



# Sistemas Inteligentes

## UNIDADE 10 – Algoritmos Genéticos (Processos de Otimização de Sistemas)

Prof. Ivan Nunes da Silva



### *Aspectos de Algoritmos Genéticos*

- **Os Algoritmos Genéticos (AG) são uma classe de procedimentos, com passos distintos bem definidos, utilizados principalmente em problemas de otimização.**
  - Sistemas não lineares, otimização restrita, otimização combinatorial, programação dinâmica, problemas de alocação de tarefas, seleção de rotas, aprendizagem de máquinas, etc.
- **Essa classe se fundamenta em analogias a conceitos biológicos já testadas à exaustão.**
- **Cada passo distinto pode ter diversas versões diferentes.**
- **Amplamente utilizados, com sucesso, em problemas de difícil manipulação pelas técnicas tradicionais.**
- **Eficiência X Flexibilidade.**



## *Características Gerais*

- Utilizam uma codificação do conjunto de parâmetros (*indivíduos*) e não com os próprios parâmetros (*estados*).
- Vasculham várias regiões do espaço de busca de cada vez.
- Utilizam informações diretas de qualidade, em contraste com as derivadas utilizadas nos métodos tradicionais de otimização.
- Utilizam regras de transição probabilísticas e não regras determinísticas.
- Eles exploram informação histórica para experimentar novos pontos de busca.



3

## *Link Entre Otimização e Evolução*

- **Problemas de otimização envolvem:**
  - Busca através de um grande número de possíveis soluções.
  - Requerem que o programa seja adaptativo, apto a agir em um ambiente dinâmico.
- **Problemas de evolução biológica envolvem:**
  - Busca massivamente paralela em um enorme espaço de domínio.
  - Soluções desejadas = organismos mais adaptados.



4

## *Terminologia Fundamental (I)*

### ● Genes

- Codifica uma característica particular.

### ● Cromossomo

- Codificação de uma possível solução.
- A solução seria um “Indivíduo”.

### ● Indivíduos

- Conjunto de atributos da solução.
- Concatenação das sequências de bits.

### ● População

- Conjunto de indivíduos sendo cogitados como solução.
- Populações pequenas têm grandes chances de perder a diversidade necessária (exploração de todo o espaço de soluções).
- Populações grandes perderá grande parte de sua eficiência pela demora em avaliar a função de fitness.

5

## *Terminologia Fundamental (II)*

### ● Reprodução

#### – Reprodução Sexuada

- Genes são intercambiados entre dois pais (crossover).
- Os filhos estão sujeitos a modificações, na qual bits elementares são mudados (mutação).

#### – Reprodução Assexuada

- O filhos são duplicações dos genes dos pais.

### ● Função de Fitness

- Mede a adaptação do indivíduo ou quão boa é a solução dada por este indivíduo.
- Deve ser representativa do problema, diferenciando uma solução boa daquela má.
- Heurística de busca no espaço de estado.

6

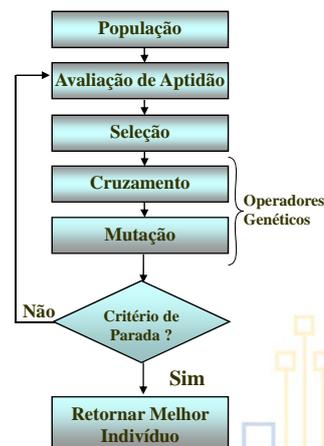
## Requisitos Básicos Exigidos

- Representações das possíveis soluções do problema no formato de um código genético.
- População inicial (aleatória) que contenha diversidade suficiente para permitir ao algoritmo combinar características e produzir novas soluções (Ex: n=100).
- Existência de um método para medir a qualidade (Função Fitness) de uma solução potencial.
- Especificação de um procedimento de combinação de soluções para gerar novos indivíduos na população.
- Especificação de um critério de escolha das soluções que permanecerão na população ou que serão retirados desta.
- Um procedimento para introduzir periodicamente alterações em algumas soluções da população, visando sobretudo:
  - Manter a diversidade da população.
  - Possibilitar a produção de soluções inovadoras para serem avaliadas pelo critério de seleção dos mais aptos.

