadas do espaço de busca;

Não são específicas para um determinado problema;

Podem usar um conhecimento específico do problema na forma de heurísticas que são controladas por uma estratégia de nível superior.



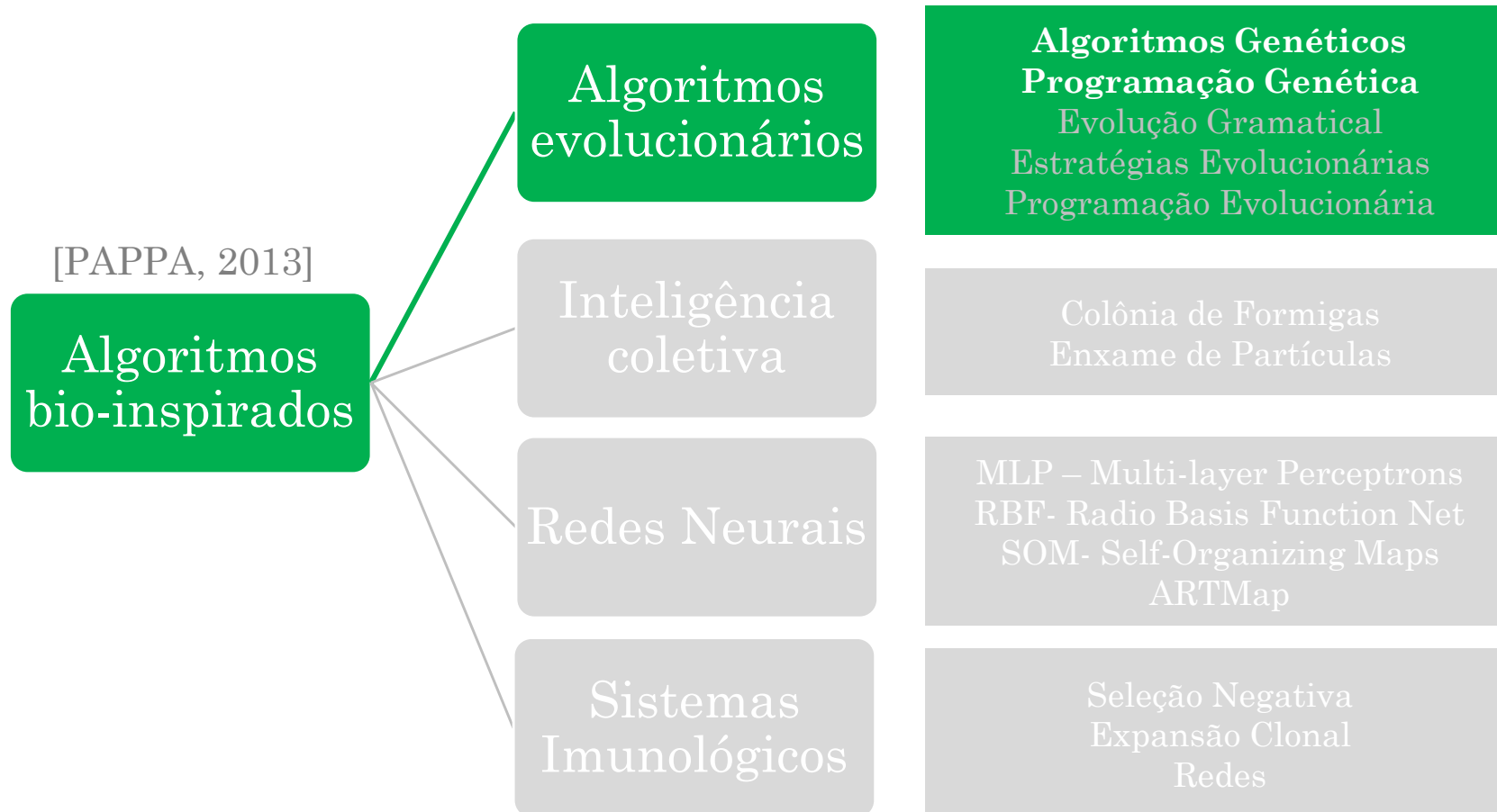
# Algoritmos bio-inspirados







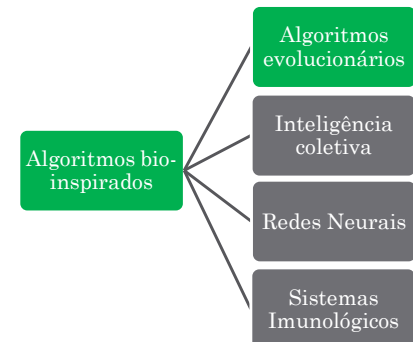
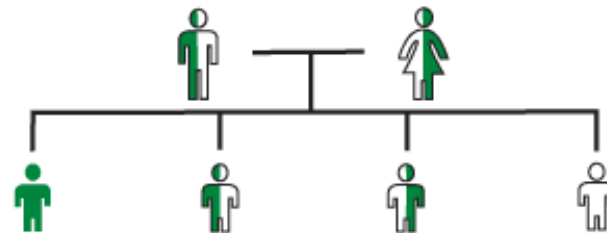
# Algoritmos bio-inspirados





# Algoritmos evolucionários

- Inspirados na teoria de evolução de Darwin;
- Evolução: mudança das características (genéticas) de uma população de uma geração para a próxima
  - Mutação dos genes;
  - Recombinação dos genes dos pais.

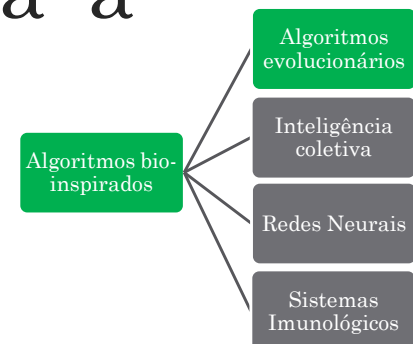




# Algoritmos evolucionários

- Evolução é caracterizada basicamente por um processo constituído de 3 passos [VON ZUBEN, 2005]

1. Reprodução com herança genética;
2. Introdução de variação aleatória em uma população de indivíduos;
3. Aplicação da “seleção natural” para a produção da próxima geração.





# Algoritmos genéticos - Histórico

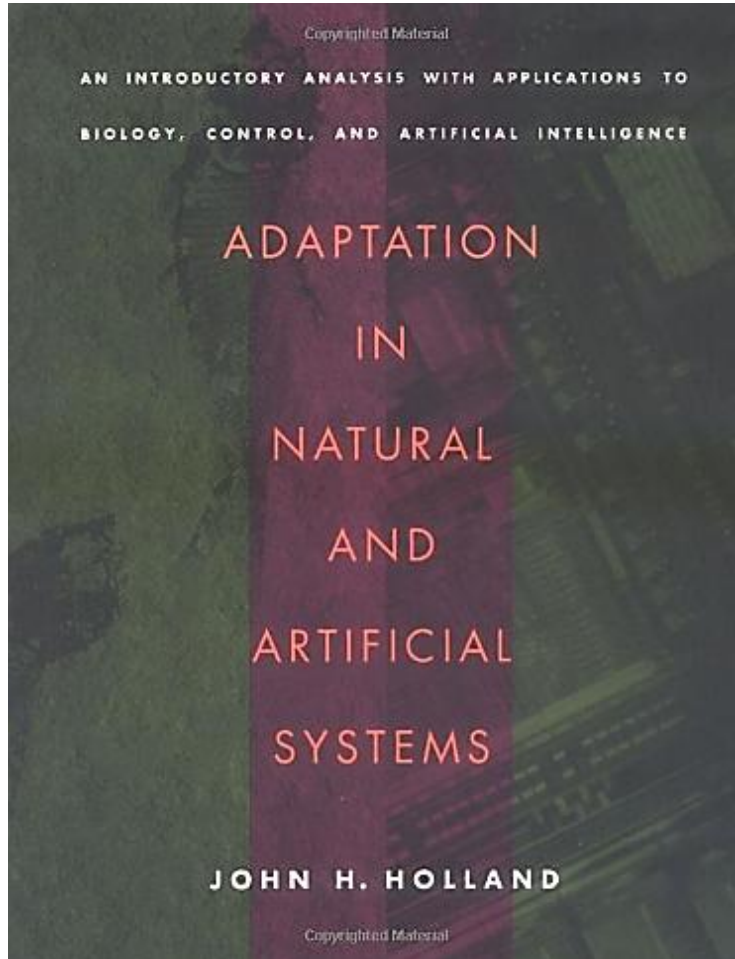
- John Henry Holland, década de 1970;
- Usando os postulados de Darwin, poderia criar algoritmos que simulassem a dinâmica da evolução e mecanismos da genética;
- *Algoritmos capazes de manipular cadeias de informações (genes) de forma a construir organismos complexos e melhores adaptados para resolver o problema de sua existência*



