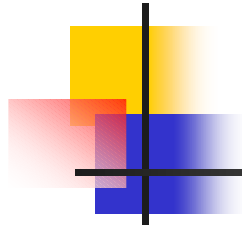




# Algoritmos Genéticos

---

Prof. Dr. Ádamo Santana  
adamo@ufpa.br



# Principais Tópicos

---

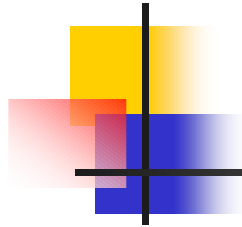
- Computação Evolutiva
- Algoritmos Genéticos
  - Codificação
  - Função de aptidão
  - Operadores Genéticos
  - Reprodução
  - Aplicações



# Algoritmos Genéticos (AGs)

---

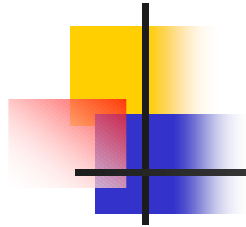
- Algoritmos Genéticos empregam um processo **adaptativo** e **paralelo** de busca de soluções em **problemas complexos**.
- Baseados na genética e teoria da seleção natural
  - Depois de várias gerações populações naturais evoluem de acordo com os princípios de seleção natural e sobrevivência dos mais aptos (*Charles Darwin, A Origem das Espécies*)



# Algoritmos Genéticos

---

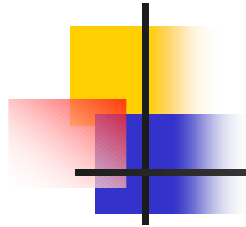
- Desenvolvido por John Holland e sua equipe (popularizado por David Goldberg)
- Objetivos:
  - Abstrair e explicar rigorosamente os processos adaptativos dos sistemas naturais
  - Desenvolver sistemas artificiais que conservam mecanismos importantes dos sistemas naturais



# Algoritmos Genéticos

---

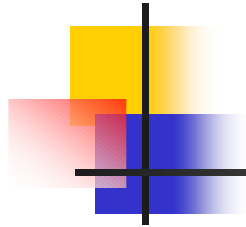
- Utilizam uma população de soluções candidatas (indivíduos)
- Otimização ocorre em várias gerações
  - A cada geração
    - Mecanismos de seleção selecionam os indivíduos mais aptos
    - Operadores de reprodução geram novos indivíduos