7

## Funcionamento Fundamental

1. Gerar **População Inicial**;
2. **Descartar** uma parte dos Indivíduos menos aptos;
3. Aplicar operadores de **Reprodução**;
4. Aplicar operadores de **Mutação**;
5. Se o critério de parada foi **Satisfeito**  
Então → encerrar processo.  
Senão → voltar ao passo 2.



8

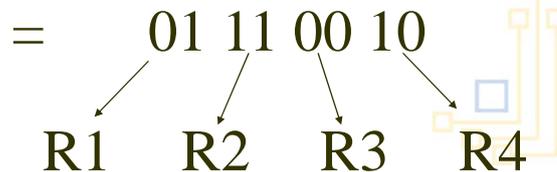
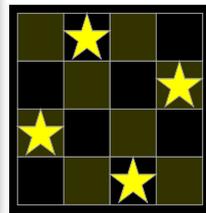
## Representação de Soluções (I)

- **Variáveis Discretas (Enumeradas):**

- Problemas de otimização combinatorial, programação dinâmica, etc.

- **Exemplo: Problema das N-Rainhas**

- A posição de cada rainha é dada por uma subcadeia do cromossomo
- Exemplo para N = 4:



9

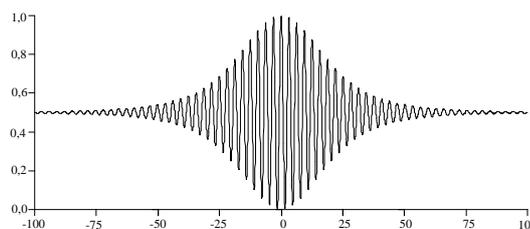
## Representação de Soluções (II)

- **Variáveis Contínuas (Reais):**

- Problemas de otimização não linear.

- **Exemplo: Minimizar a seguinte função:**

$$f(x, y) = 0,5 - \frac{(\sin \sqrt{x^2 + y^2})^2 - 0,5}{(1,0 + 0,001(x^2 + y^2))^2}$$



10

## Transformação de Domínios

- Para o exercício anterior, decodificar a cadeia de bits abaixo (22 bits) para o intervalo [-100,100]:
  - 00000...00<sub>b</sub> (0000000<sub>d</sub>) → -100
  - 11111...11<sub>b</sub> (4194303<sub>d</sub>) → 100

01101001001001101000001000111000100001110010

0110100100100110100000 1000111000100001110010

$x$

1722784

-17,851257

2328690

11,040592



11

## Operadores Fundamentais

- **Seleção Natural.**
- **Manipulação Genética por Mutação.**
- **Manipulação Genética por Reprodução.**



12

## *Seleção Natural*

- Princípio básico para o direcionamento da evolução de uma dada população.
- Utiliza uma função de avaliação (função de fitness) para medir a *aptidão* de cada indivíduo.
- Essa aptidão pode ser *absoluta* ou *relativa*.
- Existem vários métodos de seleção:
  - Roleta.
  - Torneio.
  - Amostragem Universal Estocástica.

13

## *Seleção Natural (População Exemplo)*

<i>Indivíduo</i>	<i>Aptidão Absoluta</i>	<i>Aptidão Relativa</i>
1	2	0,052631579 (5%)
2	4	0,105263158 (11%)
3	5	0,131578947 (13%)
4	9	0,236842105 (24%)
5	18	0,473684211 (47%)
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>1 (100%)</b>