John Henry Holland



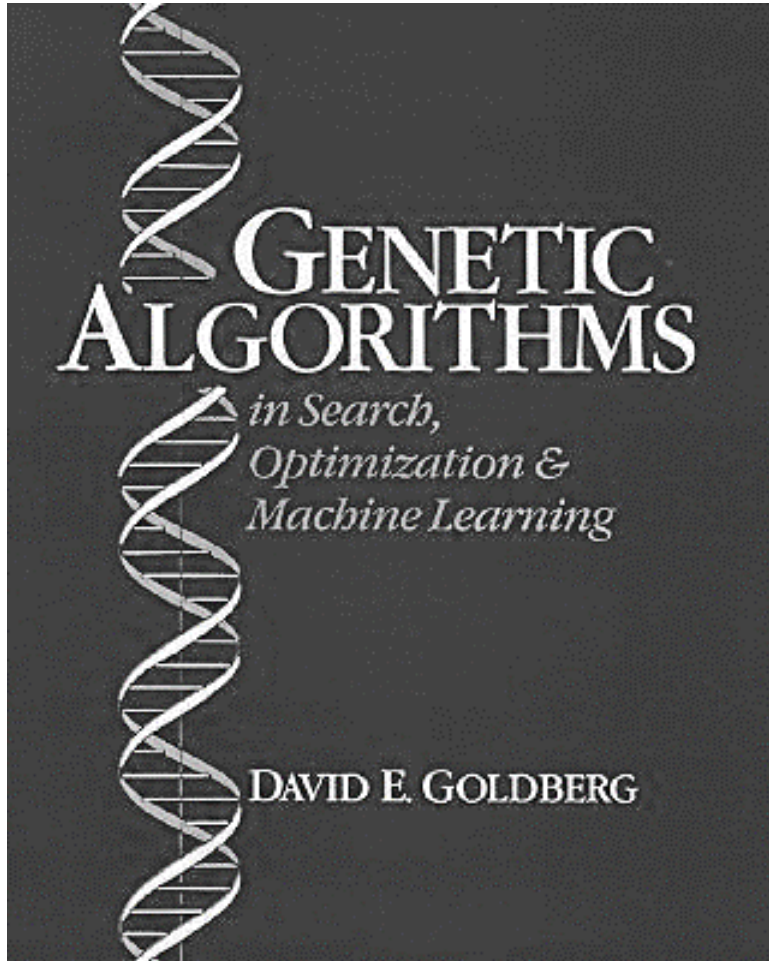
# Algoritmos genéticos - Histórico



- Adaptation in Natural and Artificial Systems – 1975.



# Algoritmos genéticos - Histórico



- David Goldberg - Aluno de Holland;
- Década de 1980;
- Primeira aplicação industrial.



# Algoritmos genéticos - Histórico

- Década de 1980 - General Electric inicia a venda do primeiro produto baseado em algoritmo genético;
- 1989, Axcelis, lançou Evolver, primeiro programa de AG comercial para desktops.

BUSINESS TECHNOLOGY

**BUSINESS TECHNOLOGY; What's the Best Answer?  
It's Survival of the Fittest**

Published: August 29, 1990

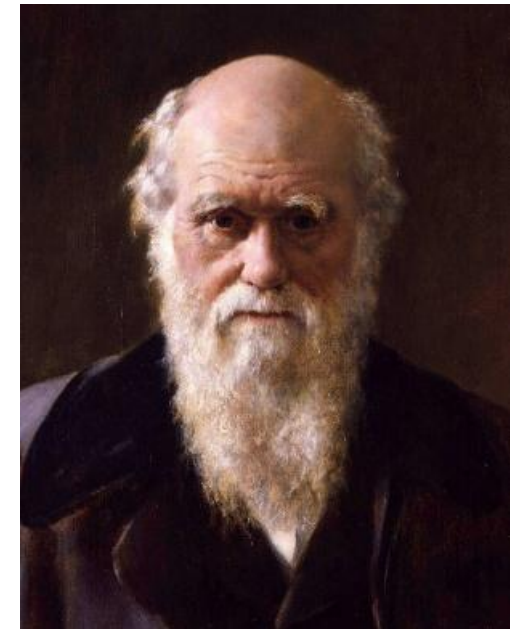
New York Times – 29/08/1990





# Algoritmos genéticos

- Ramo dos Algoritmos Evolucionários;
- Técnica de busca baseada numa metáfora do processo biológico de evolução natural;
- Inspirados no princípio Darwiniano da evolução das espécies e na genética.



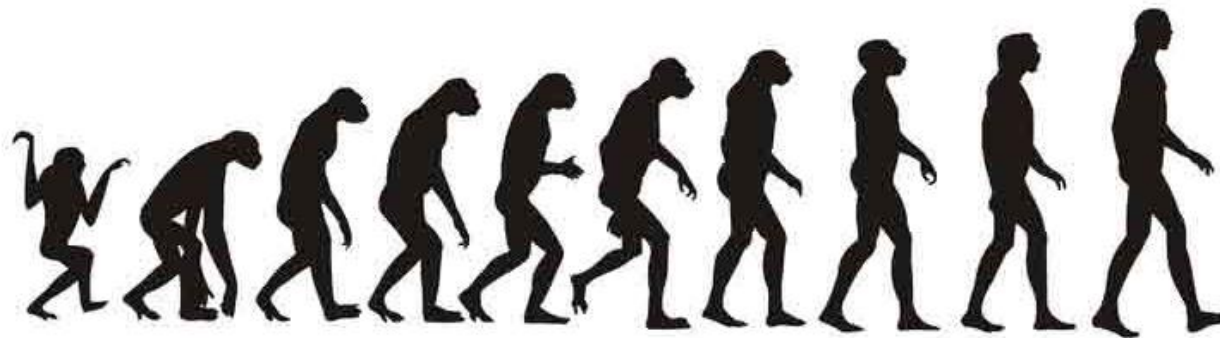
Charles Darwin





# Algoritmos genéticos

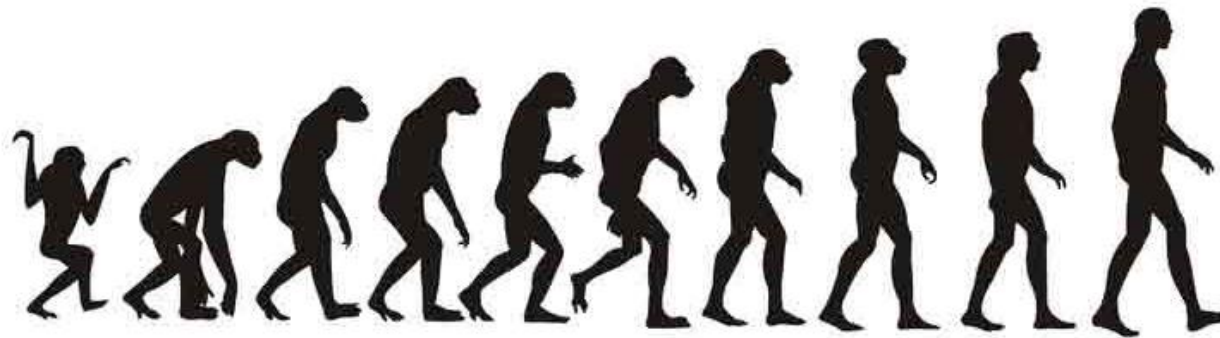
- Algoritmos probabilísticos que fornecem um mecanismo de busca paralela e adaptativa baseado no princípio de sobrevivência dos mais aptos e na reprodução.





# Algoritmos genéticos

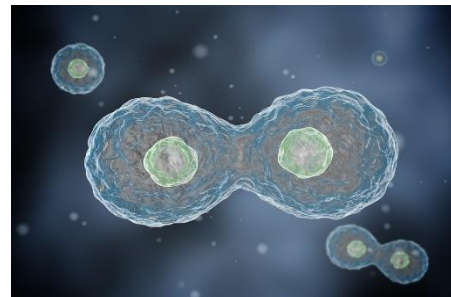
- Combinam a sobrevivência entre os melhores com uma forma estruturada de troca de informação genética entre dois indivíduos.

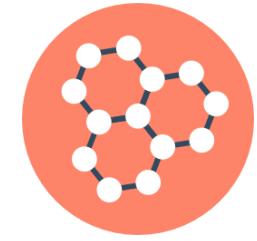




# Revisão rápida – Conceitos

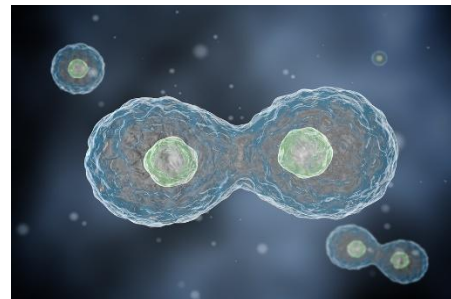
- Todo indivíduo biológico é formado por uma ou mais células;
- Dentro de cada célula existe um conjunto de cromossomos;
- Cada cromossomo consiste em sequências de DNA.





