

Algoritmos Genéticos

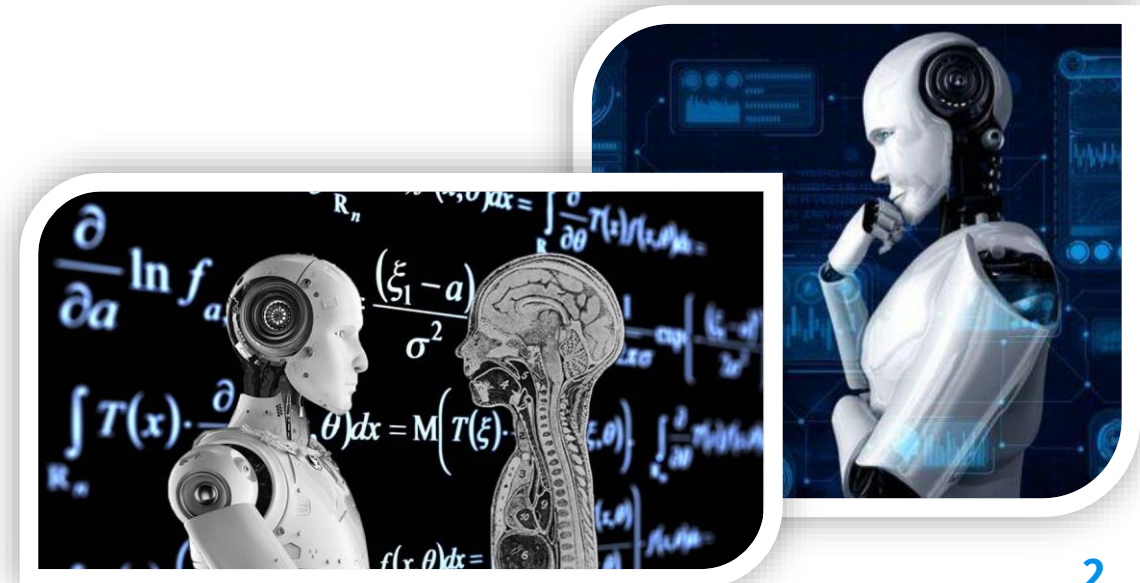
Disciplina: Inteligência Computacional (C210A/B)

Curso: Engenharia de Computação e Software

Prof^a. Victoria Dala Pegorara Souto

ALGORITMOS GENÉTICOS

- Promover a compreensão do funcionamento e da aplicação de algoritmos genéticos na solução de problemas de otimização.



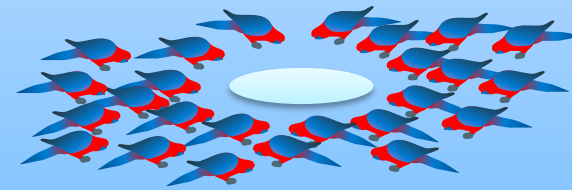
ALGORITMOS GENÉTICOS

© Paradigma da IA

Evolucionista

Metáfora da natureza

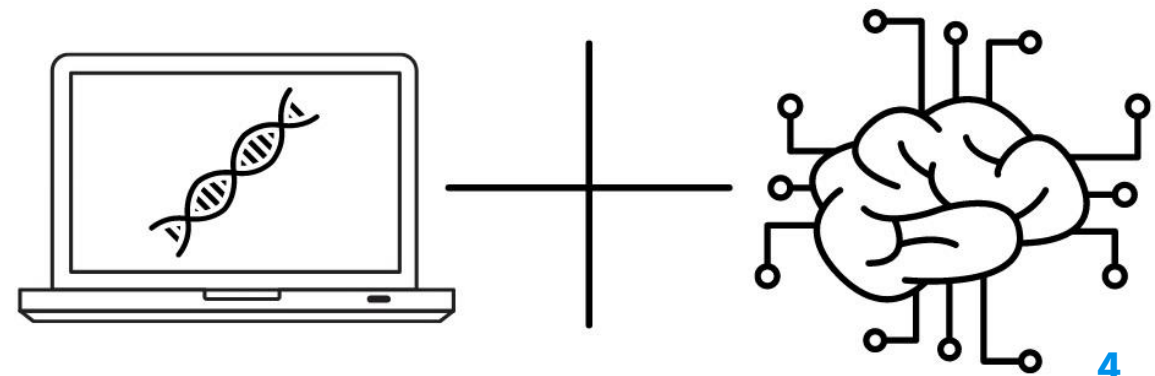
Ex. algoritmos genéticos, vida artificial,...



ALGORITMOS GENÉTICOS

Quando Utilizar GA??

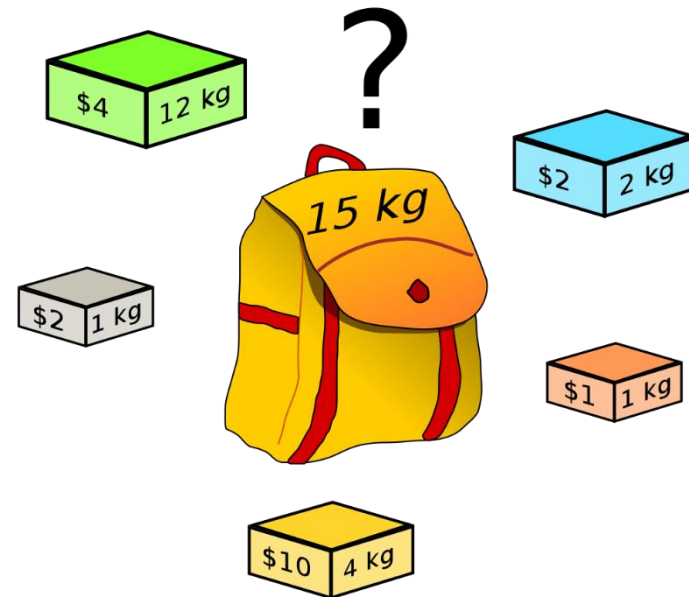
- ✓ Algoritmos de busca clássica não resolvem o problema.
- ✓ Problema não possui solução exata.
- ✓ Problemas intratáveis.



ALGORITMOS GENÉTICOS

◉ Problema da Mochila

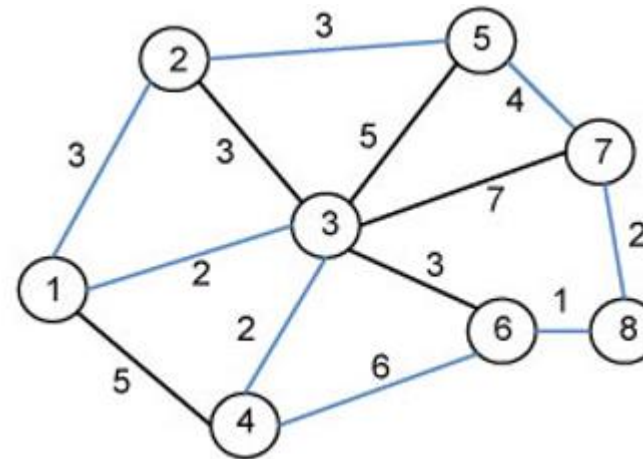
- Preencher uma mochila com objetos de diferentes pesos e valores. O objetivo é preencher a mochila com o maior valor possível, não ultrapassando o peso máximo.



ALGORITMOS GENÉTICOS

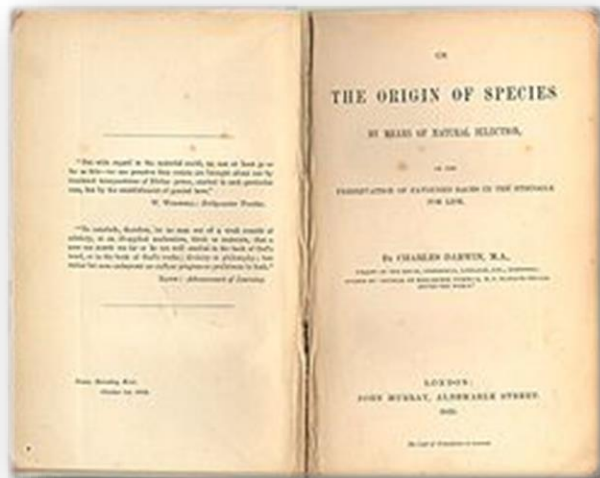
◉ Problema do Caixeiro Viajante

- Se um caixeiro viajante inicia do ponto 1, sendo as distâncias entre cada par de pontos conhecidas, qual é o menor caminho ao visitar todos os pontos e retornar ao ponto 1?

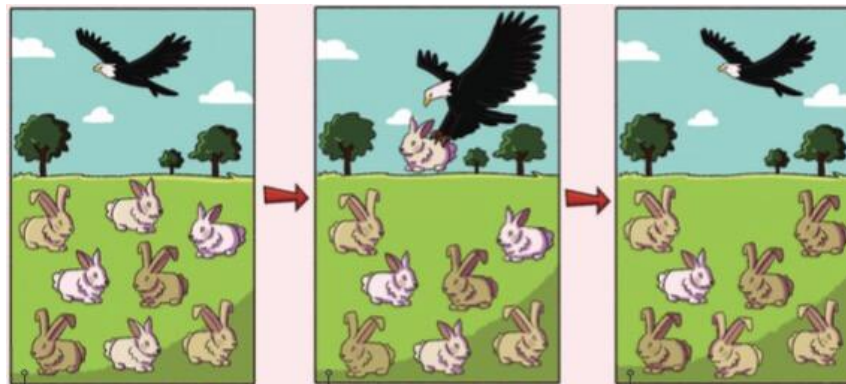
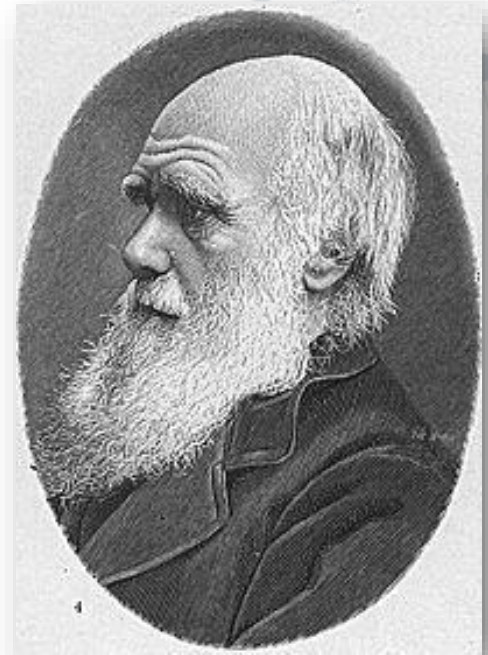


ALGORITMOS GENÉTICOS

- Em 1859, 2 anos após George Boole ter descrito sua álgebra, o naturalista Britânico Charles Robert Darwin, publicou sua obra "*On the Origin of Species by Means of Natural Selection*".

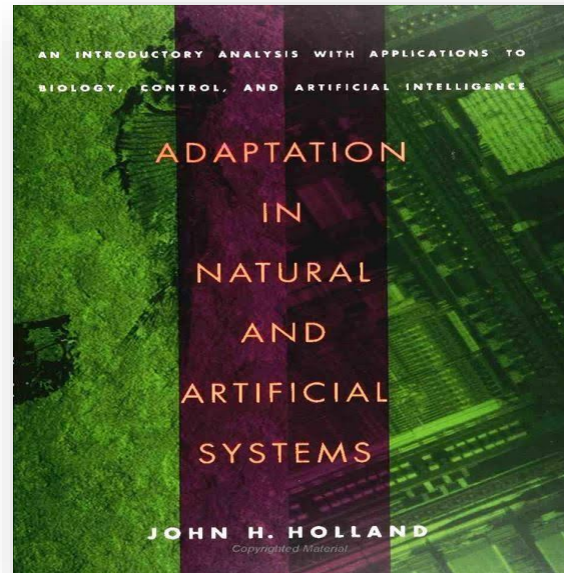


- Origem da genética;
- A natureza incentiva os mais fortes em detrimento dos mais fracos.



ALGORITMOS GENÉTICOS

- Em 1975, Jonh Holland, conhecido como “o pai dos algoritmos genéticos”, publicou seu livro *“Adaptation in Natural and Artificial Systems”*, após várias pesquisas na área.

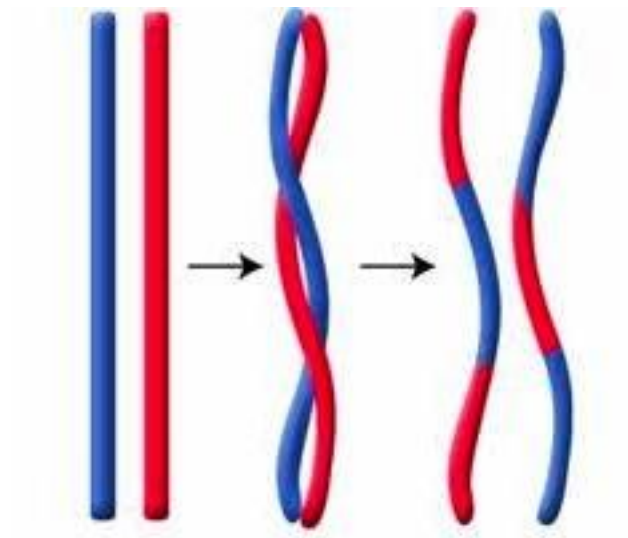


ALGORITMOS GENÉTICOS

⊙ Algoritmos Evolucionários

- Usam modelos computacionais do processos naturais de evolução como uma ferramenta para resolver problemas.