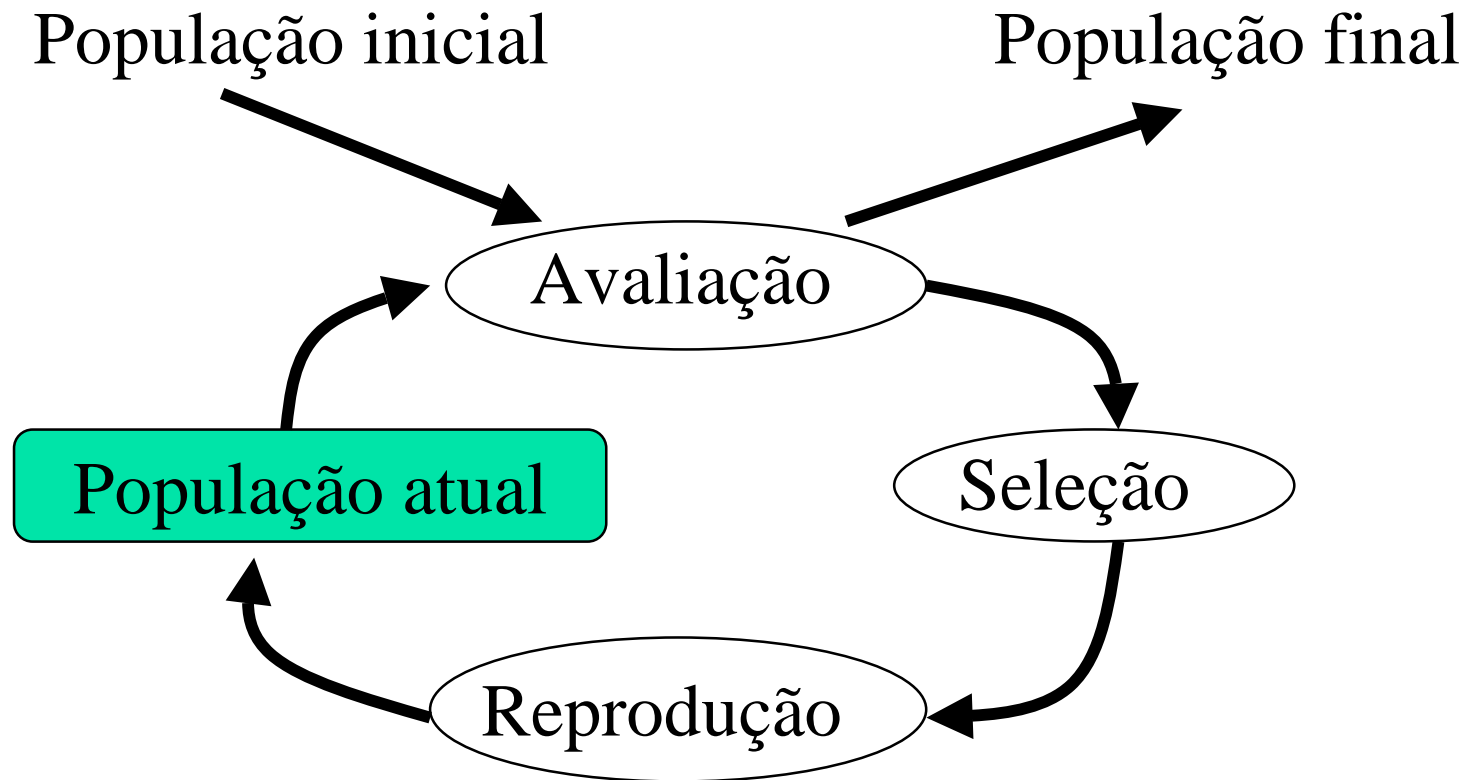
# Algoritmos Genéticos

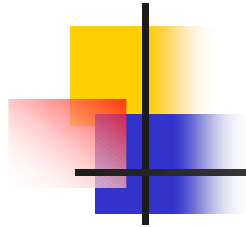
---

- Cada indivíduo representa uma possível solução para um dado problema
- A cada indivíduo é associado um escore de aptidão, que mede o quão boa é a solução que ele representa
- Indivíduos mais aptos têm mais oportunidades de serem reproduzidos
  - Produzindo descendentes cada vez mais aptos



# Algoritmos Genéticos



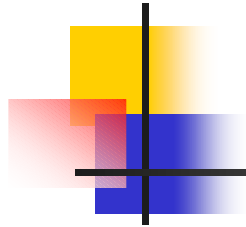


# Algoritmos Genéticos

---

- Podem “evoluir” soluções para problemas do mundo real
  - Problemas devem ser adequadamente codificados
  - Deve haver uma forma de avaliar as soluções apresentadas

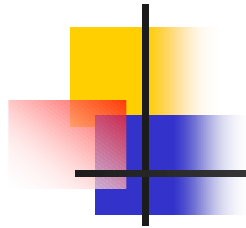




# Princípios básicos

---

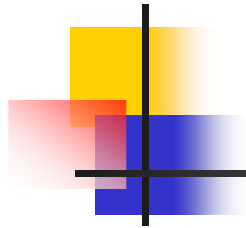
- Indivíduo
- Codificação
- Função de aptidão
- Reprodução
- Convergência



# Indivíduo

---

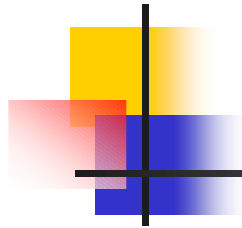
- Possível solução para um dado problema
  - Também chamado de cromossomo ou string
- Codificado como vetor de características
- A cada indivíduo é associado um valor de aptidão
  - Mede qualidade da solução que ele representa
- Conjunto de indivíduos forma uma população