14

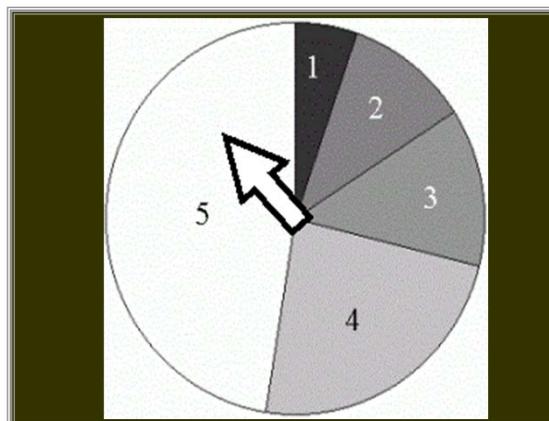
## *Seleção Natural (Método Roleta - I)*

- Coloca-se os indivíduos em uma roleta, dando a cada uma “fatia” proporcional à sua aptidão relativa.
- Depois roda-se a agulha da roleta. O indivíduo em cuja fatia a agulha parar permanece para a próxima geração.
- Repete-se o sorteio quantas vezes forem necessárias para selecionar a quantidade desejada de indivíduos.



15

## *Seleção Natural (Método Roleta - II)*



- (1) → 5%
- (2) → 11%
- (3) → 13%
- (4) → 24%
- (5) → 47%



16

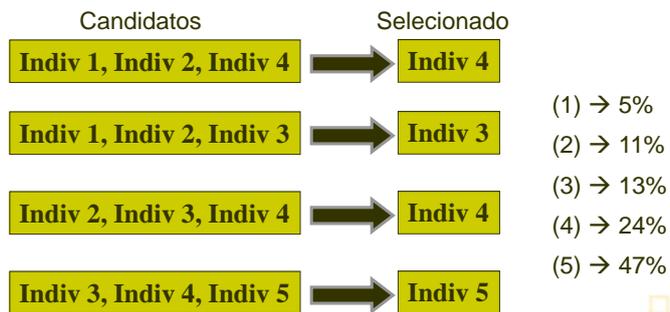
## Seleção Natural (Método Torneio - I)

- Utiliza sucessivas *disputas* para realizar a seleção.
- Para selecionar  $k$  indivíduos, realiza  $k$  disputas; cada disputa envolvendo  $n$  indivíduos escolhidos ao acaso.
- O indivíduo de maior aptidão na disputa é selecionado.
- É muito comum utilizar  $n = 3$ .



17

## Seleção Natural (Método Torneio - II)



18

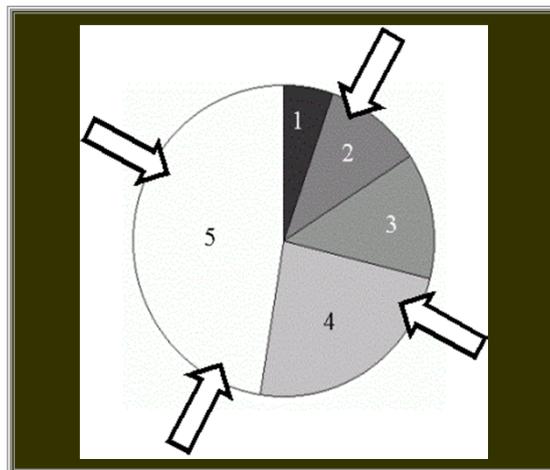
## *Seleção Natural (Am. Univ. Estoc. - I)*

- **SUS – Stochastic Universal Sampling.**
- **Semelhante à Roleta, mas para selecionar  $k$  indivíduos utiliza  $k$  agulhas igualmente espaçadas, girando-as em conjunto uma só vez.**
- **Apresenta resultados menos variantes que a Roleta.**