- ✓ Estratégias Evolucionárias
- ✓ Algoritmos Genéticos
- ✓ Programação Genética



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Definição:

- **Ramo dos algoritmos evolucionários**
 - Técnica de busca baseada na metáfora do processo biológico de evolução natural.
- **Podem ser consideradas técnicas heurísticas de otimização global**
 - Se opõe a outros métodos que ficam facilmente retidos em mínimos (ou máximos) locais (*hill climbing*).
- **Populações de indivíduos são criadas e submetidas aos operadores genéticos:**
 - Seleção;
 - Recombinação (*crossover*);
 - Mutação;
 - Elitismo.

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Principais Características:

- **Probabilística:** mesmas configurações (população inicial e parâmetros) levam a diferentes soluções;
- **Diminuição do espaço de busca:** não avaliam todas as soluções possíveis;
- **Codificação de parâmetros:** generalização do algoritmo para vários problemas.
 - Alteração apenas da função de avaliação;
 - Economia de tempo e dinheiro.

ALGORITMOS GENÉTICOS

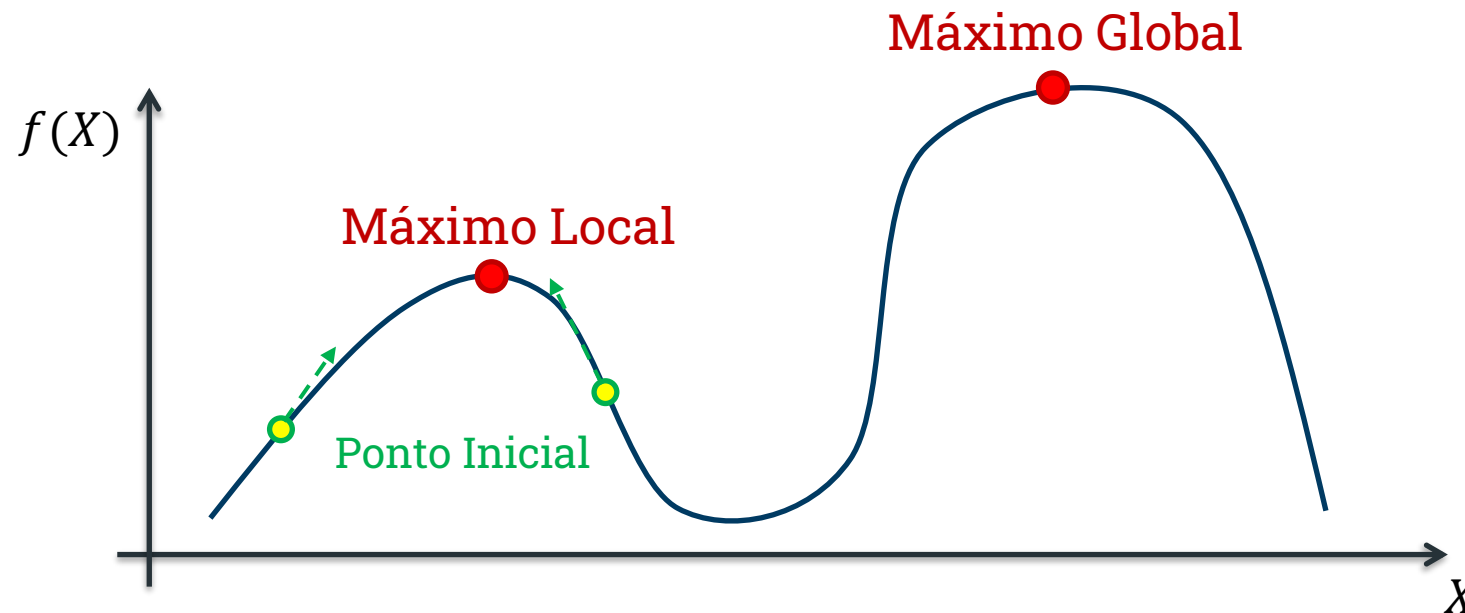
© Vantagens:

- **Paralela:** mantém uma população de soluções que são avaliadas simultaneamente;
- **Global:** não usa apenas informação local (menor chance de ficar preso em mínimos locais);
- **Não é totalmente aleatório:** possui componentes aleatórios mas os próximos passos são baseados em informações da população corrente;
- **Não é afetado por descontinuidades:** não utilizam informações de derivadas na sua evolução;
- Atua tanto em funções **discretas** quanto em **contínuas**;

ALGORITMOS GENÉTICOS

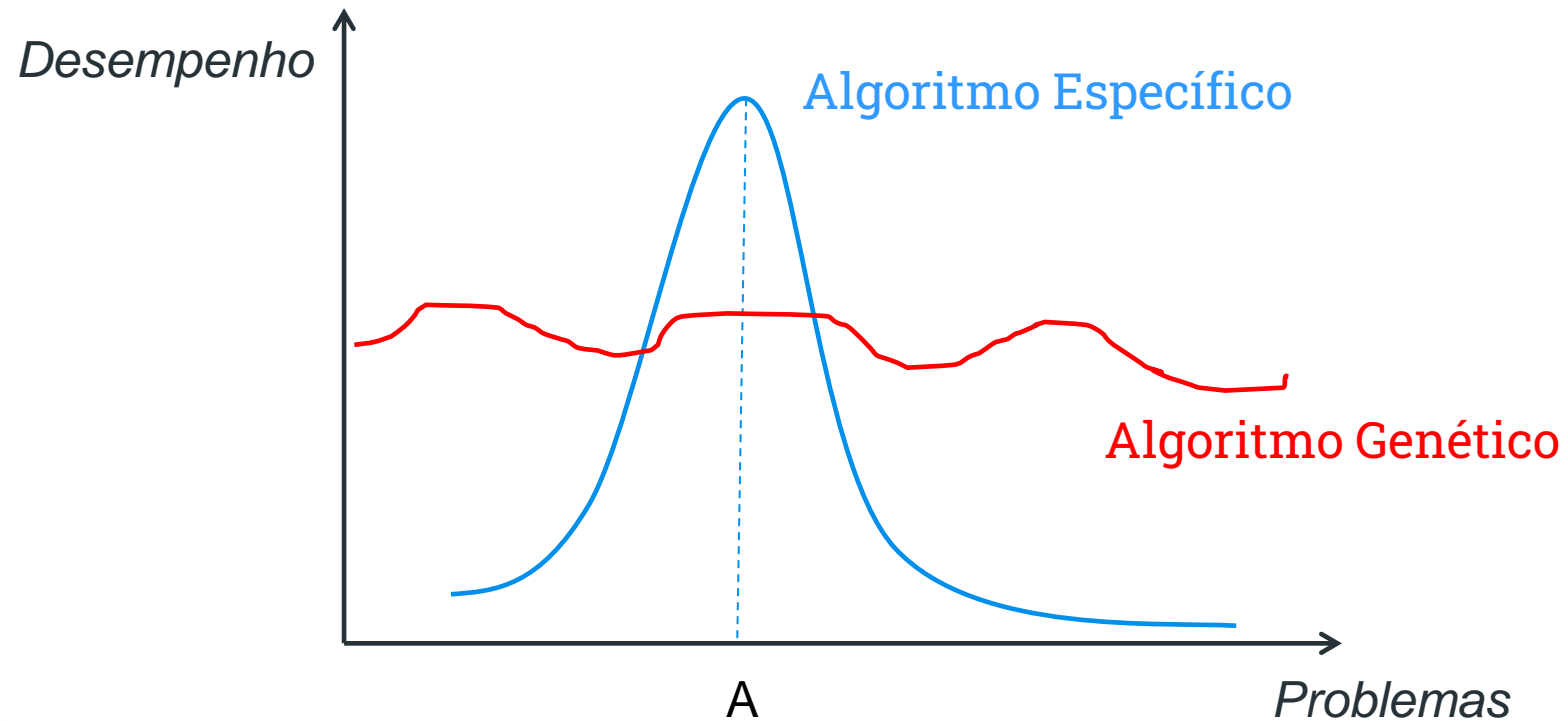
◎ Máximo Local

- **Problema:** Função hipotética com um máximo local e outro global. Uma técnica de gradiente (hill climbing) se inicia em qualquer um dos pontos de início marcados e seguirá o gradiente (direção de maior crescimento) e acabará presa no ponto de máximo local (onde a derivada é zero). **GAs não tem essa dependência tão forte dos valores iniciais.**



ALGORITMOS GENÉTICOS

⊙ Algoritmo Específico x GA:



ALGORITMOS GENÉTICOS

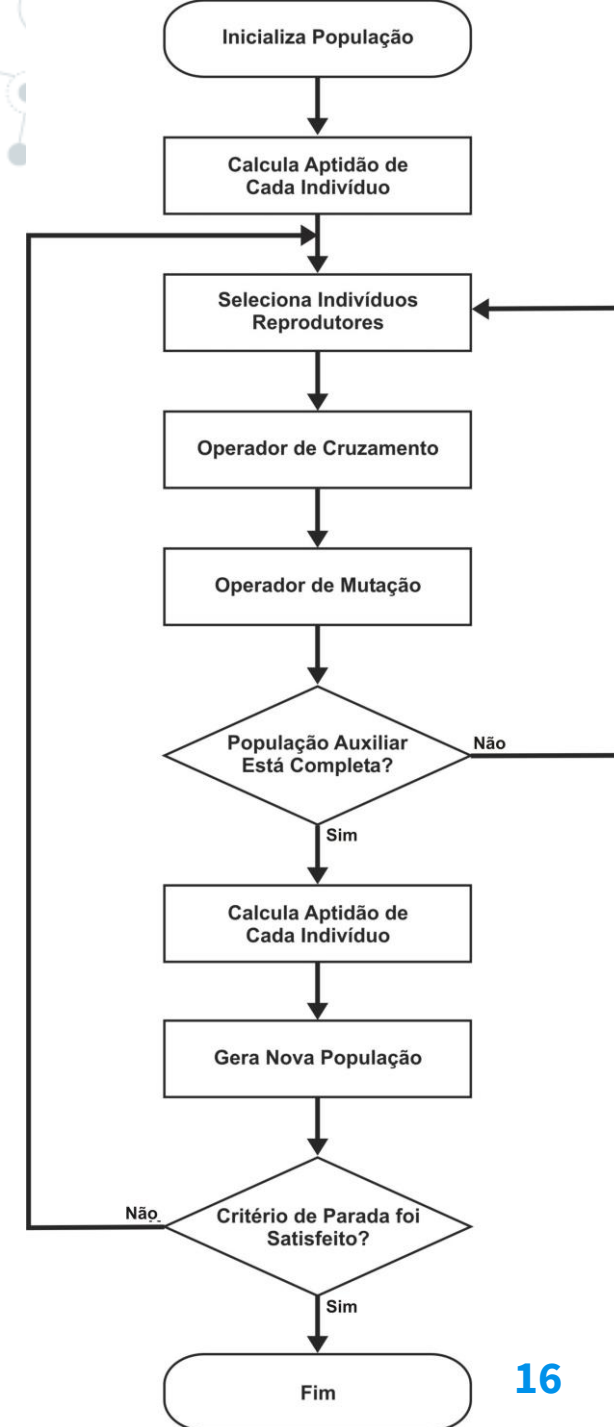
Terminologia

Definição	Biologia	Algoritmos Genéticos
Gene	Unidade fundamental da hereditariedade	Uma variável de otimização (codificada)
Cromossomo	Longa sequência de DNA composta por diversos genes	Possível solução para o problema a ser resolvido.
Indivíduo	Membro da população	Indivíduo = Cromossomo
Gerações	Geração de indivíduos em um período de tempo.	População gerada a partir do cruzamento e mutação dos indivíduos da geração anterior.
Pais	Indivíduos selecionados através do processo de seleção natural para participarem do processo de reprodução.	Indivíduos selecionados através do processo de seleção natural para participarem do processo de reprodução, através do qual é gerada a população da próxima geração.
Filhos	Indivíduos gerados através do processo de reprodução dos pais selecionados pelo processo de seleção natural.	Indivíduos gerados através do processo de reprodução dos pais selecionados pelo processo de seleção natural.
Aptidão	Grau de adequação de cada indivíduo no ambiente em que vive.	Valor calculado através de informações contidas no cromossomo, as quais foram retiradas do problema a ser otimizado.

ALGORITMOS GENÉTICOS

© Funcionamento GA Clássico:

1. **Inicialize** a população de cromossomos;
2. **Avalie** cada cromossomo na população;
3. **Selecione** os pais para gerar novos cromossomos;
4. Aplique os **operadores de recombinação/cruzamento e mutação** a estes pais de forma a gerar os indivíduos da nova geração;
5. **Avalie** todos os novos cromossomos e **insira-os** na população, substituindo os indivíduos da geração atual;
6. Se o critério de parada foi atingido, retorne o indivíduo com maior aptidão e finalize o algoritmo, caso contrário, volte ao passo 3.