# Codificação

---

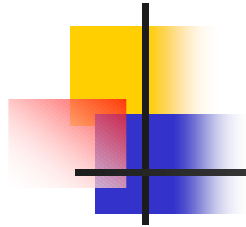
- Cada indivíduo é codificado por um conjunto de parâmetros (genes)
  - Genes podem assumir valores:
    - Binários
    - Inteiros
    - Reais
- Parâmetros são combinados para formar *strings* ou vetores (cromossomos)



# Codificação

---

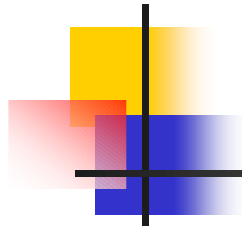
- Tradicionalmente, os indivíduos são representados por vetores binários
  - 1 = presença
  - 0 = ausência
  - Esta representação é independente do problema
  - Permite a utilização dos operadores de reprodução padrão



# Codificação

---

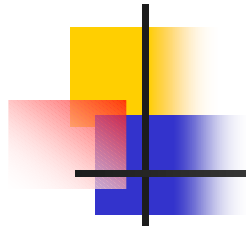
- Genes também podem assumir valores inteiros, reais ou de tipos abstratos
- Representações em níveis abstratos mais altos
  - Facilitam sua utilização em determinados domínios mais complexos
  - Necessitam de operadores específicos



# Função de aptidão

---

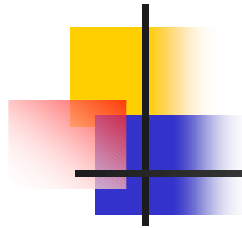
- Mede o grau de aptidão de um indivíduo
  - Retorna um valor (índice) de aptidão numérico
    - Proporcional a utilidade ou habilidade do indivíduo
  - Aptidão = probabilidade do indivíduo sobreviver para a próxima geração
    - Cada aplicação tem sua própria função de aptidão



# Seleção

---

- Escolhe preferencialmente indivíduos com maiores notas de aptidão
  - Embora não exclusivamente
  - Procura de manter a diversidade da população
- Indivíduos mais aptos têm mais oportunidades de gerar descendentes
  - Que serão cada vez mais aptos

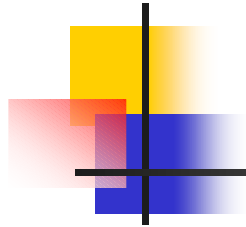


# Seleção

---

- Selecciona uma população intermediária
  - Onde serão aplicados os operadores de reprodução
- Existem vários métodos de seleção
  - Por roleta
  - Por torneio
  - Amostragem Universal Estocástica





# Seleção pela roleta

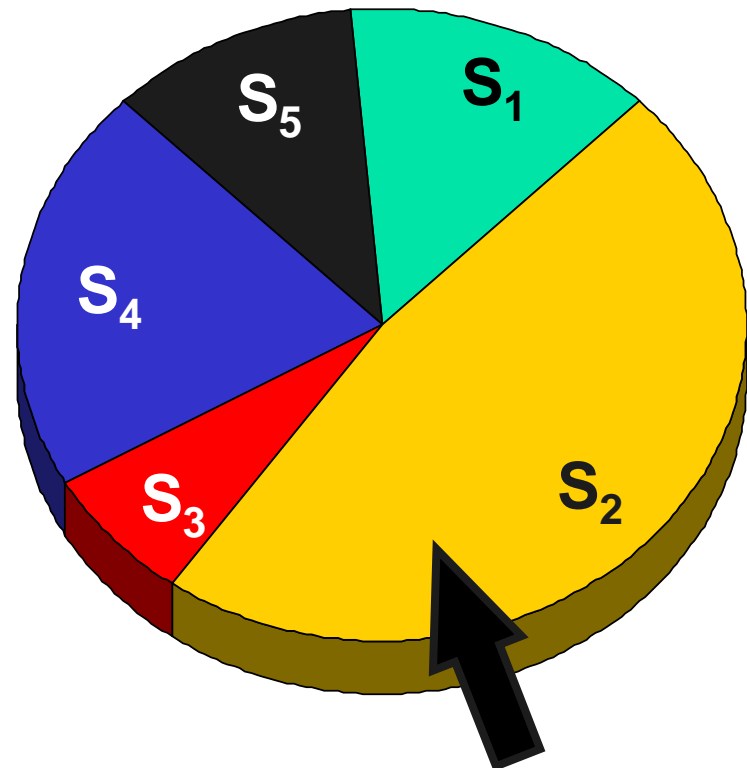
---

- Método mais simples e utilizado
- Escolhe indivíduos para fazer parte da próxima geração por meio de um sorteio
- Cada indivíduo da população é representado na roleta por uma fatia proporcional ao seu índice de aptidão
  - Quanto maior o desempenho, maior é a chance de ser selecionado para a próxima geração