19

## *Seleção Natural (Am. Univ. Estoc. - II)*



- (1) → 5%
- (2) → 11%
- (3) → 13%
- (4) → 24%
- (5) → 47%



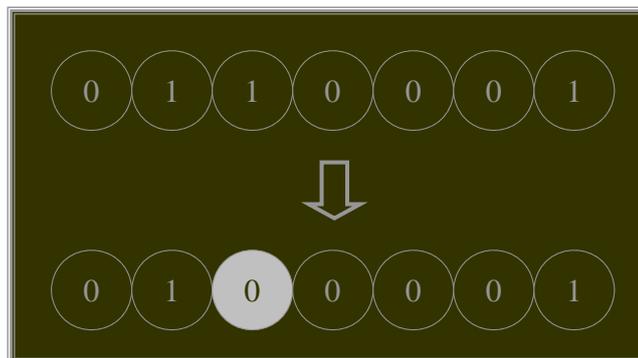
20

## *Operador de Mutação (I)*

- Operador randômico de manipulação.
- Introduz e mantém a variedade genética (diversidade) da população.
- Garante a possibilidade de se alcançar qualquer ponto do espaço de busca.
- Cria novas características que não existiam.
- Escapam e contornam mínimos locais.
- É um operador genético secundário.
- Se seu uso for exagerado, reduz a evolução à uma busca totalmente aleatória.
- Assim, indivíduos sofrem mutações com probabilidade baixa:
  - Taxa de mutação → entre 0,1% e 1% dos indivíduos da população selecionada.
  - A taxa pode ir diminuindo para garantir convergência da solução.

21

## *Operador de Mutação (II)*



22

## *Operador de Cruzamento (I)*

---

- Também chamado de *reprodução* ou *crossover*.
- Combina as informações genéticas de dois indivíduos (*pais*) para gerar novos indivíduos (*filhos*).
- Versões mais comuns criam sempre dois filhos para cada operação.
- Operador genético principal.
- Responsável por gerar novos indivíduos *diferentes* (sejam melhores ou piores) a partir de indivíduos já promissores.
- Aplicado a cada par de indivíduos com alta fração de probabilidade (normalmente entre 0,6 e 0,99).