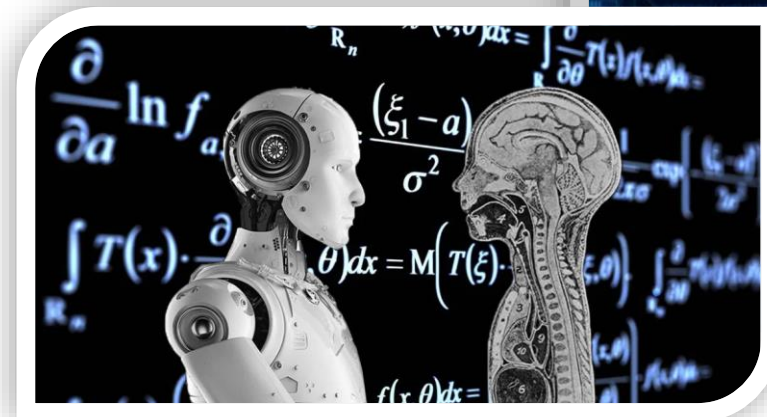
ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Componentes de um GA:

- **Seleção:** escolhe-se os indivíduos que participarão do processo de reprodução;
- **Operadores genéticos:** aplica-se os operadores de **recombinação/cruzamento e mutação** aos indivíduos escolhidos para “pais”;
- **Módulo de população:** define-se a nova população a partir da geração existente e dos filhos gerados;
- **Critério de parada:** verifica-se se o critério de parada é satisfeito. Pode ser por número de gerações ou qualidade da solução;
- **Avaliação:** aplica-se a função de avaliação a cada um dos indivíduos desta geração;

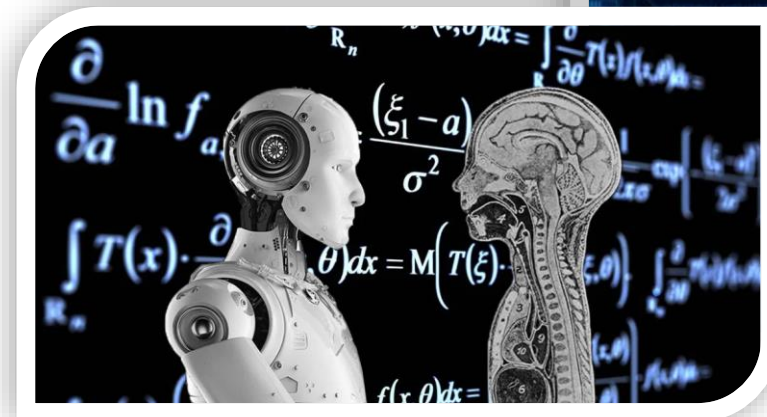
ALGORITMOS GENÉTICOS

- Codificação das Variáveis (Representação Cromossomial);
- Definição Função Aptidão (Função Objetivo);
- Métodos de Seleção;
- Operadores de Cruzamento (Recombinação);
- Operadores de Mutação;
- Elitismo.



ALGORITMOS GENÉTICOS

- Codificação das Variáveis (Representação Cromossomial);
- Definição Função Aptidão (Função Objetivo);
- Métodos de Seleção;
- Operadores de Cruzamento (Recombinação);
- Operadores de Mutação;
- Elitismo.



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Codificação das Variáveis / Representação Cromossomial:

- **Objetivo:** Transformar as variáveis do problema em um cromossomo, fazendo como que as informações contidas nestas variáveis sejam tratadas de forma correta pelo computador.
- Para realizar a codificação das variáveis deve-se levar em consideração diversas regras, dentre as mais importantes tem-se:
 - A representação a ser utilizada deve ser a mais simples possível;
 - Caso existam restrições, estas devem estar implícitas na codificação utilizada;
 - Se existirem restrições referentes as soluções do problema, estas não devem ser codificadas.

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Codificação das Variáveis / Representação Cromossomial:

- Cada pedaço indivisível da representação é chamado de **gene**:
 - Deve ser a mais simples possível
 - Soluções proibidas não deve possuir representação
 - Imposições devem estar implícitas dentro da representação

Genótipo	Fenótipo	Problema
0010101001110101	10869	Otimização numérica
CGDEHABF	comece pela cidade C, depois passe pelas cidades G, D, E, H, A, B e termine em F	Caixeiro viajante
$C_1R_4C_2R_6C_4R_1$	se condição 1 (C_1) execute regra 4 (C_4), se (C_2) execute (R_6), se (C_4) execute (R_1)	Regras de aprendizagem para agente

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Codificação das Variáveis:

- **Codificação Binária:** Este tipo de codificação utiliza números binários para representação das variáveis, ou seja, 0 ou 1. Cada parâmetro é representado por um conjunto de bits (genes). Cada variável presente no problema a ser otimizado é formada por uma cadeia de bits podendo apresentar tamanhos distintos e uma precisão requerida.

- **Precisão de uma representação binária** de uma variável x_i , que existe no intervalo $[inf_i, sup_i]$

$$Precisão = \frac{sup_i - inf_i}{2^k - 1}$$

- **Conversão** do número binário dentro do cromossomo para um número real:

$$real = inf_i + \frac{sup_i - inf_i}{2^k - 1} r_i$$

Onde r_i representa o número inteiro correspondente ao valor binário dentro do cromossomo.

ALGORITMOS GENÉTICOS

- **Exemplo:** Codificação Binária → Problema da Mochila.

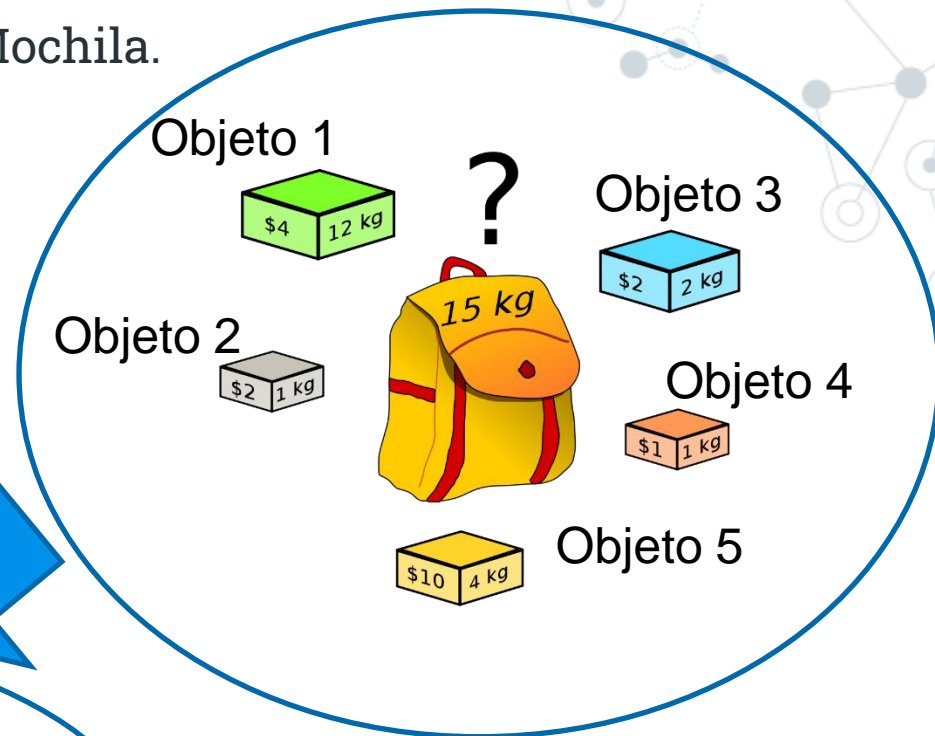
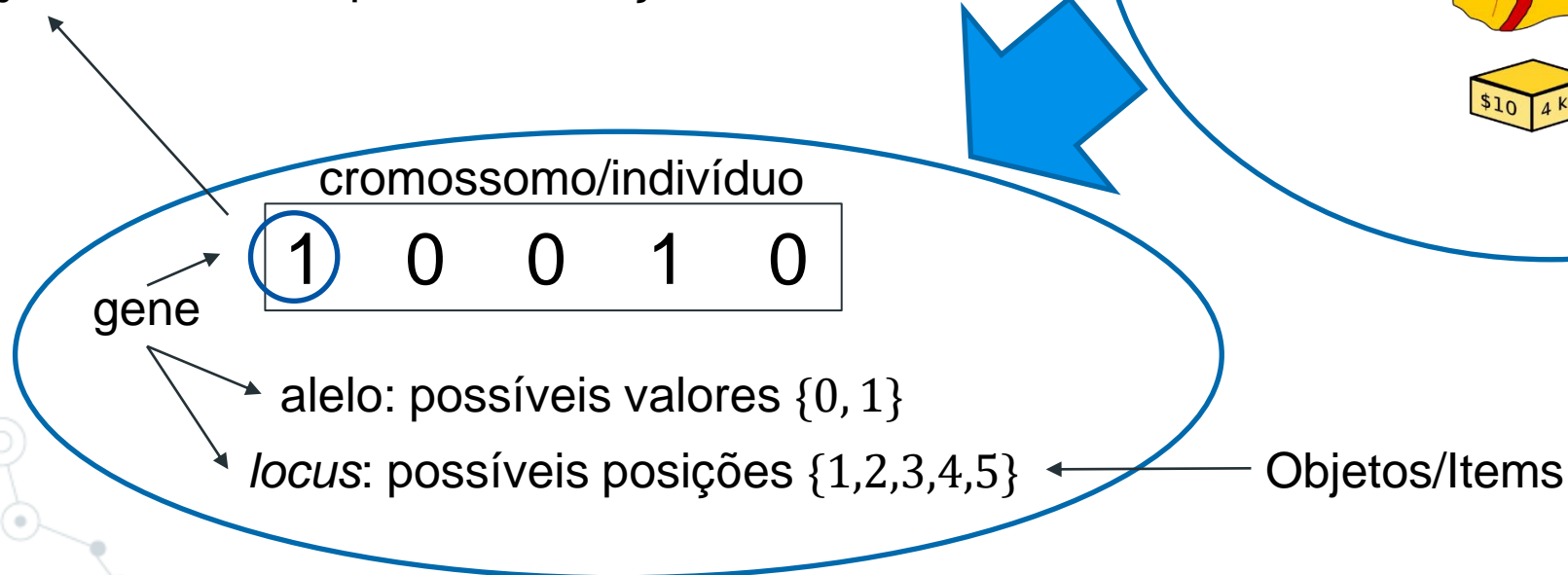
Objeto 1 – faz parte da solução

Objeto 2 – não faz parte da solução

Objeto 3 – não faz parte da solução

Objeto 4 – faz parte da solução

Objeto 5 – não faz parte da solução



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Codificação das Variáveis:

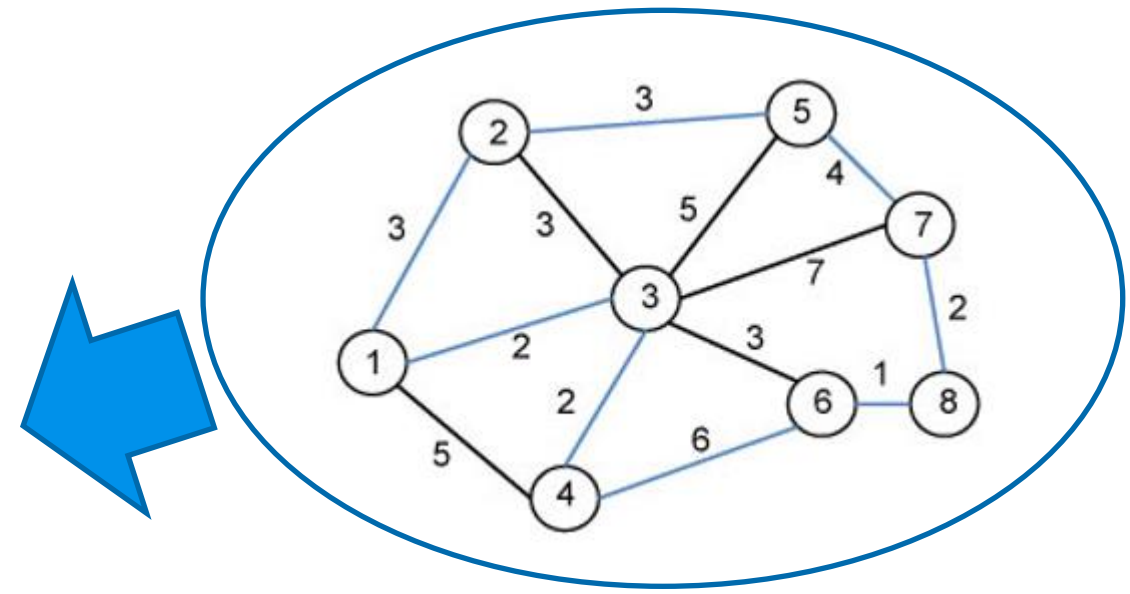
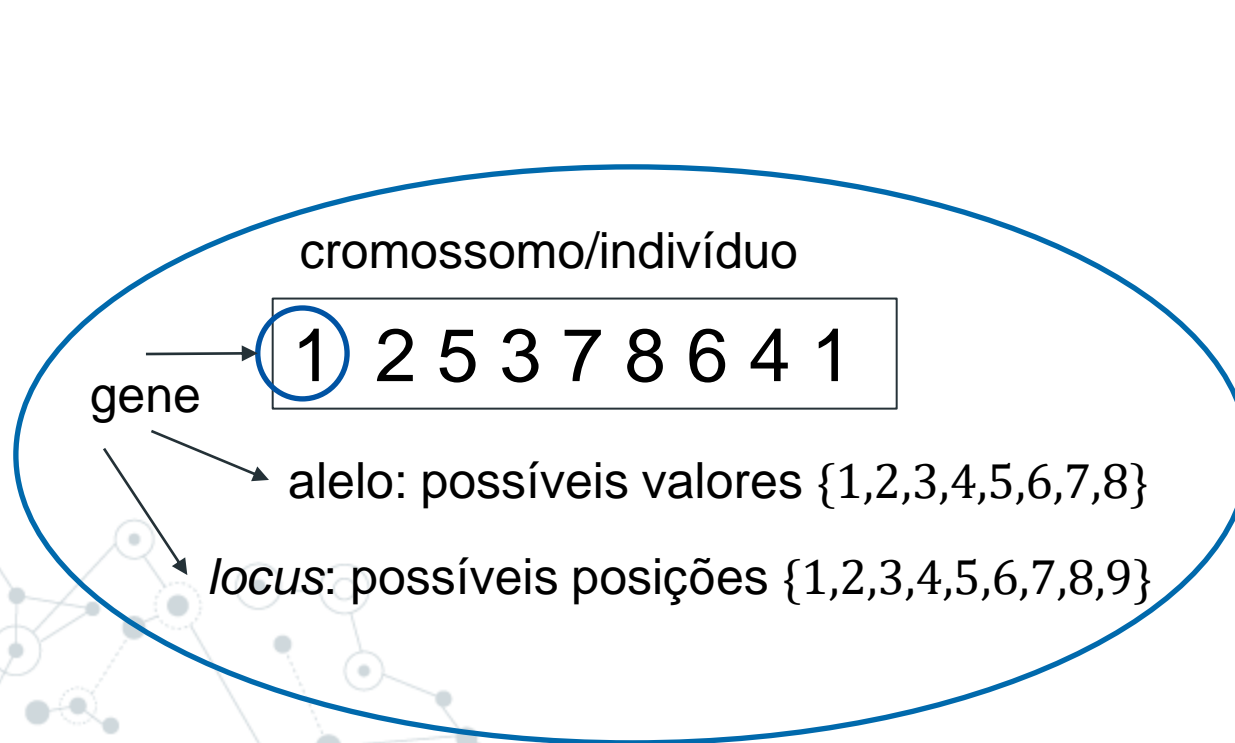
- **Codificação de Gray:** Semelhante a codificação binária, pois utiliza apenas cadeias de 0 e 1 para realizar a codificação das variáveis, porém na codificação de Gray os números inteiros consecutivos apresentam apenas um único "bit" de diferença entre eles.
- Duas sequências com apenas um "bit" de diferença podem não ser inteiros consecutivos (por exemplo 2 e 5).
- A codificação de Gray favorece a convergência com maior precisão, mas pode fazer com que o algoritmo venha a convergir para um máximo local enquanto que a codificação binária amplia o espaço de busca do algoritmo e encontra um máximo global, apesar de aumentar o número de iterações necessárias para que o máximo global seja encontrado.