# Revisão rápida – Conceitos

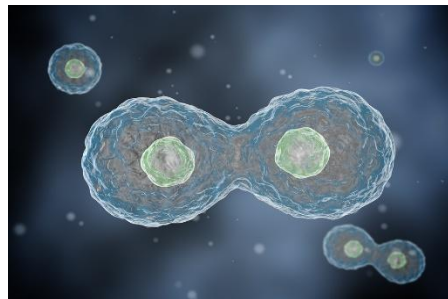
- Um cromossomo consiste de genes (blocos de sequências de DNA);
- Cada gene tem uma posição própria no cromossomo chamada locus;
- O conjunto completo de material genético (todos os cromossomos) é o genoma.





# Revisão rápida – Conceitos

- Conjunto específico de genes no genoma é o genótipo;
- Genótipo é a base do fenótipo, que é a expressão das características codificadas pelos genes e modificadas pelo ambiente;
- A qualidade do indivíduo (fitness) é medida pelo seu sucesso (sobrevivência).

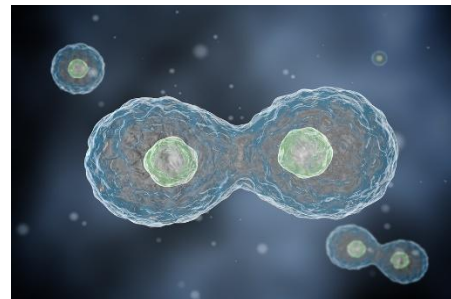






# Revisão rápida – Conceitos

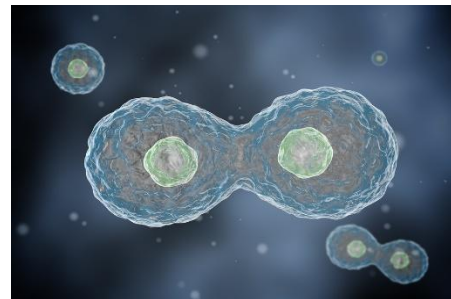
- Indivíduos com uma melhor adequação do seu fenótipo ao meio ambiente (melhor fitness) se reproduzem mais;
- Dessa forma têm mais chances de passar seus genes para a próxima geração.





# Revisão rápida – Conceitos

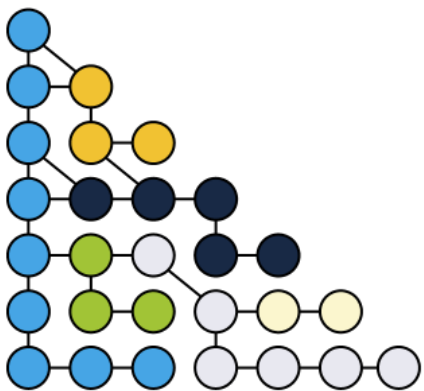
- Graças aos operadores genéticos (recombinação e mutação) os cromossomos dos filhos não são exatamente iguais aos dos pais;
- Podem evoluir e se adaptar cada vez mais ao meio ambiente que os cerca.





# Algoritmos genéticos

Principais  
diferenças com  
métodos  
tradicionais



Trabalham com uma codificação do conjunto de parâmetros e não com os próprios parâmetros;

Trabalham com uma população e não com um único ponto;

Utilizam informações de custo ou recompensa e não derivadas ou outro conhecimento auxiliar;

Utilizam regras de transição probabilísticas e não determinísticas.





# Algoritmos genéticos

## Algumas características

**Paralelo:** mantém uma população de soluções que podem ser avaliadas simultaneamente;

**Global:** AGs não usam somente informações locais, logo não necessariamente ficam presos em máximos locais;

**Não totalmente aleatório:** usam informações da população atual para determinar o próximo estado de busca;

**Não afetados por descontinuidades:** não usam informações de derivadas nem necessitam informações de seu entorno;

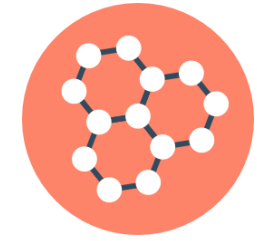
**Funções:** Lidam com funções discretas e contínuas.



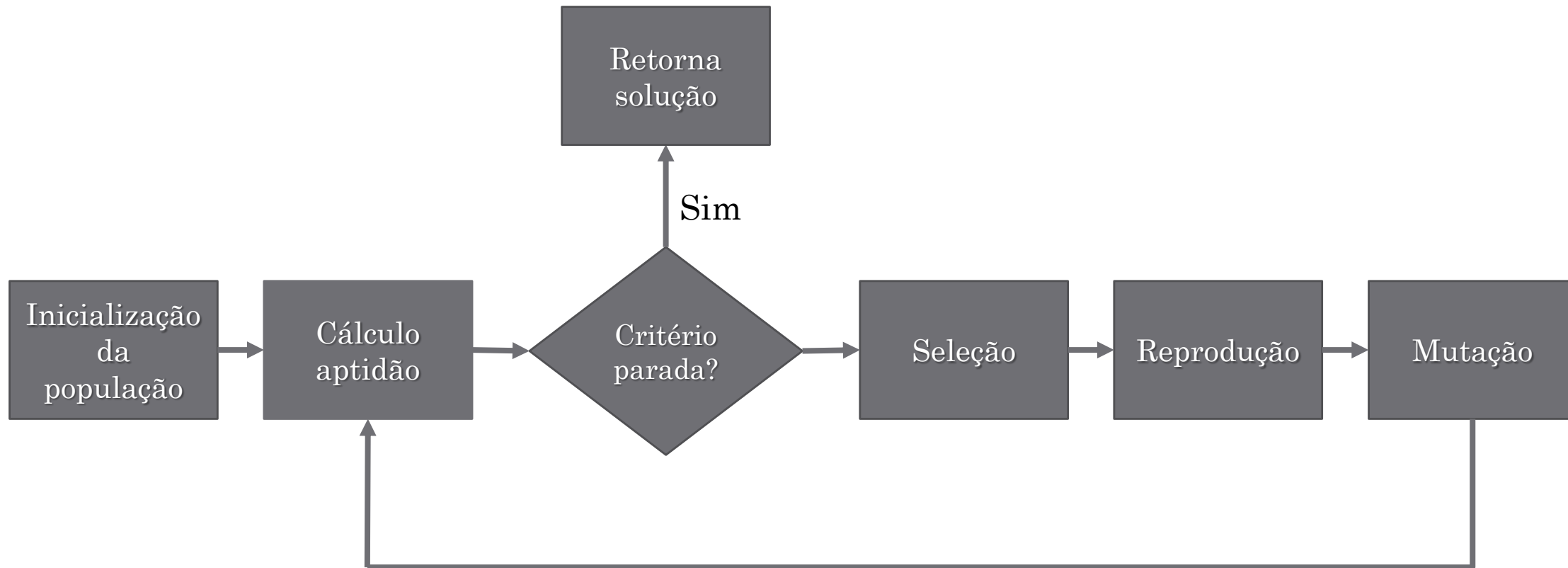
# Algoritmos genéticos

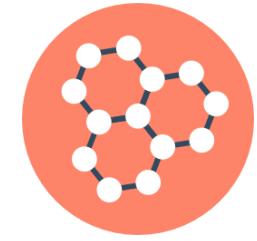
## Requisitos implementação de um AG

- Representação das possíveis soluções do problema no formato de código genético;
- População inicial com diversidade suficiente;
- Método para medir a qualidade da solução;
- Critério de escolha das soluções que continuam;
- Procedimento para introduzir algumas alterações periódicas na população.