# Seleção pela roleta

Método da Roleta baseado em Aptidão Relativa

Indivíduo ( $S_i$ )	Aptidão $f(S_i)$	Aptidão Relativa
$S_1$ 10110	2.23	0.14
$S_2$ 11000	7.27	0.47
$S_3$ 11110	1.05	0.07
$S_4$ 01001	3.35	0.21
$S_5$ 00110	1.69	0.11





# Seleção por torneio

---

- Escolhe  $n$  indivíduos da população aleatoriamente, com a mesma probabilidade
  - Geralmente  $n = 3$
- Cromossomo com maior aptidão dentre estes  $n$  cromossomos é selecionado para a população intermediária
- Processo se repete até que a população intermediária seja preenchida



# Seleção por torneio

Método da Torneio baseado em Aptidão Relativa

Indivíduo	Aptidão	Aptidão
$S_i$	$f(S_i)$	Relativa
$S_1$ 10110	2.23	0.14
$S_2$ 11000	7.27	0.47
$S_3$ 11110	1.05	0.07
$S_4$ 01001	3.35	0.21
$S_5$ 00110	1.69	0.11

Supondo  $n = 3$

Candidatos  $\Rightarrow$  vencedor

$S_1, S_2, S_5 \Rightarrow S_2$

$S_2, S_4, S_5 \Rightarrow S_2$

$S_5, S_1, S_3 \Rightarrow S_1$

$S_4, S_5, S_3 \Rightarrow S_4$

$S_3, S_1, S_5 \Rightarrow S_1$



# Seleção por torneio

---

- Possui um parâmetro que permite definir explicitamente a pressão seletiva durante a evolução
  - Tamanho do torneio
    - Quanto maior o número de indivíduos que participam do torneio, maior a pressão seletiva
      - Indivíduo tem que ser melhor que uma quantidade maior de competidores



# Pressão Seletiva

---

- Grau com que os melhores indivíduos são favorecidos
  - Influencia taxa de convergência do AG
    - Pressão muito baixa
      - Taxa de convergência lenta
      - Demora para encontrar boa solução
    - Pressão muito elevada
      - Convergência prematura



# Diversidade

---

- Deve haver equilíbrio entre pressão seletiva e diversidade
- Formas de prevenir convergência prematura
  - Controlar número de oportunidades de reprodução de cada indivíduo
- Formas de promover diversidade
  - Aumento do tamanho da população
  - Aumento da taxa de mutação