Decimal	Binário	Gray
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010
4	100	110
5	101	111
6	110	101
7	111	100

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Codificação das Variáveis:

- **Codificação Inteira:** A codificação inteira representa os parâmetros presentes no problema a ser otimizado utilizando números inteiros.



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Codificação das Variáveis:

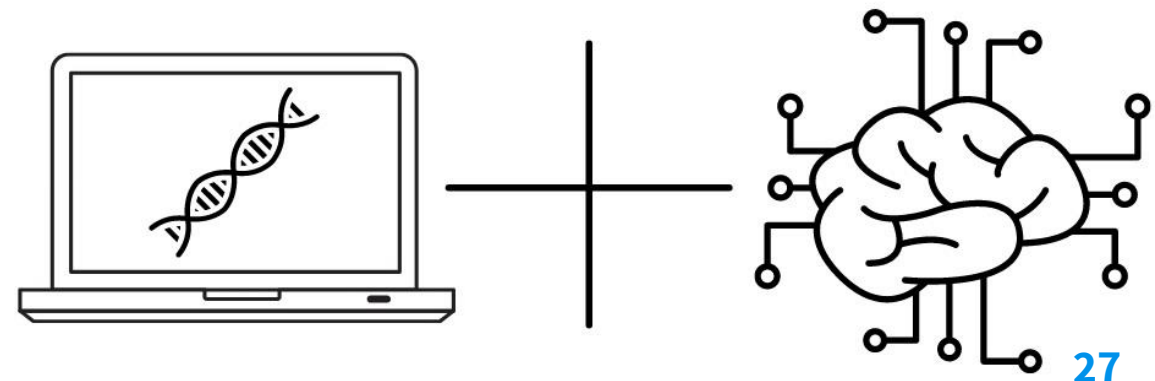
- **Codificação Real:** Representa diretamente os parâmetros presentes no problema a ser otimizado, estes parâmetros são otimizados utilizando números reais.
- Este tipo de codificação pode **reduzir a complexidade computacional, aumentar a precisão e facilitar a utilização de mais de um tipo de codificação de variáveis.**
- Este tipo de codificação possui um **espaço de busca infinito**, fazendo com que os operadores de mutação e de cruzamento se tornem mais complexos, isto pode fazer com que a característica de flexibilidade dos GAs seja comprometida, pois os operadores implementados não podem ser utilizados para realizar a otimização de outros problemas.

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Codificação das Variáveis:

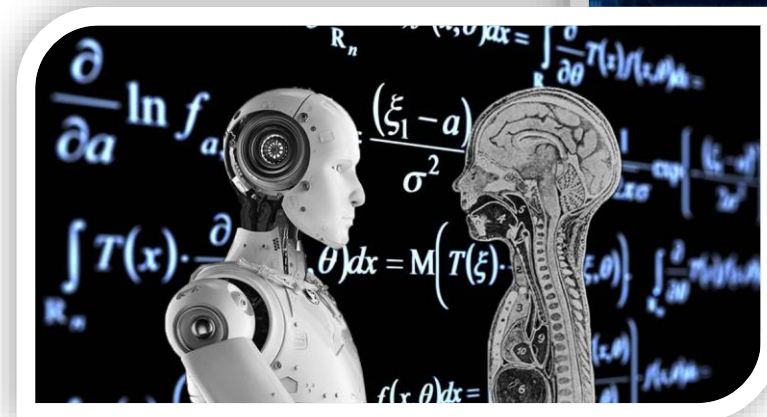
○ Observações:

- Caso a ordem seja importante para o problema (por exemplo: grafo, caixeiro viajante), ela deve ser considerada durante a codificação das variáveis.



ALGORITMOS GENÉTICOS

- Codificação das Variáveis (Representação Cromossomial);
- **Definição Função Aptidão (Função Objetivo);**
- Métodos de Seleção;
- Operadores de Cruzamento (Recombinação);
- Operadores de Mutação;
- Elitismo.



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Função Aptidão (Função Objetivo)

- Determina a **qualidade/aptidão** de um indivíduo/cromossomo
 - Deve embutir todo o conhecimento sobre o problema (restrições, qualidades, etc.)
 - Devem refletir os objetivos a serem alcançados
- **Exemplo:** maximizar a função quadrática $f(x) = x^2$, no intervalo de $x = [0,15]$

Genótipo	Fenótipo	$f(x) \rightarrow$ Avaliação/Grau de Adaptação
0001	1	1
0011	3	9
0100	4	16
0110	6	36
Total		62

→ **Grau de adaptação:** representa o quão bem a resposta representada por indivíduo soluciona o problema proposto. Calculada pela função objetivo/aptidão ($f(x)$).

- É uma nota dada ao indivíduo na resolução do problema.

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Função Aptidão (Função Objetivo)

- Determina a **qualidade/aptidão** de um indivíduo/cromossomo
 - Deve embutir todo o conhecimento sobre o problema (restrições, qualidades, etc.)
 - Devem refletir os objetivos a serem alcançados
- **Exemplo:** maximizar a função quadrática $f(x) = x^2$, no intervalo de $x = [0,15]$

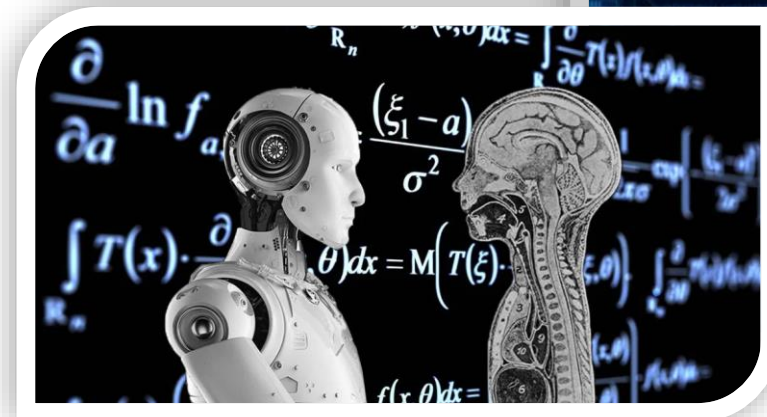
Genótipo	Fenótipo	Avaliação/Grau de Adaptação	Grau de Aptidão
0001	1	1	$0,016 = 1,6\%$
0011	3	9	$0,145 = 14,5\%$
0100	4	16	$0,258 = 25,8\%$
0110	6	36	$0,580 = 58,0\%$
Total		62	

→ **Grau de aptidão:** diz respeito ao nível de adaptação de um indivíduo em relação à população à qual ele pertence. Para uma população com n indivíduos:

$$f_A(x) = \frac{f_o(x)}{\sum_{i=1}^n f_o(i)}$$

ALGORITMOS GENÉTICOS

- Codificação das Variáveis (Representação Cromossomial);
- Definição Função Aptidão (Função Objetivo);
- **Métodos de Seleção;**
- Operadores de Cruzamento (Recombinação);
- Operadores de Mutação;
- Elitismo.



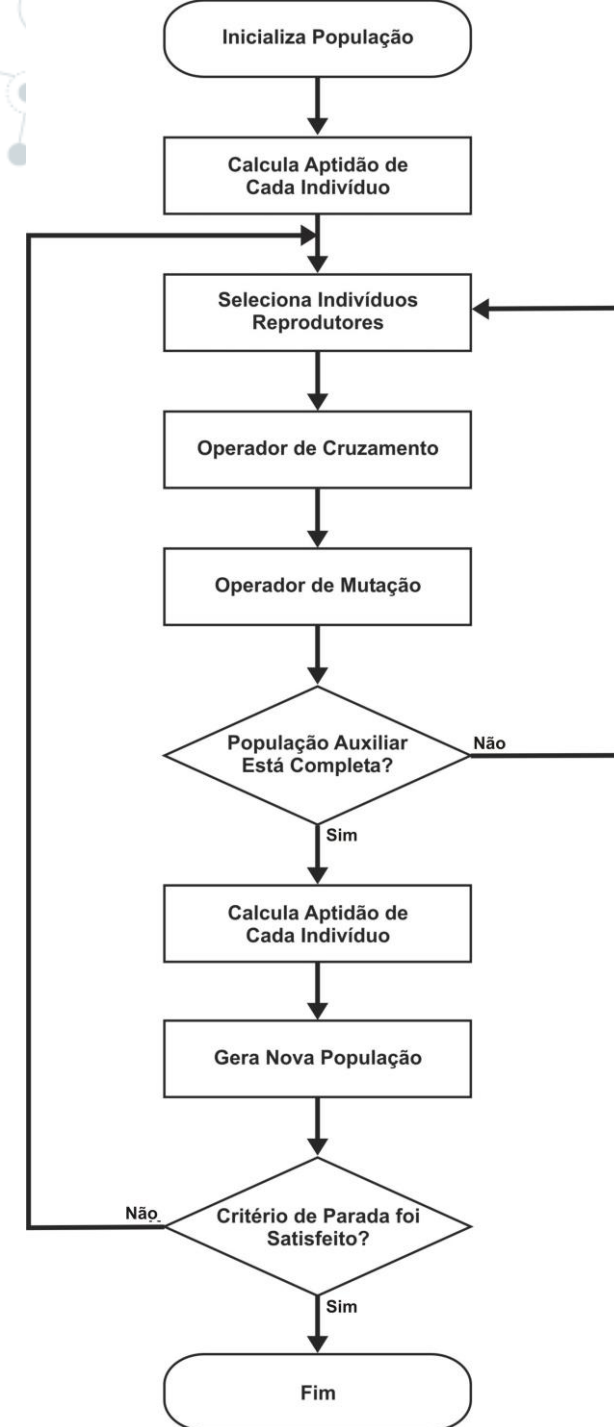
ALGORITMOS GENÉTICOS

© Métodos de Seleção

- Na teoria de evolução proposta por Darwin os indivíduos mais aptos tem maiores chances de serem selecionados para se reproduzirem, gerando assim mais descendentes;
- Os GAs implementam métodos de seleção onde é considerado o **valor de aptidão** de cada indivíduo para que o mesmo seja selecionado para participar do processo de reprodução.
- No entanto, indivíduos **menos aptos também devem gerar filhos**, ou seja, também devem ser selecionados para participar do processo de reprodução (menor quantidade)

→ **Maior diversidade Genética**

→ **Converge para um ótimo local.**



ALGORITMOS GENÉTICOS

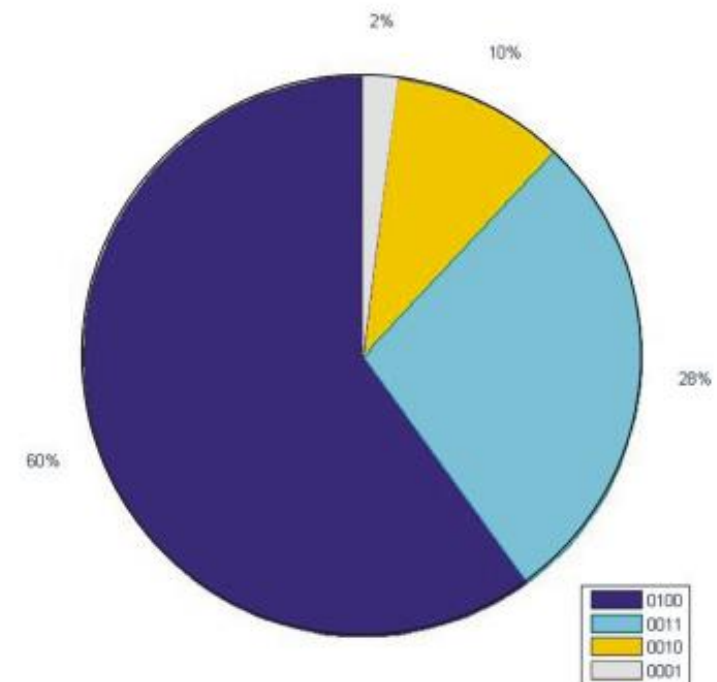
© Métodos de Seleção

- **Método da Roleta:** implementa um roleta virtual em que cada cromossomo recebe um pedaço proporcional a sua aptidão. Após realizada a distribuição dos indivíduos na roleta, gira-se a roleta selecionando-se o indivíduo sobre o qual a roleta parar.