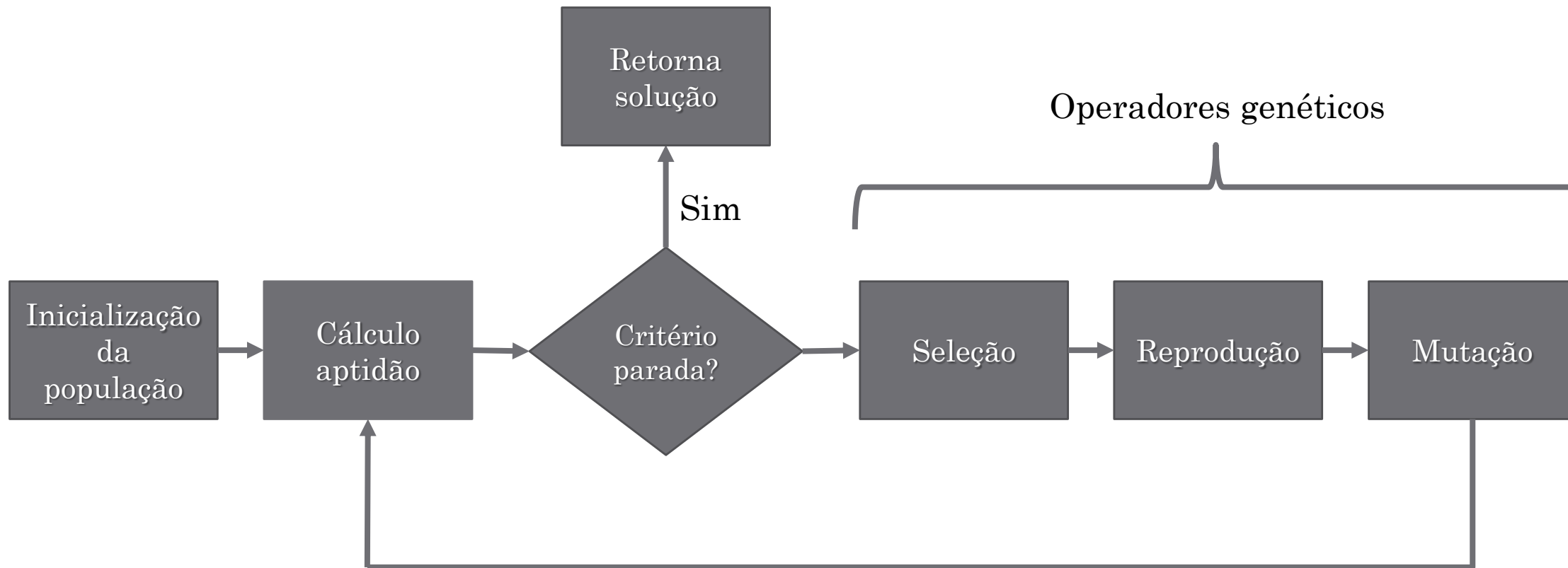


# Algoritmos genéticos





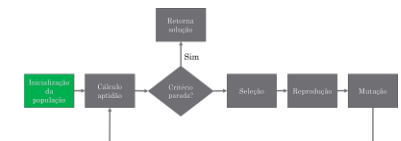
# Algoritmos genéticos





# Inicialização da população

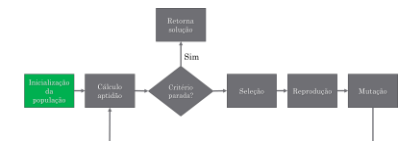
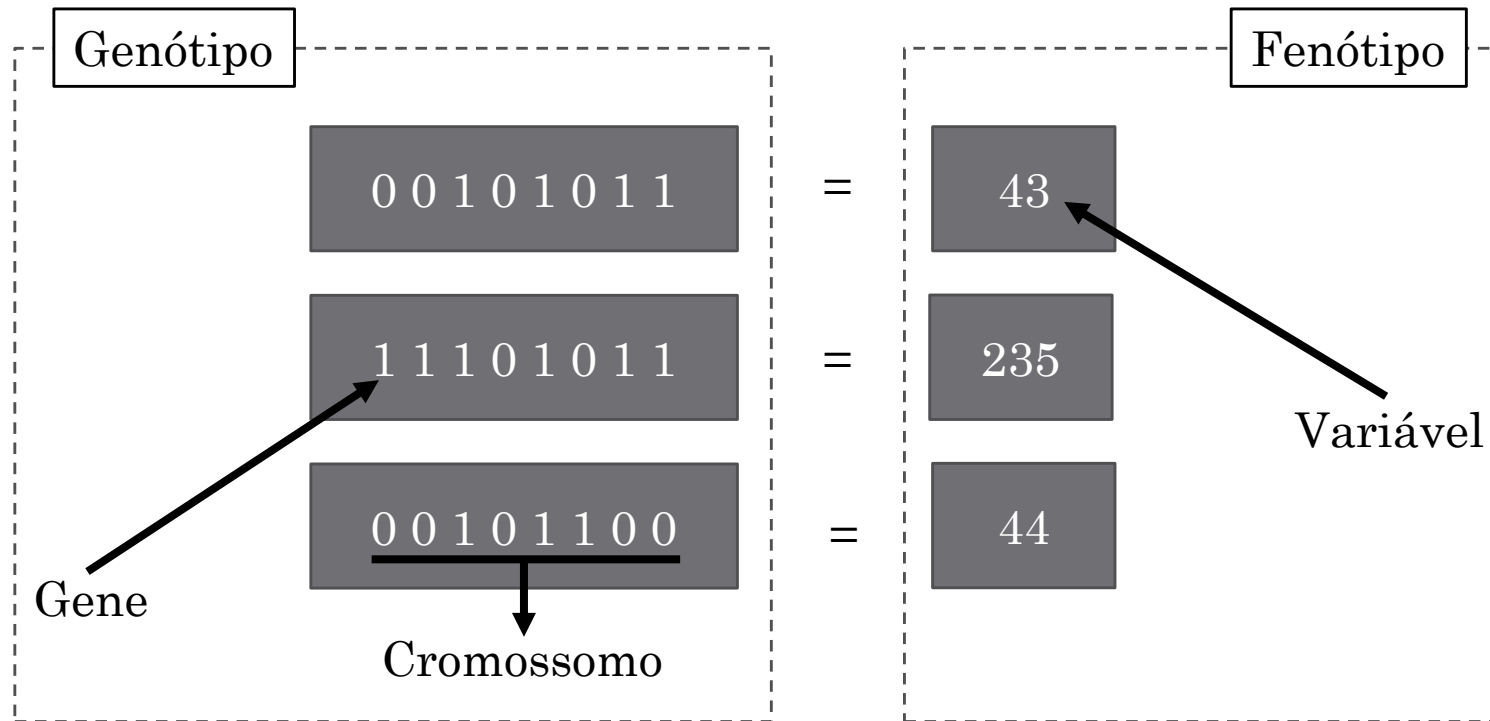
- Ponto de partida: representação do problema;
- Definição da estrutura do cromossomo;
- Depende do tipo de problema a ser tratado;
- Exemplos
  - Vetor de bits;
  - Vetor de números (inteiros, reais);
  - Permutação de símbolos, etc.

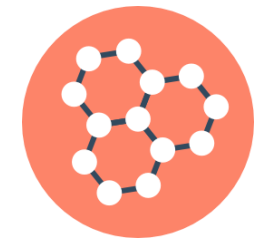




# Inicialização da população

- Exemplo: representação em bits



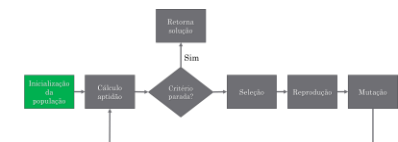


# Inicialização da população

- Alguns cuidados na representação – Exemplo:



- Uma pequena modificação de bits (mutação) deveria resultar em uma pequena mudança;
  - Neste caso, 4 bits deveriam ser modificados para uma pequena variação no resultado.





# Inicialização da população

- Geralmente a inicialização da população é feita de forma randômica;
- Cada indivíduo gerado é uma possível solução para o problema.

Exemplo: população de 9 indivíduos gerada randomicamente

111111

101010

000111

110110

100110

010100

100001

100000

110000







# Inicialização da população

- Dentre as formas de codificação, podemos citar
  - Binária (demonstrada);
  - Permutação;
  - Codificação direta de valores;
  - Árvore.

1 1 0 1 1 0

A D E C B F

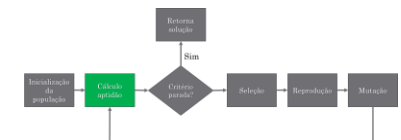
1.7 2 4.3 9.2 10





# Cálculo aptidão

- Determinada através da função objetivo;
- Depende do problema a ser tratado;
- Mede o quão próximo um indivíduo está da solução desejada;
- A função deve ser escolhida cuidadosamente e embutir o máximo de conhecimento sobre o problema a ser resolvido.





# Cálculo aptidão

- Exemplo: encontrar o **máximo** da função  $f(x) = x^2$  em um intervalo;
- A função de aptidão, caso o problema seja codificado em bits, consiste em converter o número e elevar ao quadrado
  - Maiores valores tem maior aptidão para o resultado, nesse caso.