23

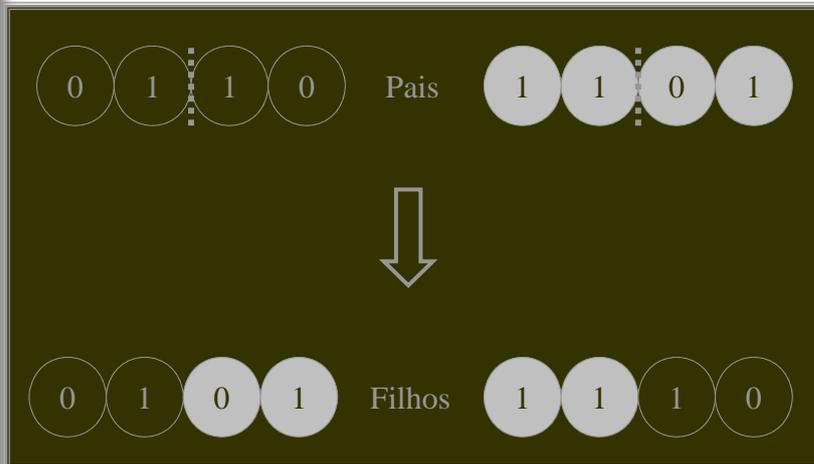
## *Operador de Cruzamento (II)*

---

- Cruzamento Um-Ponto
- Cruzamento Multi-Pontos
- Cruzamento Uniforme

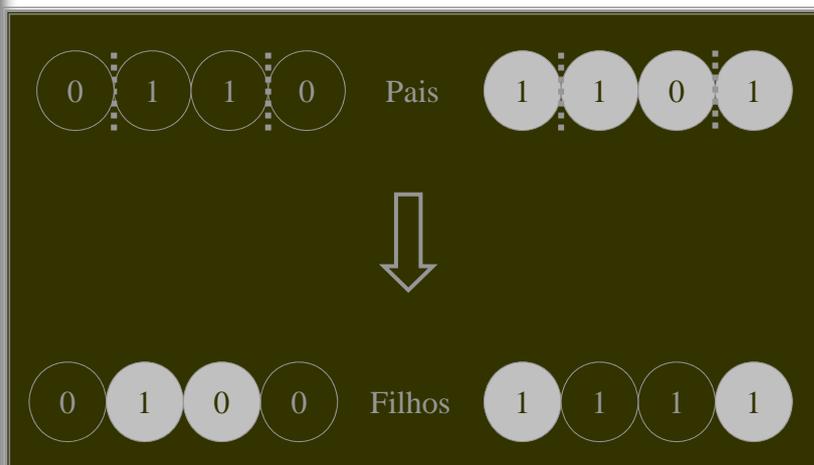
24

## *Operador de Cruzamento (Um Ponto)*



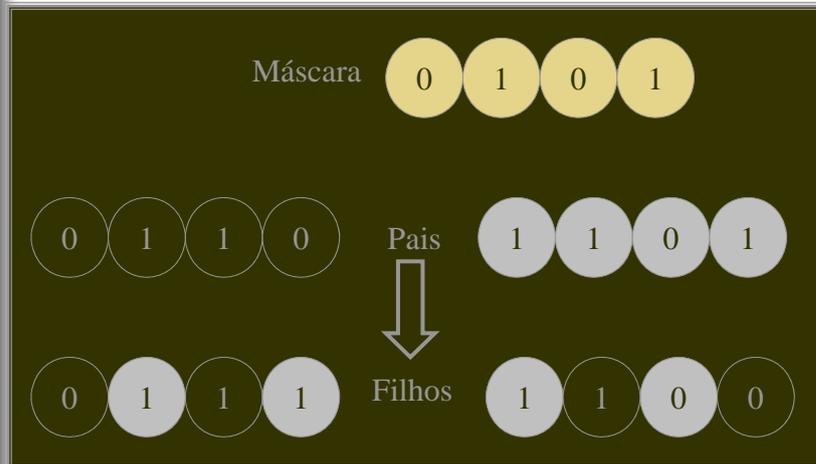
25

## *Operador de Cruzamento (Multi-Ponto)*



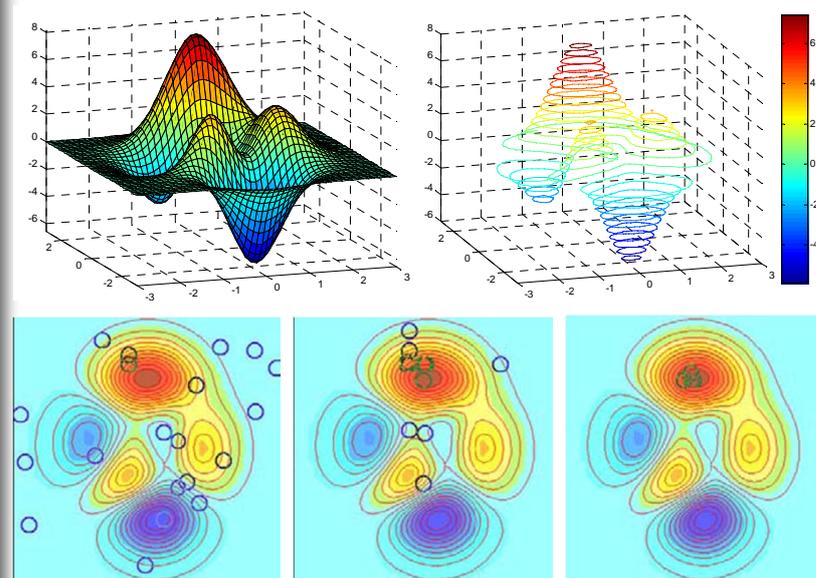
26

## Operador de Cruzamento (Uniforme)



27

## Síntese de Busca da Melhor Solução



28

## *Considerações de Aplicação*

- São especialmente interessantes em problemas difíceis de se otimizar, onde técnicas determinísticas tradicionais são também quase impossíveis de se empregar.
- Se uma técnica tradicional puder ser empregada, normalmente encontra a melhor solução de forma mais rápida.
- Existem muitos problemas práticos aos quais técnicas determinísticas tradicionais não podem ser aplicadas.
- Técnicas tradicionais têm natureza serial.
- Algoritmos Genéticos têm natureza paralela.



29

## *Fim da Apresentação*



30