Indivíduo	Aptidão	Grau de Aptidão
0001	1	2%
0010	5	10%
0011	14	28%
0100	30	60%

Problemas:

- Baixa diversidade genética;
- Convergência prematura;
- Pode convergir para um ótimo local.



ALGORITMOS GENÉTICOS

© Métodos de Seleção

- **Método do Torneio:** consiste em selecionar uma série de indivíduos para participar de uma competição, onde o critério de seleção é o valor de aptidão dos indivíduos, ou seja, o indivíduo com maior aptidão ganha a competição e é selecionado para participar do processo de reprodução.
- $k \rightarrow$ Tamanho do torneio (Número de indivíduos selecionados por rodada)
- **Exemplo:** $k = 2$

INDIVÍDUO	APTIDÃO	TORNEIOS		SELECIONADOS
1	20	1	7	1
2	50	5	10	10
3	60	10	7	10
4	80	9	10	9
5	150	8	8	8
6	500	7	2	2
7	1	1	3	3
8	300	1	9	9
9	1000	7	7	7
10	900	5	4	5

→ Maior diversidade genética.

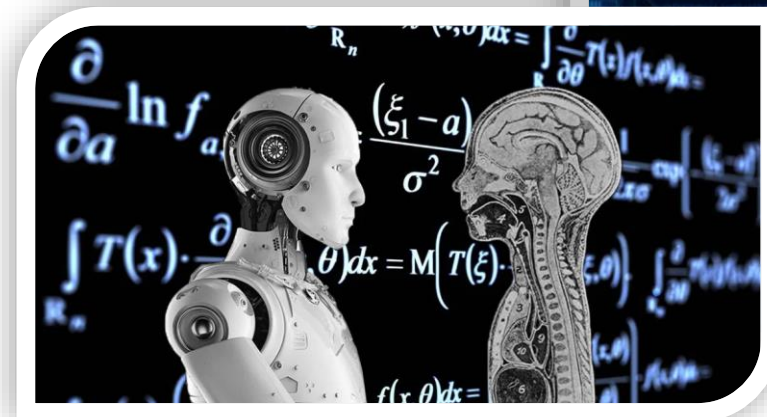
ALGORITMOS GENÉTICOS

© Outros Métodos de Seleção

- **Seleção por ranking (*rank selection*):** os indivíduos da população são ordenados de acordo com seu valor de adequação e então sua probabilidade de escolha é atribuída conforme a posição que ocupam;
- **Seleção uniforme:** todos indivíduos possuem a mesma probabilidade de serem selecionados. Obviamente, esta forma de seleção possui uma probabilidade muito remota de causar uma melhora da população sobre a qual atua.

ALGORITMOS GENÉTICOS

- Codificação das Variáveis (Representação Cromossomial);
- Definição Função Aptidão (Função Objetivo);
- Métodos de Seleção;
- **Operadores de Cruzamento (Recombinação);**
- Operadores de Mutação;
- Elitismo.



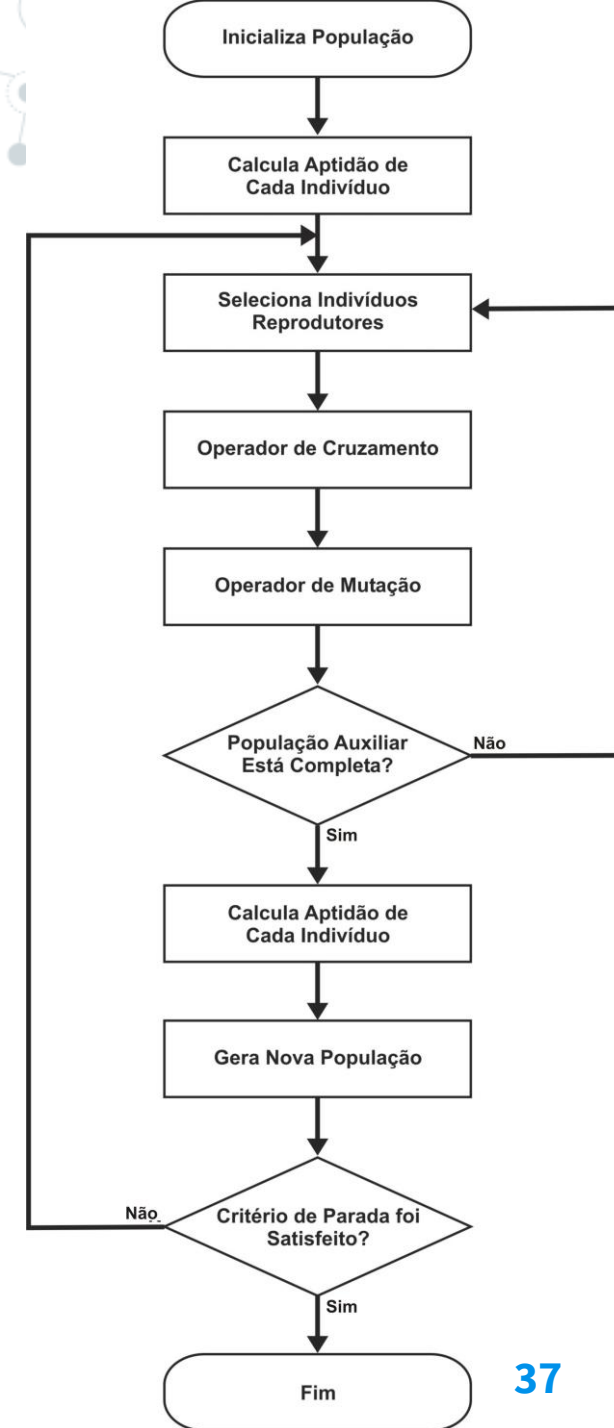
ALGORITMOS GENÉTICOS

- Após a aplicação das técnicas de seleção, os indivíduos selecionados são submetidos a **modificações probabilísticas** através dos operadores genéticos, estes operadores têm como **principal objetivo otimizar a aptidão dos indivíduos através de sucessivas gerações, utilizando informações contidas nas gerações anteriores.**

- Principais Operadores Genéticos:**

- Operador de Cruzamento;
- Operador de Mutação.

São dependentes do tipo de codificação utilizado!



ALGORITMOS GENÉTICOS

⊙ Operadores de Cruzamento

- O processo de cruzamento é um processo sexuado, onde **permuta-se partes dos cromossomos de dois ou mais indivíduos selecionados** anteriormente para formar descendentes.
- **Este processo pode ou não ocorrer**, pois o mesmo obedece a uma dada probabilidade de cruzamento (p_{cross}), a qual deve ser alta, pois isto **garante a diversidade genética** dos indivíduos da próxima geração e é similar ao processo que ocorre na natureza, onde a maioria dos casais possui filhos



ALGORITMOS GENÉTICOS

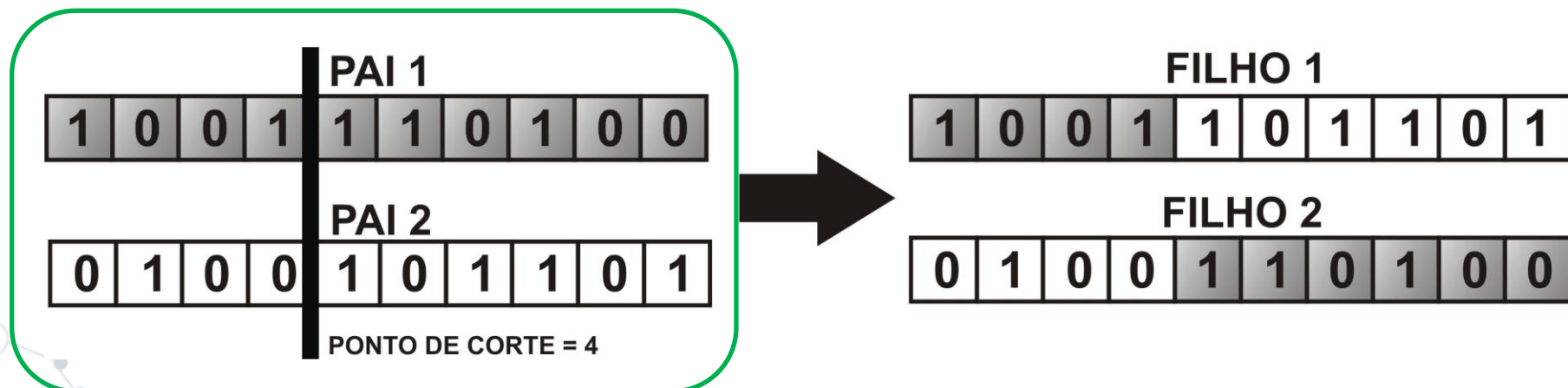
⊙ Operadores de Cruzamento

Codificação Binária!

○ Cruzamento de Ponto Único:

- Define-se um ponto de corte aleatoriamente;
- Através do ponto de corte definido é possível dividir os cromossomos dos pais em duas partes e através da permutação das partes geradas formar seus filhos.
- O primeiro filho é formado pela união da parte esquerda do primeiro pai com a parte direita do segundo pai e o segundo filho é formado pela união das partes restantes.

Indivíduos
Selecionados pelo
Método de Seleção



ALGORITMOS GENÉTICOS

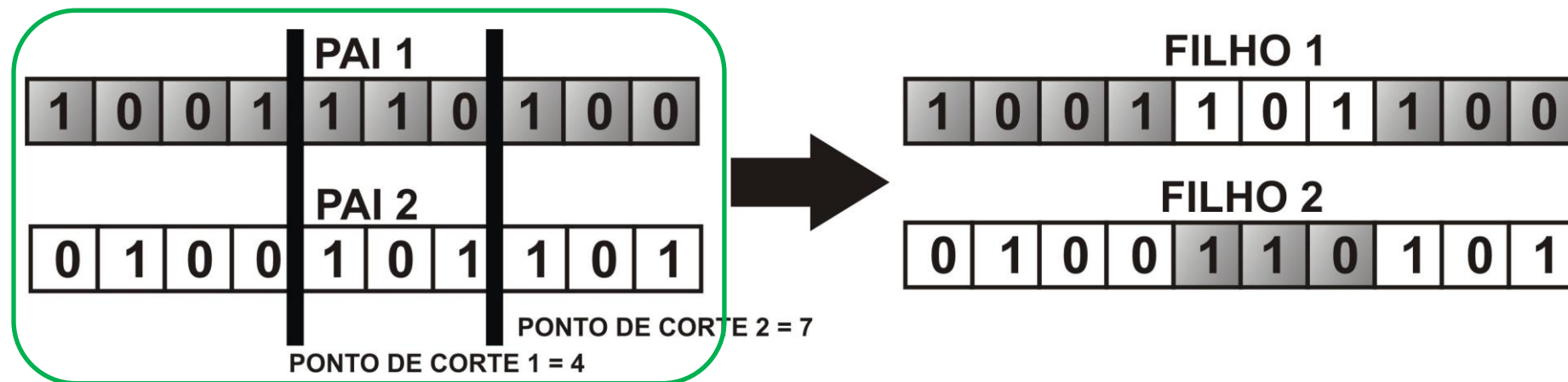
Operadores de Cruzamento

Codificação Binária!

Cruzamento de Ponto Duplo ou Multiponto:

- Define-se dois ou mais pontos de corte aleatoriamente;
- Através dos pontos de corte definidos é possível dividir os cromossomos dos pais em várias partes e através da permutação das partes geradas formar seus filhos.

Indivíduos
Selecionados pelo
Método de Seleção



Exemplo do operador de cruzamento de ponto duplo.

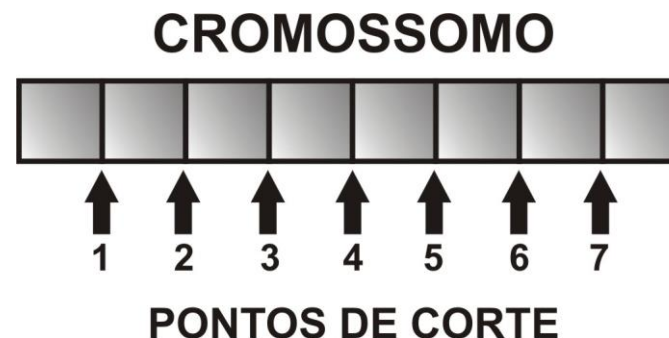
ALGORITMOS GENÉTICOS

⊙ Operadores de Cruzamento

Codificação Binária!

○ Cruzamento Segmentado:

- Define-se aleatoriamente o número de pontos de corte (1 ou múltiplos);
- Define-se a posição dos pontos de corte aleatoriamente;
- Através dos pontos de corte definidos é possível dividir os cromossomos dos pais em várias partes e através da permutação das partes geradas formar seus filhos.



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Operadores de Cruzamento

Codificação Binária!

○ Cruzamento Uniforme:

- Operador de cruzamento de ponto duplo ou múltiplo possui **maior probabilidade de destruir esquemas com grande comprimento**, o que poderia fazer com que indivíduos da próxima geração tivessem valores de **aptidão menores**.
- O operador de cruzamento uniforme tem a **capacidade de conservar esquemas grandes e pequenos com a mesma probabilidade presente nos indivíduos selecionados**.
- **Funcionamento:** Após selecionados os indivíduos que participarão do processo de cruzamento, sorteia-se um valor binário (0 ou 1) para cada gene, caso o valor sorteado seja "1" o primeiro filho recebe o gene da posição corrente do primeiro pai e o segundo filho recebe o gene da posição corrente do segundo pai, caso o valor sorteado seja "0", o primeiro filho recebe o gene da posição corrente do segundo pai e o segundo filho o gene da posição corrente do primeiro pai.