A	010100
B	110110

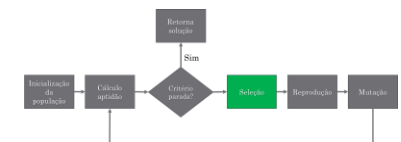
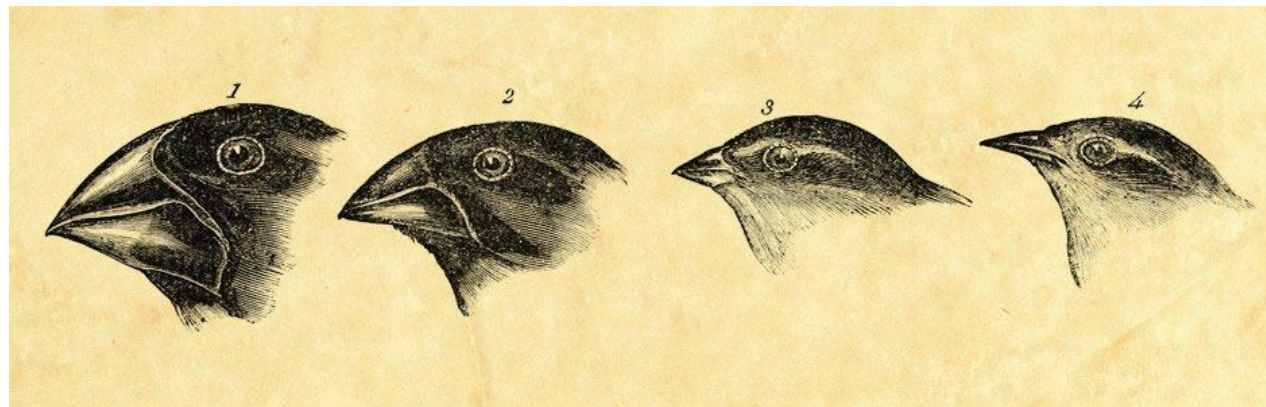
Para o problema do **máximo** da função, o indivíduo B (110110) tem mais aptidão (*fitness*).





# Seleção

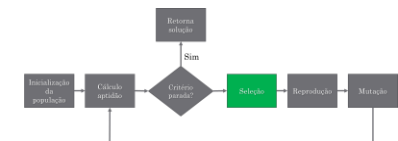
- Tentativa de simular o mecanismo de seleção natural que atua sobre as espécies biológicas;
- Os pais mais capazes geram mais filhos
  - Porém, os menos aptos também podem gerar descendentes.





# Seleção

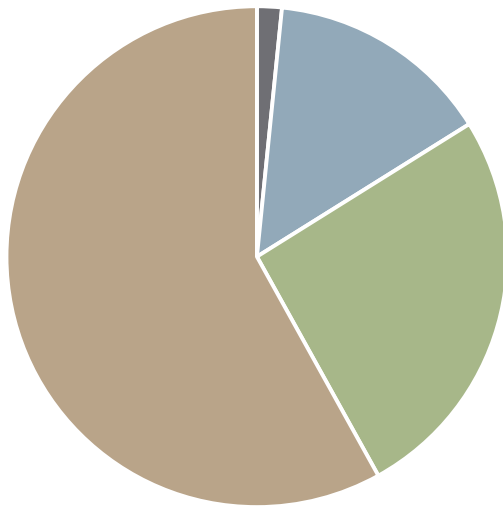
- Privilegiar indivíduos com função de avaliação alta, sem desprezar completamente aqueles com função de avaliação extremamente baixa
  - Até indivíduos com péssima avaliação podem ter características genéticas que sejam favoráveis à criação de um "super indivíduo".





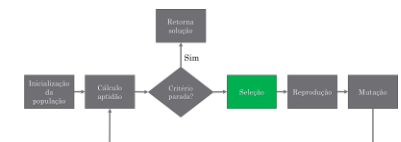
# Seleção

- Método comum: Roleta (*Roulette Whell*);
- Probabilidade de seleção de um cromossomo é diretamente proporcional à sua aptidão.



■ "000001" ■ "000011" ■ "000100" ■ "000110"

Cromossomo	Função $x^2$	% roleta
000001	1	1.6%
000011	9	14.5%
000100	16	25.8%
000110	36	58%





# Seleção

- Outras formas utilizadas para a seleção
  - **Dizimização**
    - Ordena os cromossomos de acordo com o seu valor de aptidão e remove um número fixo de indivíduos que possuem baixo valor de aptidão;
    - Dentre os “sobreviventes”, escolhem-se os pais de forma aleatória.

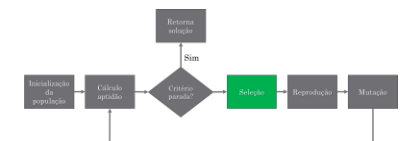
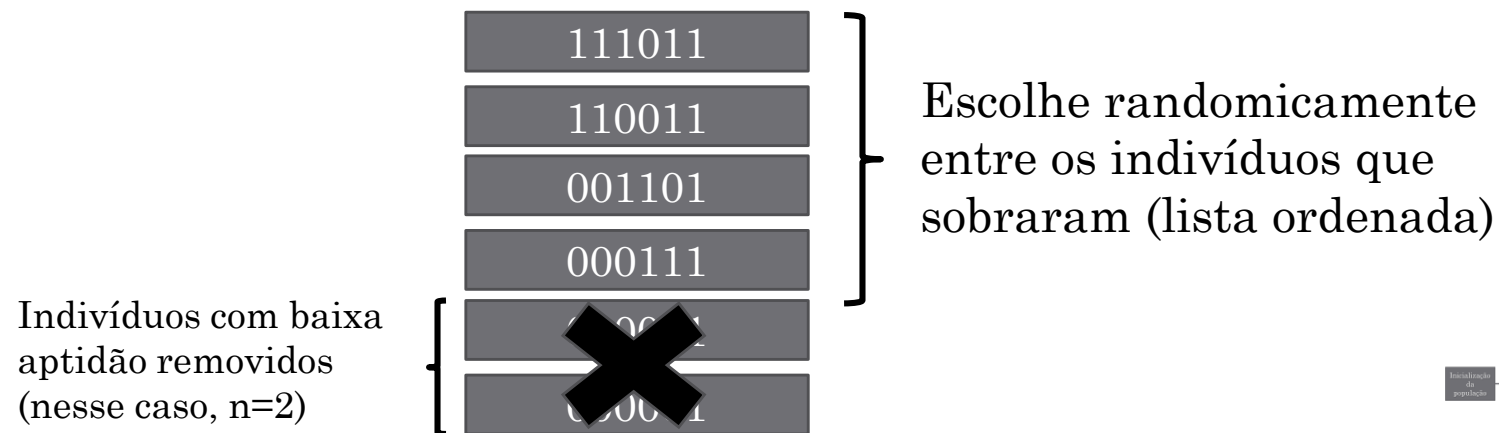
111011
110011
001101
000111
000011
000001





# Seleção

- Outras formas utilizadas para a seleção
  - **Dizimização**
    - Ordena os cromossomos de acordo com o seu valor de aptidão e remove um número fixo de indivíduos que possuem baixo valor de aptidão;
    - Dentre os “sobreviventes”, escolhem-se os pais de forma aleatória.



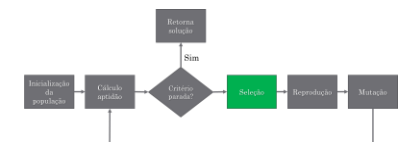




# Seleção

- Outras formas utilizadas para a seleção
  - **Torneio**
    - Escolhe-se  $n$  (geralmente 2) indivíduos aleatoriamente;
    - O melhor é selecionado;
    - Não é proporcional a aptidão.

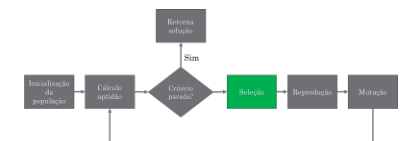
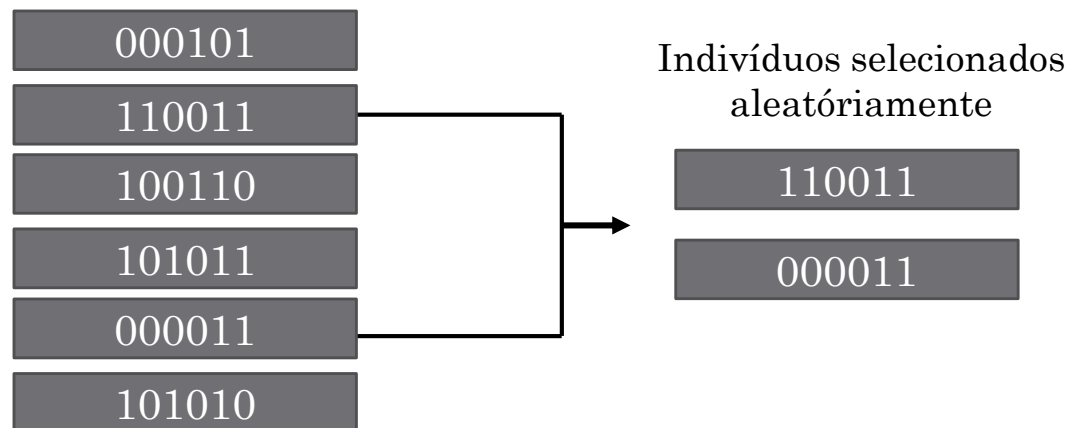
000101
110011
100110
101011
000011
101010