ALGORITMOS GENÉTICOS

Operadores de Cruzamento

Codificação Binária!

Cruzamento Uniforme:

- Funcionamento:** Após selecionados os indivíduos que participarão do processo de cruzamento, sorteia-se um valor binário (0 ou 1) para cada gene, caso o valor sorteado seja "1" o primeiro filho recebe o gene da posição corrente do primeiro pai e o segundo filho recebe o gene da posição corrente do segundo pai, caso o valor sorteado seja "0", o primeiro filho recebe o gene da posição corrente do segundo pai e o segundo filho o gene da posição corrente do primeiro pai.

Indivíduos
Selecionados pelo
Método de Seleção



ALGORITMOS GENÉTICOS

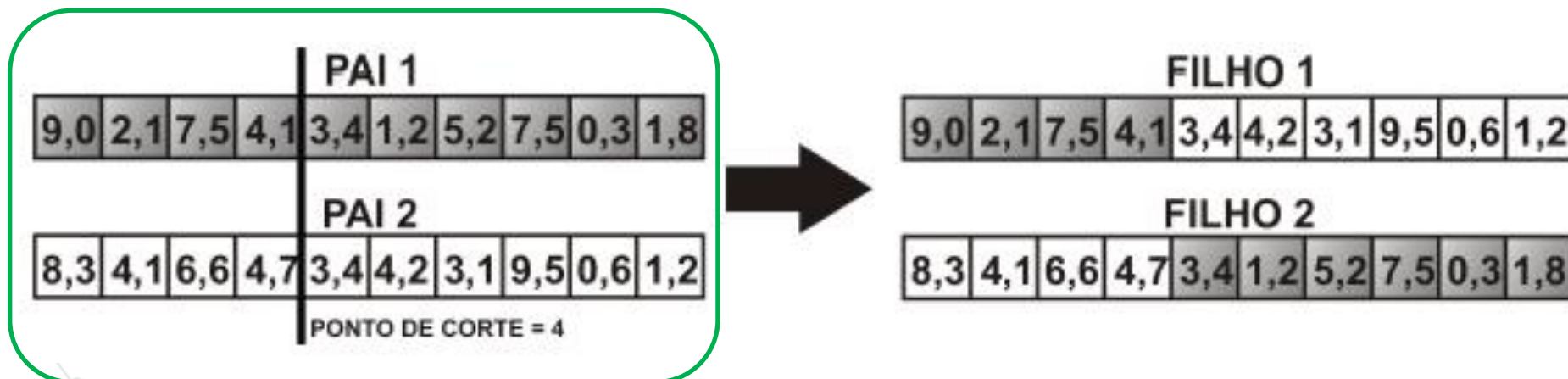
⊙ Operadores de Cruzamento

Codificação Numérica!

○ Cruzamento Simples:

- Funcionamento similar ao operador de cruzamento de ponto único;
- Seleciona-se um ponto de corte e através do ponto de corte definido é possível dividir os cromossomos dos pais em duas partes e através da permutação das partes geradas formar seus filhos.
- O primeiro filho é formado pela união da parte esquerda do primeiro pai com a parte direita do segundo pai e o segundo filho é formado pela união das partes restantes.

Indivíduos
Selecionados pelo
Método de Seleção



ALGORITMOS GENÉTICOS

Operadores de Cruzamento

Codificação Numérica!

Cruzamento Flat:

- Consiste em estabelecer um intervalo fechado para cada par de genes dos elementos selecionados (pais) pelo método de seleção, por exemplo, o primeiro intervalo fechado é dado pelo primeiro gene de cada elemento, verificando o limite inferior e superior deste intervalo através dos valores selecionados.
- Após definido o intervalo defini-se aleatoriamente dois valores pertencentes a este intervalo para que seja possível determinar o primeiro gene de cada filho.
- Repete-se este processo para todos os genes dos elementos selecionados, para que seja possível formar dois filhos.

Indivíduos
Selecionados pelo
Método de Seleção



ALGORITMOS GENÉTICOS

⊙ Operadores de Cruzamento

Codificação Numérica!

○ Cruzamento Aritmético:

- O operador de cruzamento aritmético gera seus filhos através da seguinte equação

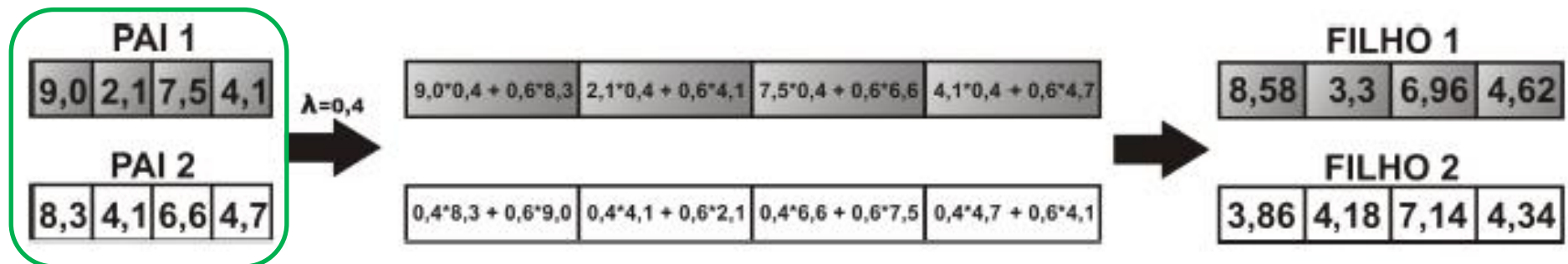
$$C_l^n = \lambda C_l^1 + (1 - \lambda) C_l^2$$

$l \rightarrow$ Índice da posição que varia de 1 a k , sendo k o número total de bits dos indivíduos selecionados.

$\lambda \rightarrow$ Parâmetro pertencente ao intervalo $[0; 1]$.

$n \rightarrow$ Número do filhos que serão gerados.

Indivíduos
Selecionados pelo
Método de Seleção



ALGORITMOS GENÉTICOS

⊙ Operadores de Cruzamento

Codificação Numérica!

○ Cruzamento Discreto:

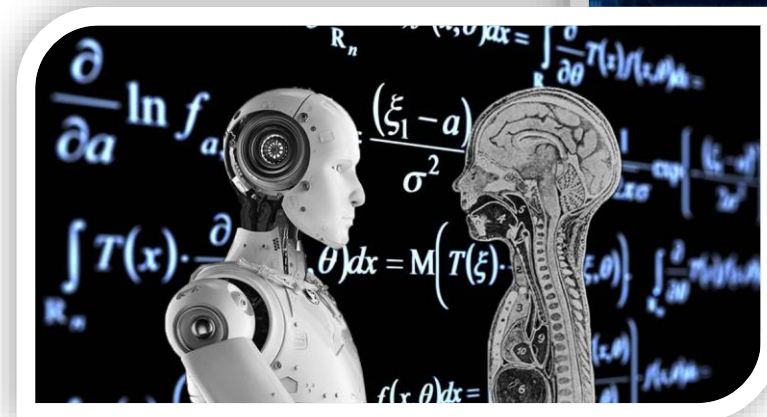
- Similar ao operador de cruzamento uniforme.
- Realiza-se um sorteio para definir uma string de bits.
- Através desta string é possível definir os genes que irão formar os filhos gerados pelo operador de cruzamento, caso seja selecionado o bit "1" o primeiro filho recebe o gene corrente do primeiro pai e o segundo filho recebe o gene corrente do segundo pai e caso o bit selecionado seja "0" o primeiro filho recebe o gene corrente do segundo pai e o segundo filho recebe o gene corrente do primeiro pai.

Indivíduos
Selecionados pelo
Método de Seleção



ALGORITMOS GENÉTICOS

- Codificação das Variáveis (Representação Cromossomial);
- Definição Função Aptidão (Função Objetivo);
- Métodos de Seleção;
- Operadores de Cruzamento (Recombinação);
- Operadores de Mutação;
- Elitismo.



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ Operadores de Mutação

- O operador genético de mutação opera sobre indivíduos resultantes do processo de cruzamento e consiste em **inserir material genético novo na população**.
- O processo de mutação pode ou não ocorrer, de acordo com uma dada **probabilidade de mutação (p_{mut})**, a qual deve ser baixa.
- O propósito do operador de mutação é **aumentar a variabilidade genética** das próximas gerações, aumentando o espaço de busca e impedindo que o GA fique preso em máximos locais, este operador melhora o desempenho e até mesmo a precisão do GA.
- Testa a probabilidade de mutação para todos os genes. Caso o teste seja positivo, o valor do gene é alterado aleatoriamente.

ALGORITMOS GENÉTICOS

⊙ Operadores de Cruzamento

- **Mutação *flip***: cada gene a ser mutado recebe um valor sorteado do alfabeto válido;
- **Mutação por troca (*swap mutation*)**: são sorteados n pares de genes, e os elementos do par trocam de valor entre si;
- **Mutação *creep***: um valor aleatório é somado ou subtraído do valor do gene.
- **Mutação Real**: define-se um intervalo fechado, formado pelo menor valor da coordenada em questão e o maior valor, e seleciona-se aleatoriamente um valor pertencente a este intervalo substituindo o valor atual da coordenada pelo valor selecionado.

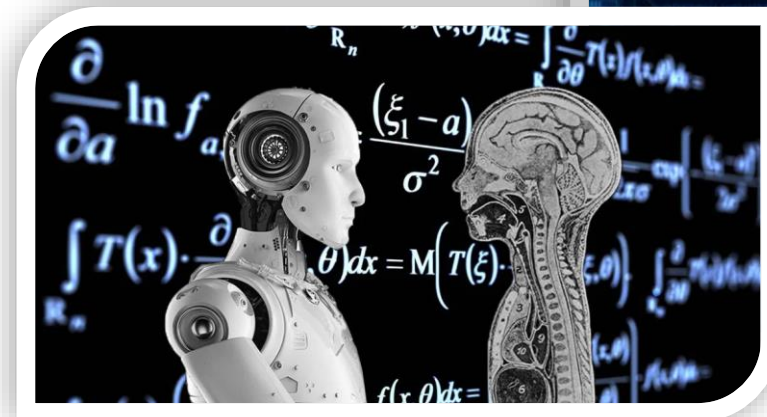


Codificação Binária!

Codificação Numérica!

ALGORITMOS GENÉTICOS

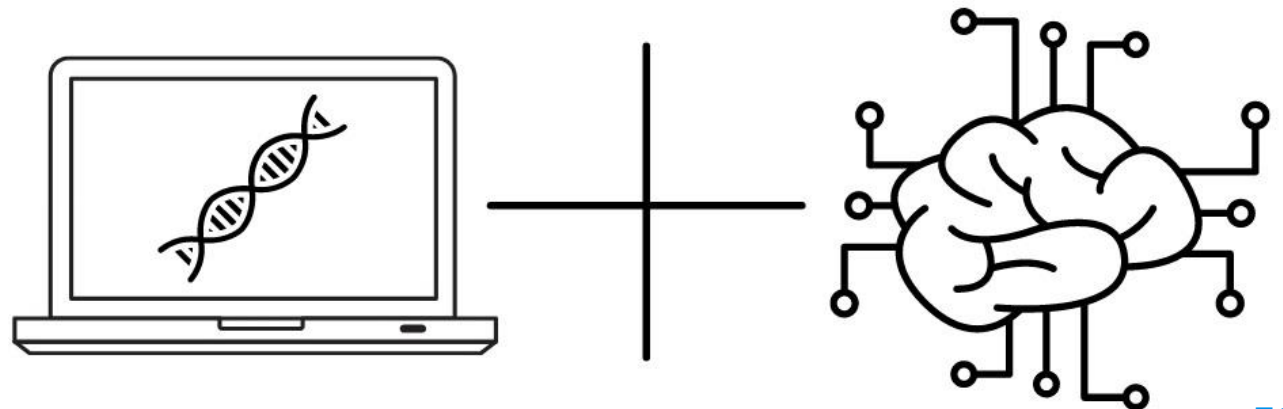
- Codificação das Variáveis (Representação Cromossomial);
- Definição Função Aptidão (Função Objetivo);
- Métodos de Seleção;
- Operadores de Cruzamento (Recombinação);
- Operadores de Mutação;
- **Elitismo.**



ALGORITMOS GENÉTICOS

© Elitismo

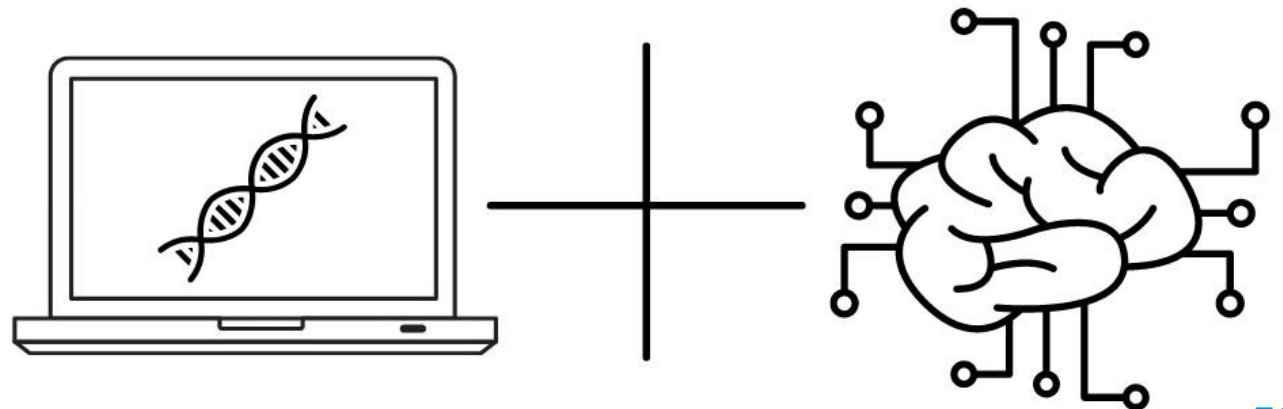
- Composta pelos indivíduos mais adaptados da população.
- Os m melhores indivíduos (normalmente $m = 1$) são mantidos a cada geração



ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ **Diversidade:**

- Mede o grau de variação entre os genótipos presentes na população (fundamental para a amplitude da busca).



ALGORITMOS GENÉTICOS

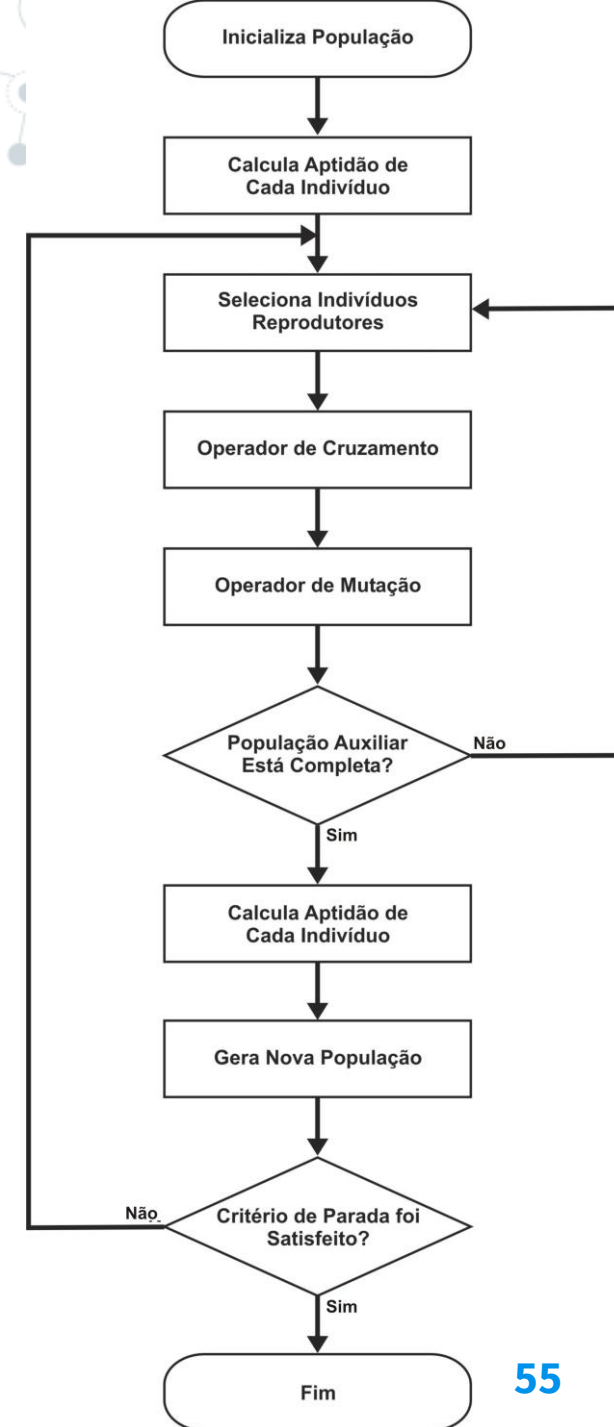
◎ Critérios de Parada:

- Um controle final deve ser realizado obrigatoriamente, pois não se pode simular indefinidamente. Assim, é necessário definir inicialmente condições de término para o GA, observando que estas condições não podem fazer com que o GA não tenha tempo suficiente para convergir para o ponto ótimo do problema a ser otimizado. Algumas técnicas podem ser utilizadas para definir o término da simulação do GA, tais como:
 - Definir um número máximo de gerações como critério de parada;
 - Verificar a diversidade genética da população, caso os indivíduos apresentem aptidões muito parecidas o GA deve encerrar a sua execução, pois pode-se concluir que já foi encontrada a solução, ótima ou não, para o problema proposto inicialmente.

ALGORITMOS GENÉTICOS

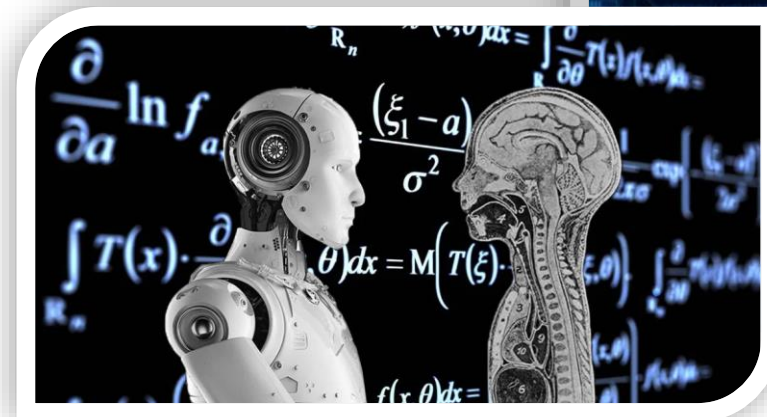
© Funcionamento GA Clássico:

1. **Inicialize** a população de cromossomos;
2. **Avalie** cada cromossomo na população;
3. **Selecione** os pais para gerar novos cromossomos;
4. Aplique os **operadores de recombinação/cruzamento e mutação** a estes pais de forma a gerar os indivíduos da nova geração;
5. **Avalie** todos os novos cromossomos e **insira-os** na população, substituindo os indivíduos da geração atual;
6. Se o critério de parada foi atingido, retorne o indivíduo com maior aptidão e finalize o algoritmo, caso contrário, volte ao passo 3.



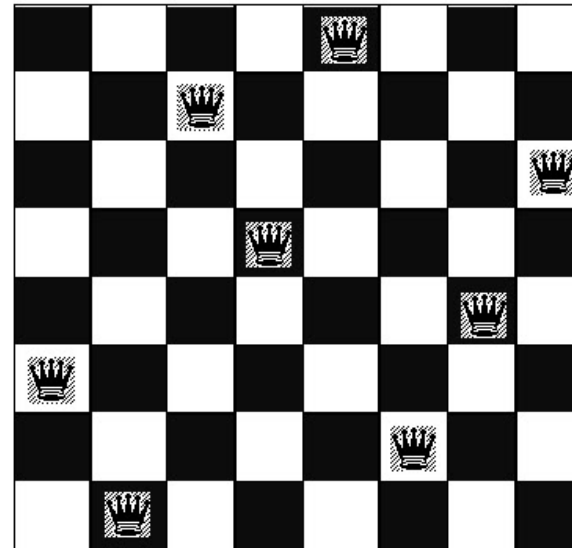
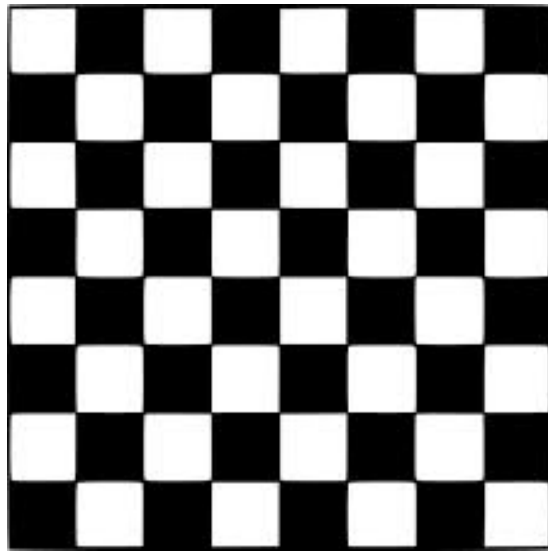
ALGORITMOS GENÉTICOS

- Aplicação de GA.



ALGORITMOS GENÉTICOS

© **Exemplo:** Problema das 8 Rainhas



ALGORITMOS GENÉTICOS

© **Solução:** Problema das 8 Rainhas

2 4 7 4 8 5 5 2
3 2 7 5 2 4 1 1
2 4 4 1 5 1 2 4
3 2 5 4 3 2 1 3

✓ **População inicial:** Neste exemplo foram criados 4 indivíduos onde a posição no vetor corresponde à coluna do tabuleiro e o valor do algoritmo corresponde à linha (posicionamento de cada uma das 8 rainhas).

ALGORITMOS GENÉTICOS

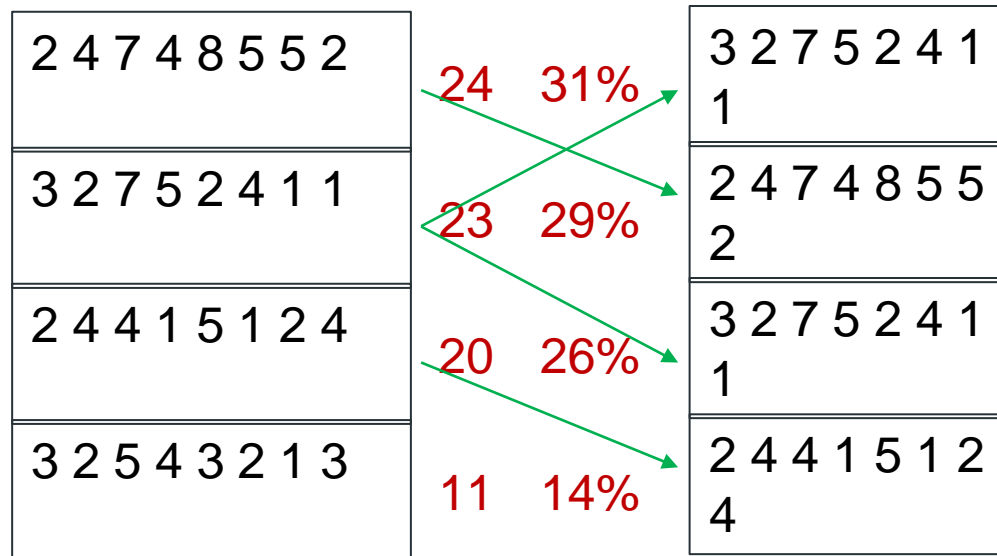
© **Solução:** Problema das 8 Rainhas

2 4 7 4 8 5 5 2	24	31%
3 2 7 5 2 4 1 1	23	29%
2 4 4 1 5 1 2 4	20	26%
3 2 5 4 3 2 1 3	11	14%

✓ **Função de avaliação:** Utiliza-se uma função que avalia quantos pares de rainha *não-atacantes* existem para cada indivíduo. O valor para a solução seria 28.

ALGORITMOS GENÉTICOS

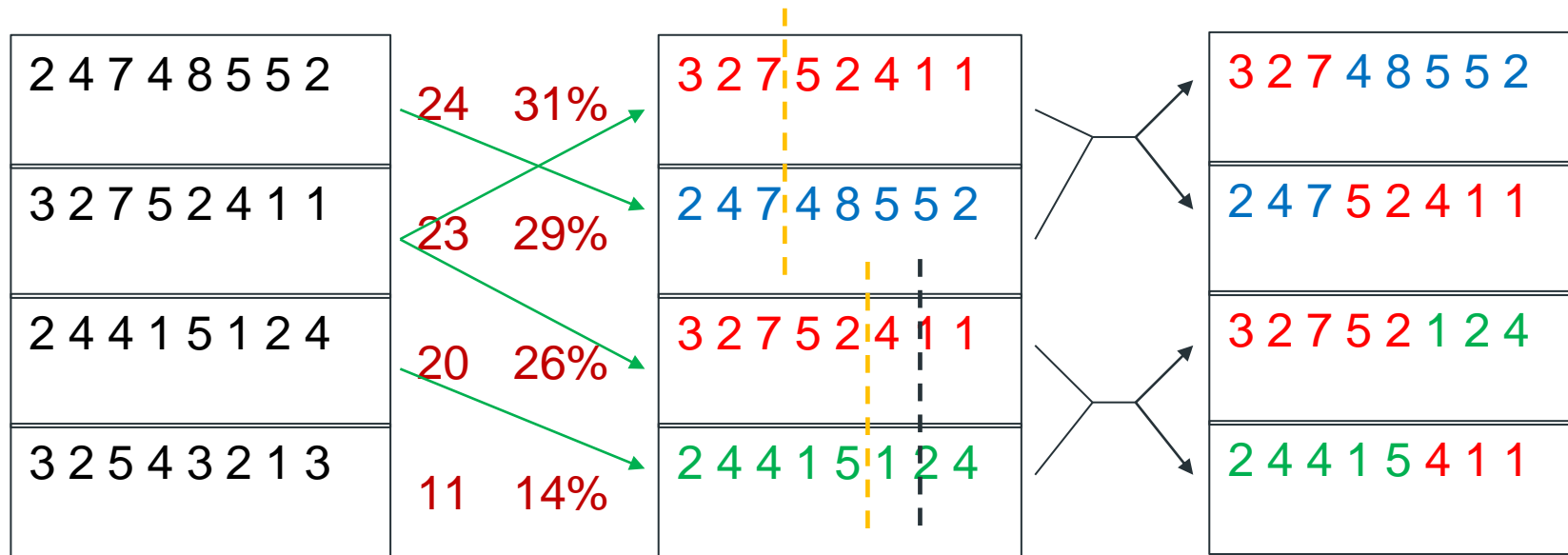
© **Solução:** Problema das 8 Rainhas



✓ **Seleção:** Indivíduos são selecionados para reprodução com base na sua pontuação de fitness. Existem várias variantes para o critério de seleção.