# Seleção

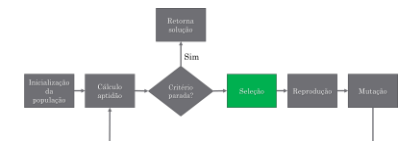
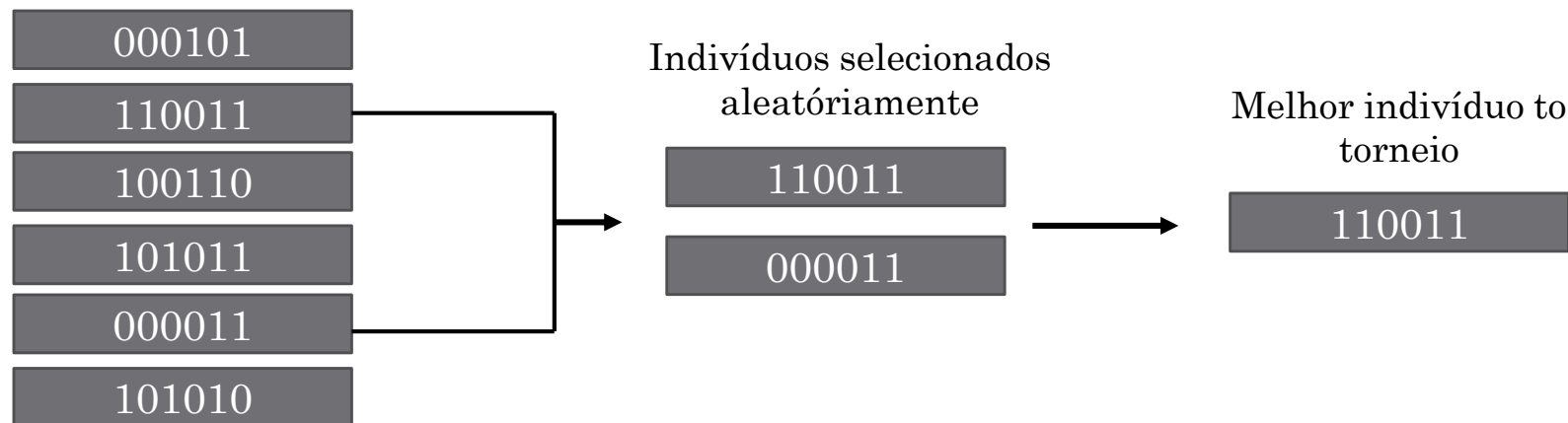
- Outras formas utilizadas para a seleção
  - **Torneio**
    - Escolhe-se  $n$  (geralmente 2) indivíduos aleatoriamente;
    - O melhor é selecionado;
    - Não é proporcional a aptidão.

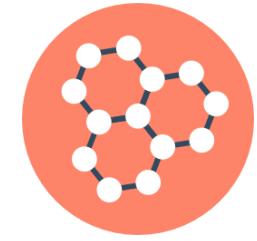




# Seleção

- Outras formas utilizadas para a seleção
  - **Torneio**
    - Escolhe-se  $n$  (geralmente 2) indivíduos aleatoriamente;
    - O melhor é selecionado;
    - Não é proporcional a aptidão.

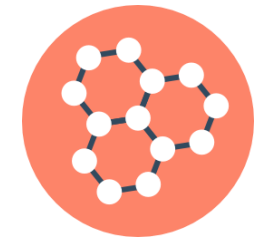




# Cruzamento

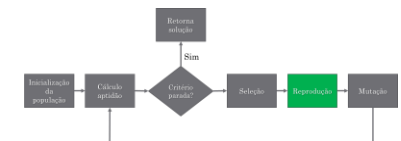
- Troca de segmentos entre “pares” de cromossomos selecionados para originar os novos indivíduos da geração seguinte;
- Propagar as características positivas dos indivíduos mais aptos da população por meio da troca de segmentos de informações entre os mesmos, originando novos indivíduos.





# Cruzamento

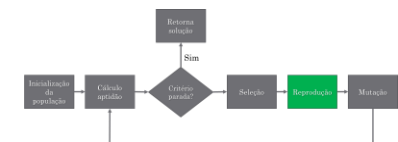
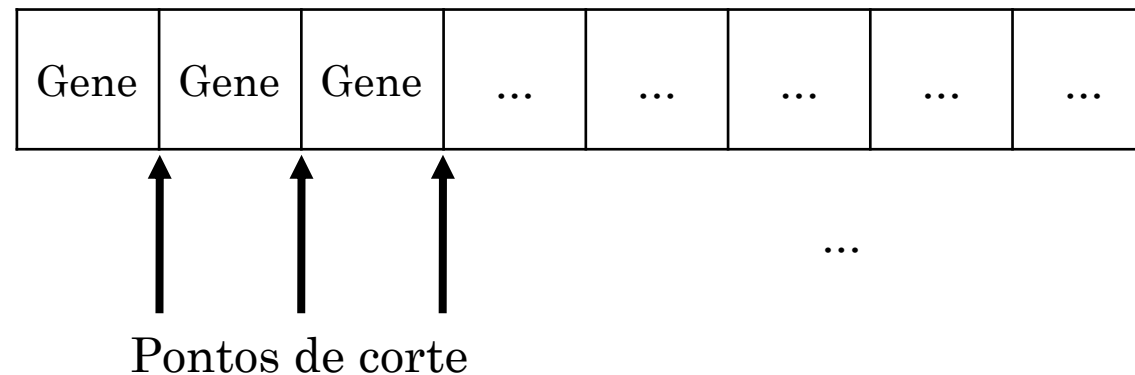
- Operador genético predominante;
- Aplicado com taxa de probabilidade maior que a taxa de mutação;
- Tipos de cruzamento muito utilizados:
  - Cruzamento de ponto único;
  - Cruzamento de ponto duplo;
  - Cruzamento de pontos aleatórios.





# Cruzamento

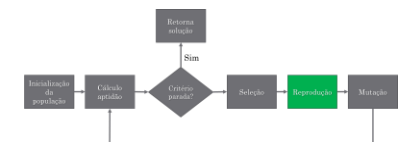
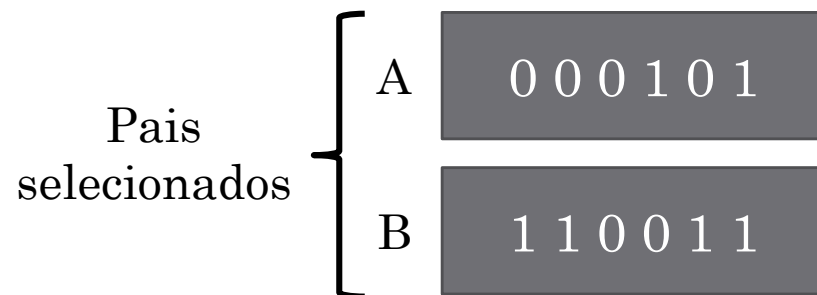
- Cada indivíduo com  $n$  genes possui  $n-1$  pontos de corte;
- Em um indivíduo com codificação binária, cada bit é um gene.





# Cruzamento

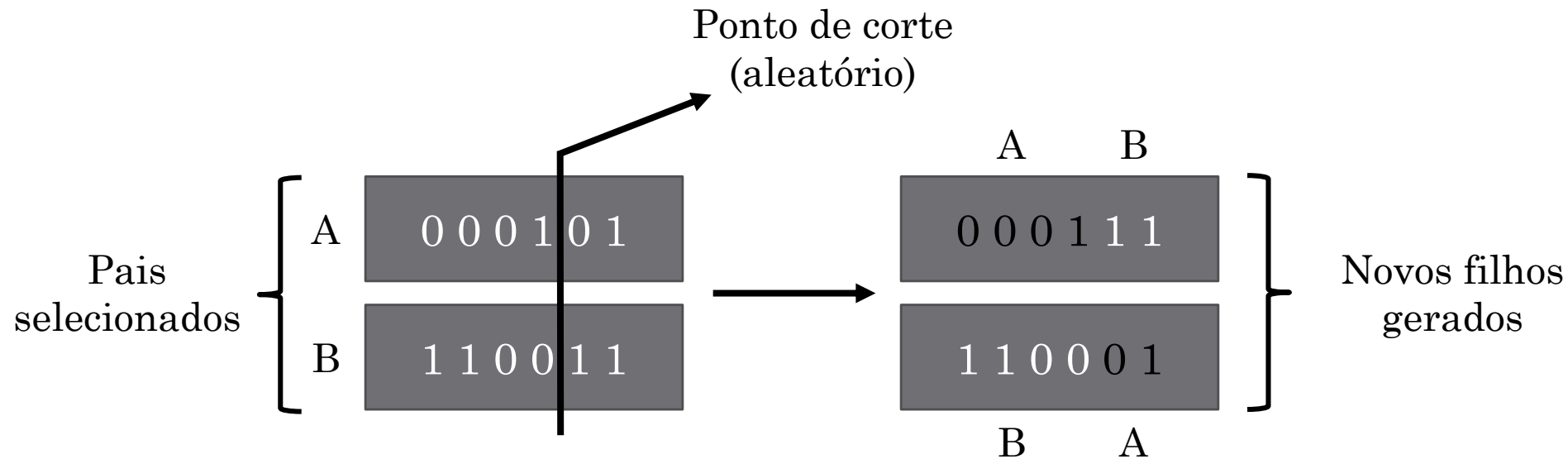
- Ponto único – Um ponto é escolhido e, à partir desse ponto, as informações genéticas dos pais serão trocadas.