ALGORITMOS GENÉTICOS

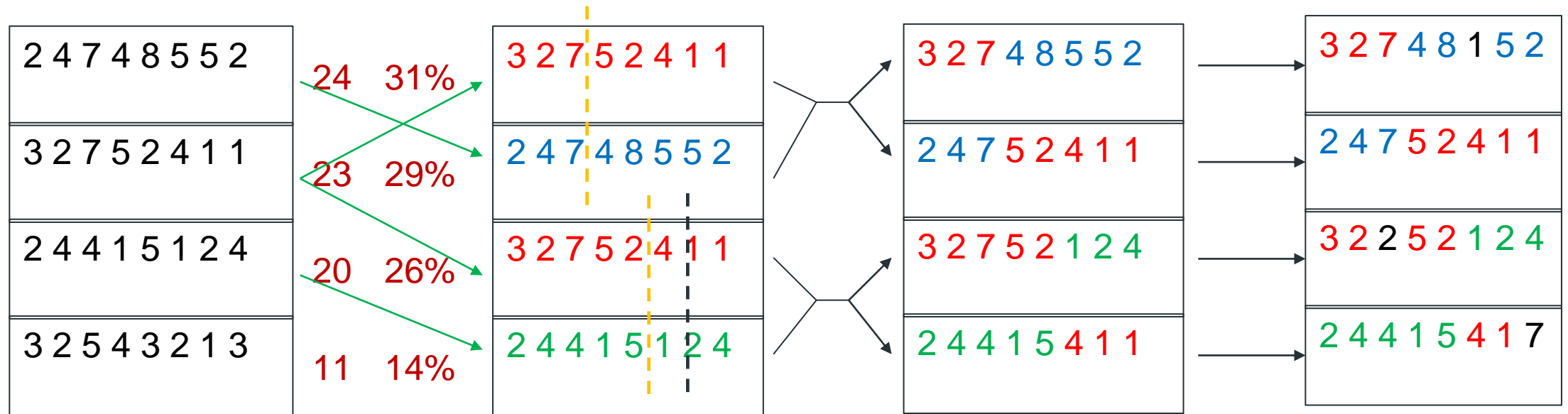
© **Solução:** Problema das 8 Rainhas



✓ **Crossover:** Para cada par a ser cruzado é selecionado aleatoriamente um ponto de crossover dentre as posições na cadeia. Neste exemplo os pontos de crossover estão depois do terceiro dígito no primeiro par e depois do quinto dígito no segundo par.

ALGORITMOS GENÉTICOS

© **Solução:** Problema das 8 Rainhas



✓ **Mutação:** Cada posição está sujeita à mutação aleatória com uma pequena probabilidade independente.

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ **Exemplo:** Problema de Otimização

- **Maximizar a função:**

$$f(x, y) = |x * y * \text{sen}(y\pi/4)|$$

→ x e y pertencentes ao intervalo $[0,15]$.

ALGORITMOS GENÉTICOS

◎ **Solução:** Problema de Otimização

- Para evitar o valor de $f(x, y) = 0$, usaremos $g(x, y) = 1 + f(x, y)$ como função de avaliação.
- Para o intervalo definido das variáveis, 4 bits para cada variável é suficiente. Logo, cada cromossomo será formado por 8 bits.
- Vamos utilizar uma taxa de mutação de 1%.
- Para fins explicativos, vamos manter uma população de 6 indivíduos.

ALGORITMOS GENÉTICOS

© **Solução:** Problema de Otimização

Cromossomo	x	y	$g(x, y)$
0100 0011	4	3	9,5
0010 1001	2	9	13,7
1001 1011	9	11	71,0
0000 1111	0	15	1,0
0101 0101	5	5	16,7
1110 0011	14	3	30,7
Somatório das avaliações:			142,6

✓ **População inicial:** Neste exemplo foram criados 6 indivíduos, onde os primeiros 4 bits representam o valor de x e os últimos 4 bits o valor de y .

✓ **Função de avaliação:** Retorno da função $g(x, y) = 1 + f(x, y)$

$$M_A = \frac{\sum_{i=1}^n f_o(i)}{n} = \frac{142,6}{6} = 23,76$$

Média de Adaptação

ALGORITMOS GENÉTICOS

© **Solução:** Problema de Otimização

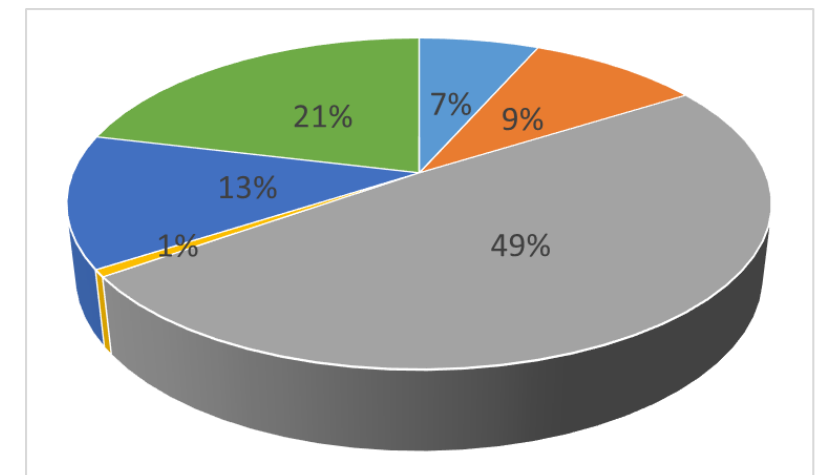
Cromossomo	x	y	$g(x, y)$
0100 0011	4	3	9,5
0010 1001	2	9	13,7
1001 1011	9	11	71,0
0000 1111	0	15	1,0
0101 0101	5	5	16,7
1110 0011	14	3	30,7
Somatório das avaliações:			142,6

$$M_A = \frac{\sum_{i=1}^n f_o(i)}{n} = \frac{142,6}{6} = 23,76$$

Média de Adaptação

✓ **População inicial:** Neste exemplo foram criados 6 indivíduos, onde os primeiros 4 bits representam o valor de x e os últimos 4 bits o valor de y .

✓ **Função de avaliação:** Retorno da função $g(x, y) = 1 + f(x, y)$



ALGORITMOS GENÉTICOS

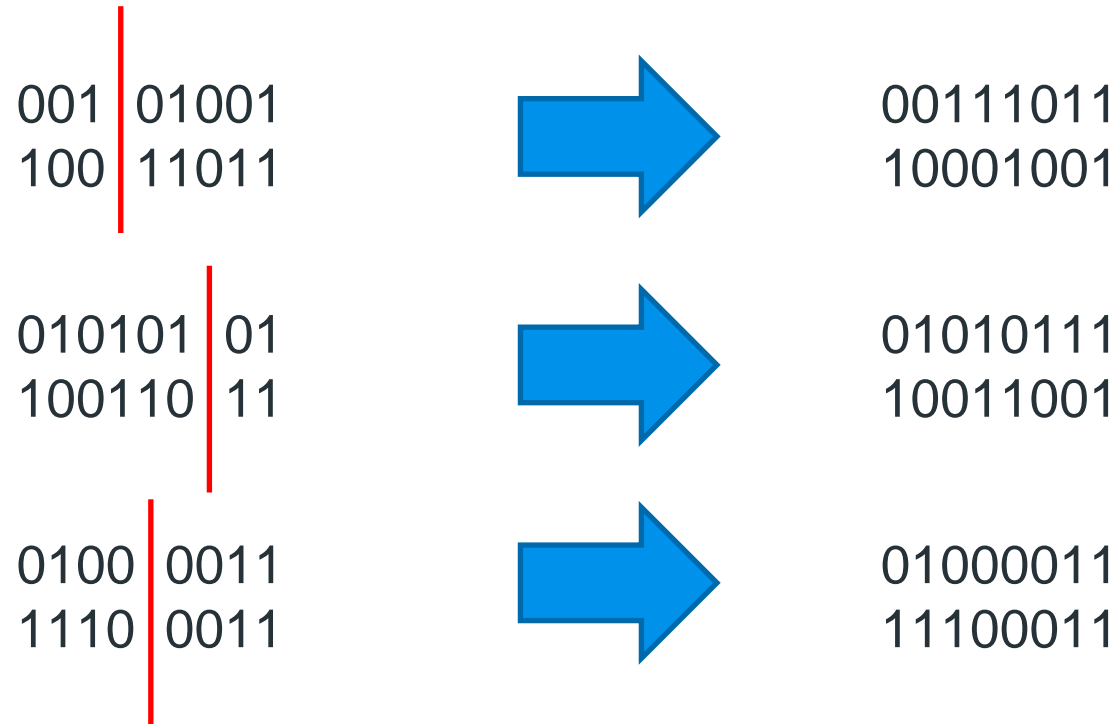
© **Solução:** Problema de Otimização

Números sorteados	Cromossomos escolhidos
12,8	0010 1001
65,3	1001 1011
108,3	0101 0101
85,3	1001 1011
1,8	0100 0011
119,5	1110 0011

✓ **Seleção:** Indivíduos são selecionados para reprodução com base na sua pontuação, de acordo com os intervalos definidos.

ALGORITMOS GENÉTICOS

© **Solução:** Problema de Otimização

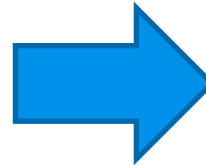


✓ **Crossover:** Para cada par a ser cruzado é selecionado aleatoriamente um ponto de crossover dentre as posições na cadeia.

ALGORITMOS GENÉTICOS

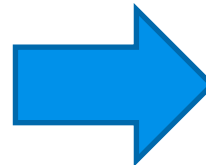
© **Solução:** Problema de Otimização

001 | 01001
100 | 11011



00111011
10001001

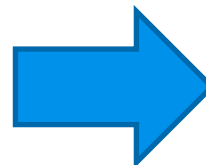
010101 | 01
100110 | 11



01010111
10011000

← Efeito da
mutação

0100 | 0011
1110 | 0011



01000011
11101011

← Efeito da
mutação

✓ **Mutação:** Para cada gene, dada uma probabilidade de mutação, verifica-se se o gene sofre mutação ou não.

ALGORITMOS GENÉTICOS

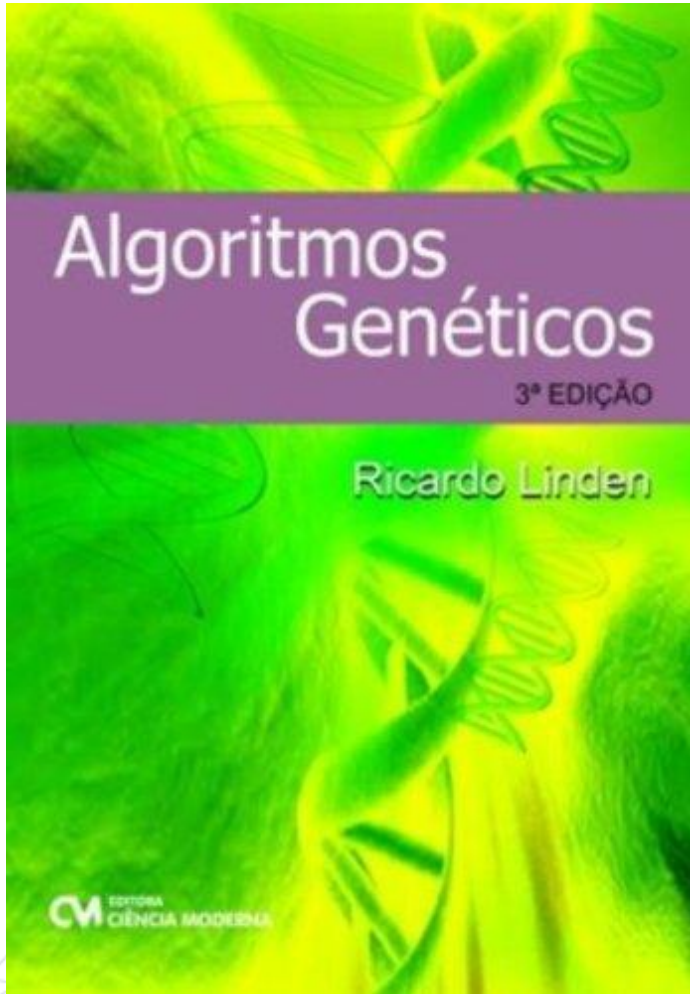
© **Solução:** Problema de Otimização

Cromossomo	x	y	$g(x, y)$
0011 1011	3	11	24,3
1000 1001	8	9	51,9
0101 0111	5	7	23,8
1001 1000	9	8	1
0100 0011	4	3	9,5
1110 1011	14	11	109,9
Somatório das avaliações:			220,4

$$M_A = \frac{\sum_{i=1}^n f_o(i)}{n} = \frac{220,4}{6} = 36,7 > 23,76$$

✓ **Função de avaliação:** Avaliação da nova população utilizando a função $g(x, y) = 1 + f(x, y)$

REFERÊNCIAS



- LINDEN, Ricardo, Algoritmos Genéticos. 3 ed. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna, 2012, 496 p. ISBN 978-8539901951.

→ **Ler:** Capítulo 1 até Capítulo 10

The left side of the slide is a large image of the Inatel building at night. The building has a curved facade with a large glass grid that is illuminated from within, showing a warm orange glow. The Inatel logo is visible on the upper part of the building. The image is framed by dark blue and black geometric shapes.

Obrigada pela Atenção!

Dúvidas?

victoria.souto@Inatel.br