# Cruzamento

- Ponto único – Um ponto é escolhido e, à partir desse ponto, as informações genéticas dos pais serão trocadas.

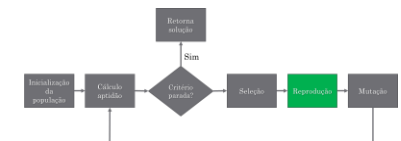
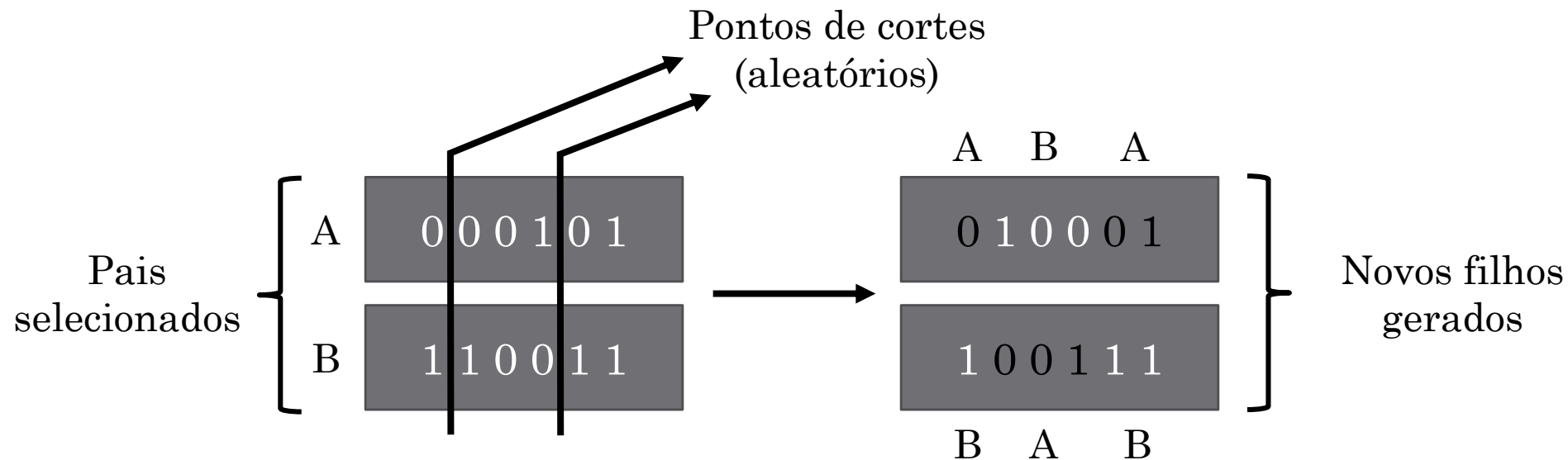






# Cruzamento

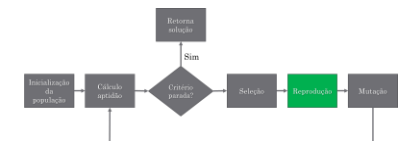
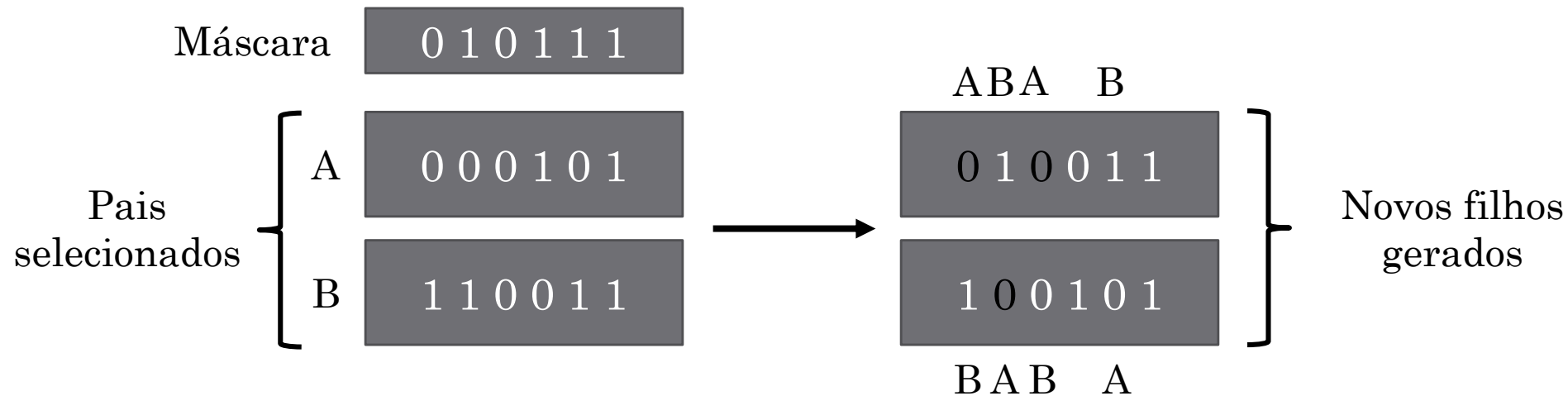
- Ponto duplo – Dois pontos são escolhidos e as informações genéticas dos pais serão trocadas.

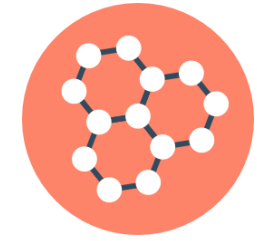




# Cruzamento

- Pontos aleatórios – Usa uma máscara de bits
  - bit 0 pega gene de um dos pais e bit 1 o contrário.





# Mutação

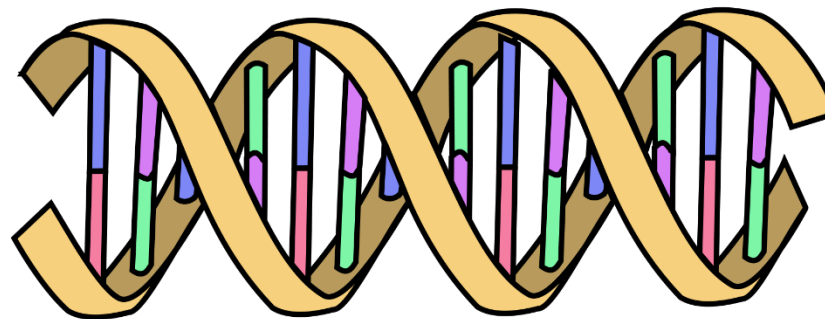
- Modificações em determinadas propriedades genéticas de forma aleatória;
- Introdução e manutenção da diversidade genética da população;
- Assim como na natureza, deve acometer uma pequena parcela da população
  - Probabilidade de **0,1%** a **5%** na maior parte dos casos.





# Mutação

- Probabilidade do operador de é um dos parâmetros do algoritmo genético que pode alterar o resultado do mesmo
  - Caso a probabilidade seja elevada, os indivíduos gerados serão pouco semelhantes aos pais.
- Podemos citar: mutação aleatória e por troca.





# Mutação

- Mutação aleatória

Indivíduo A

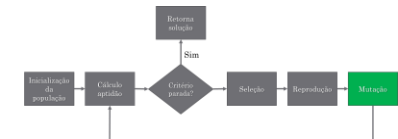
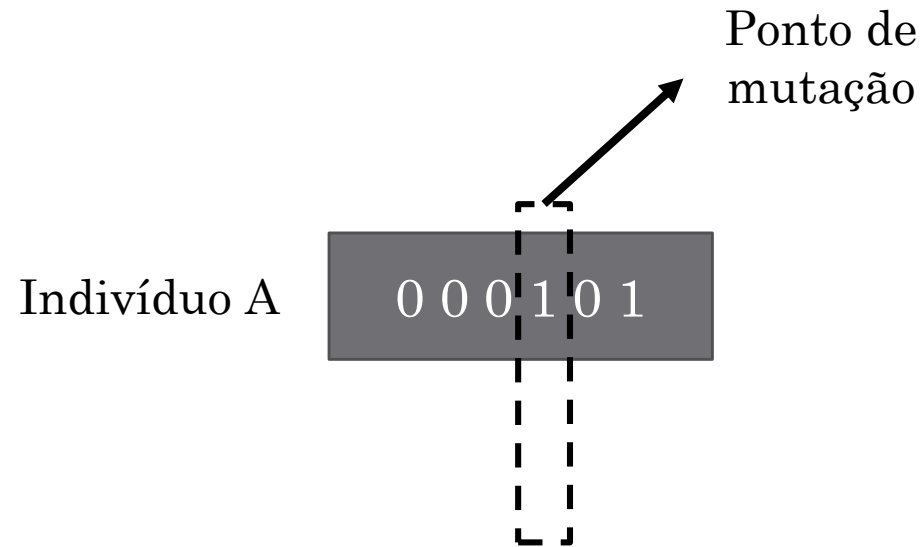
0 0 0 1 0 1





# Mutação

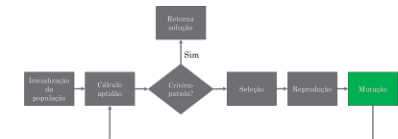
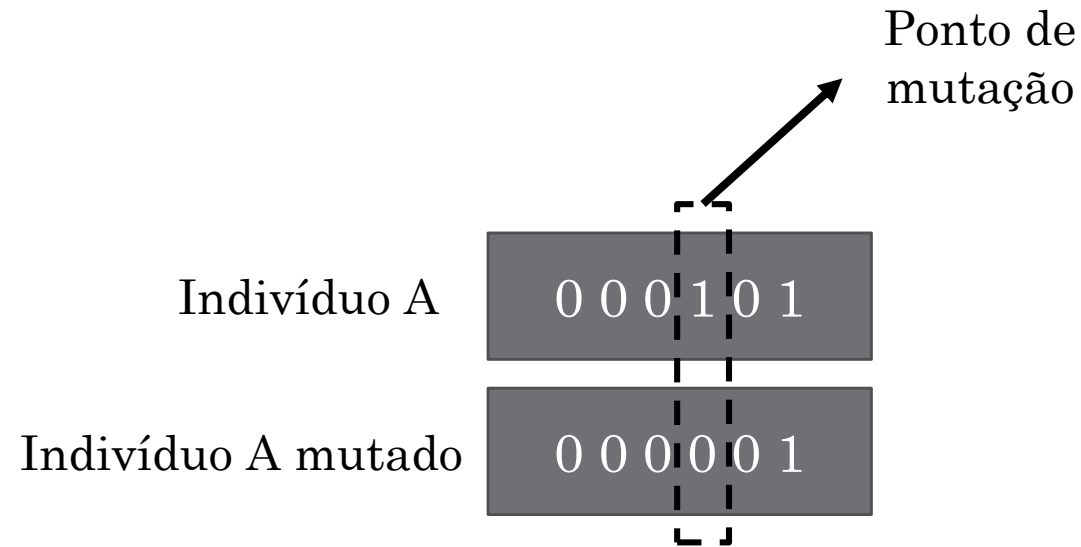
- Mutação aleatória





# Mutação

- Mutação aleatória



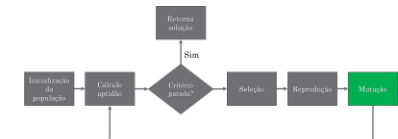


# Mutação

- Mutação por troca

Indivíduo A

0 0 0 1 0 1

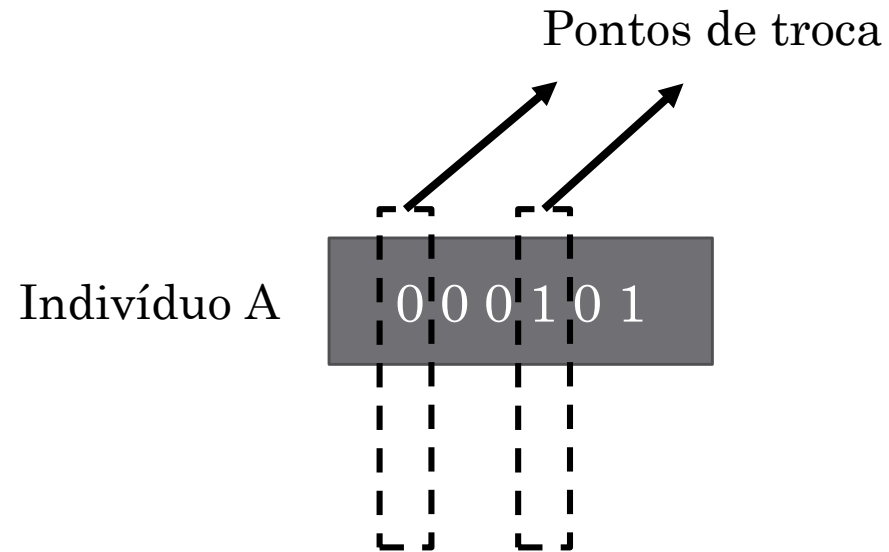


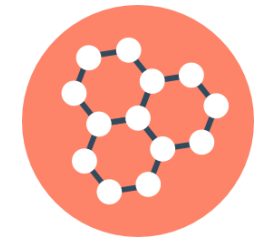




# Mutação

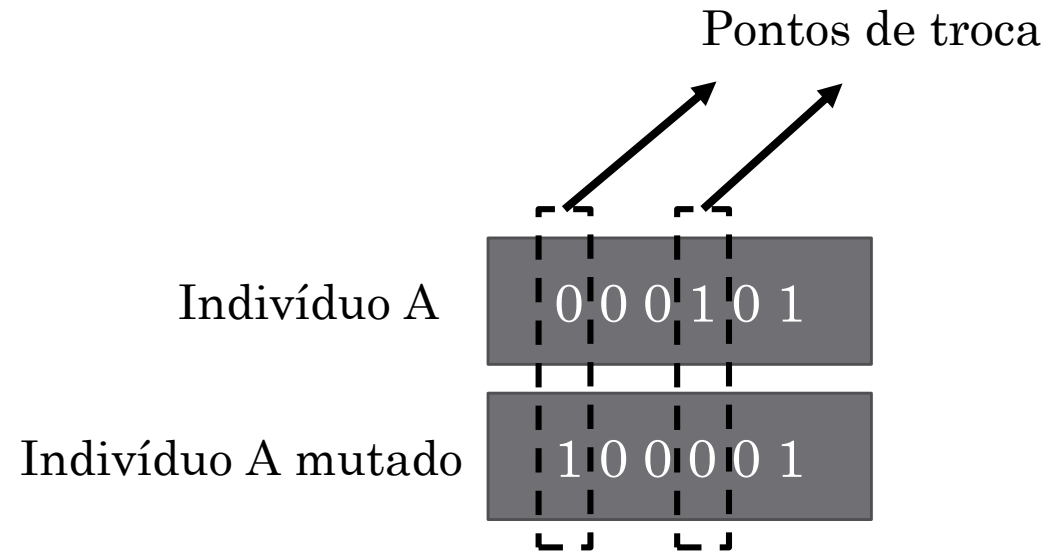
- Mutação por troca

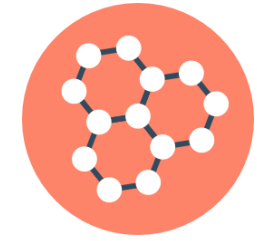




# Mutação

- Mutação por troca





# Parâmetros Importantes

- Tamanho da população;
- Taxa de cruzamento;
- Taxa de mutação;
- Intervalo de geração.



# Referências

- LUCAS, D.C. Algoritmos Genéticos: Uma Introdução
- CARVALHO, A. P. L. Algoritmos Genéticos
- ROSA, T. O.; LUZ, H. S. Conceitos Básicos de Algoritmos Genéticos: Teoria e Prática
- PACHECO, M. A. C. Algoritmos Genéticos: Princípios E Aplicações
- NETO, S. P. Computação Evolutiva: Desvendando os Algoritmos Genéticos
- MIRANDA, M. N. Algoritmos Genéticos: Fundamentos e Aplicações
- CRUZ, A. J. O. Algoritmos Genéticos
- LIMA, E. S. Algoritmos Genéticos
- MONÇÃO, A. C. B. L. Uma Abordagem Evolucionária para o Teste de Instruções SELECT SQL com o uso da Análise de Mutantes
- PARREIRAS, R. O. Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério
- MANOEL, H. P. Algoritmos Genéticos
- ZUBEN, F. V. Representação e Operadores Evolutivos