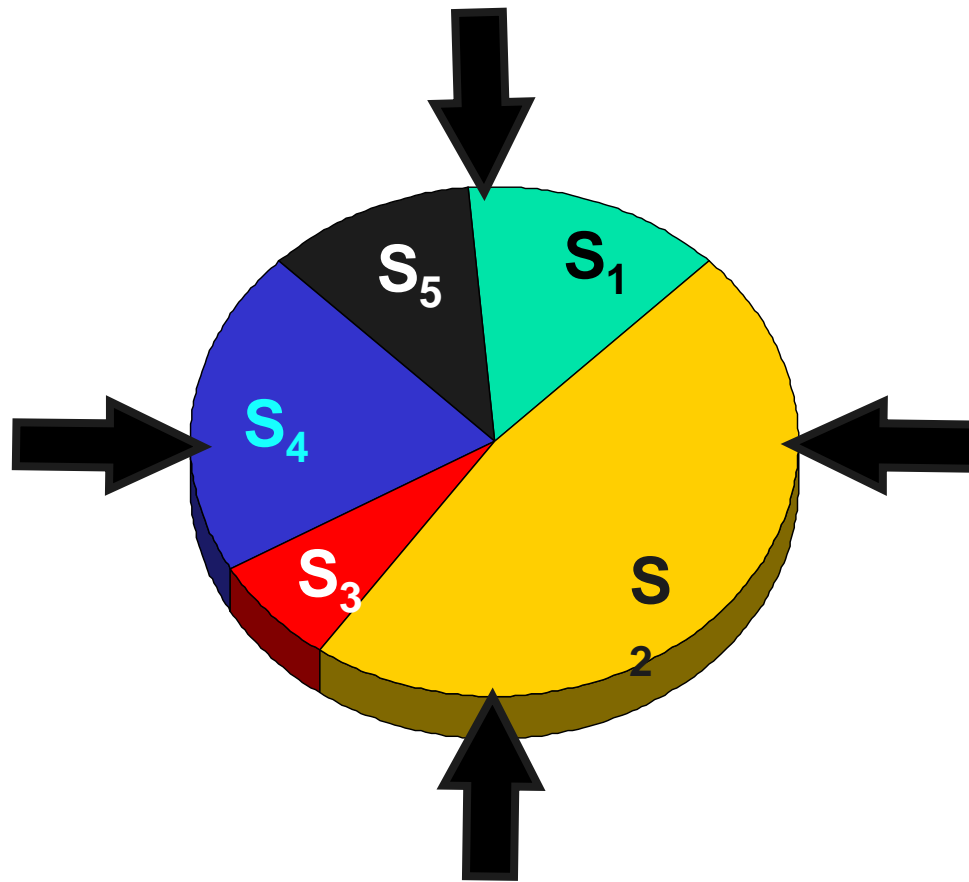
# Seleção por Amostragem Universal Estocástica

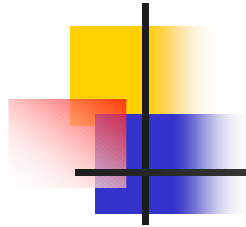
---

- Conhecido como SUS (do inglês, *Stochastic Universal Sampling*)
- Variação do método da roleta
  - Utiliza  $n$  agulhas igualmente espaçadas ao invés de 1
    - Onde  $n$  é o número de indivíduos a serem selecionados para a próxima geração
    - Ao invés de  $n$  vezes, a roleta é girada uma única vez
  - Exibe menos variância que as repetidas chamadas do método da roleta



# Seleção por Amostragem Universal Estocástica

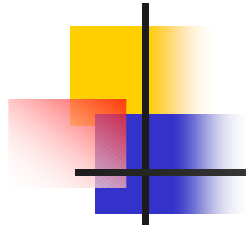




# Operadores Genéticos

---

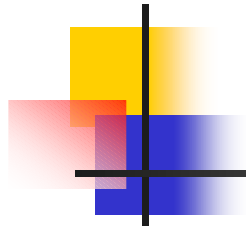
- Permitem obtenção de novos indivíduos
  - Cada geração possui, geralmente, indivíduos mais aptos
  - Principais operadores genéticos
    - *Crossover* (cruzamento ou recombinação)
    - Mutação
    - Elitismo



# Crossover

---

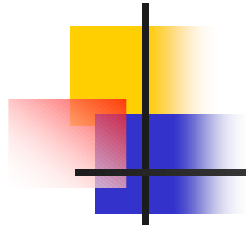
- Filhos herdam partes das características dos pais durante a reprodução
  - Permite que as próximas gerações herdem estas características
- Funcionamento
  - Escolhe dois indivíduos e troca trechos entre eles



# Crossover

---

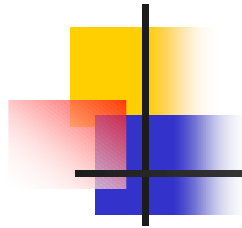
- É o operador genético predominante
  - A taxa de *crossover* deve ser maior que a taxa de mutação
  - Taxa de *crossover*:  $0.6 < P_c < 1.0$
  - Caso *crossover* não seja aplicado, descendentes são iguais aos pais
- É a operação mais importante para exploração rápida do espaço de busca



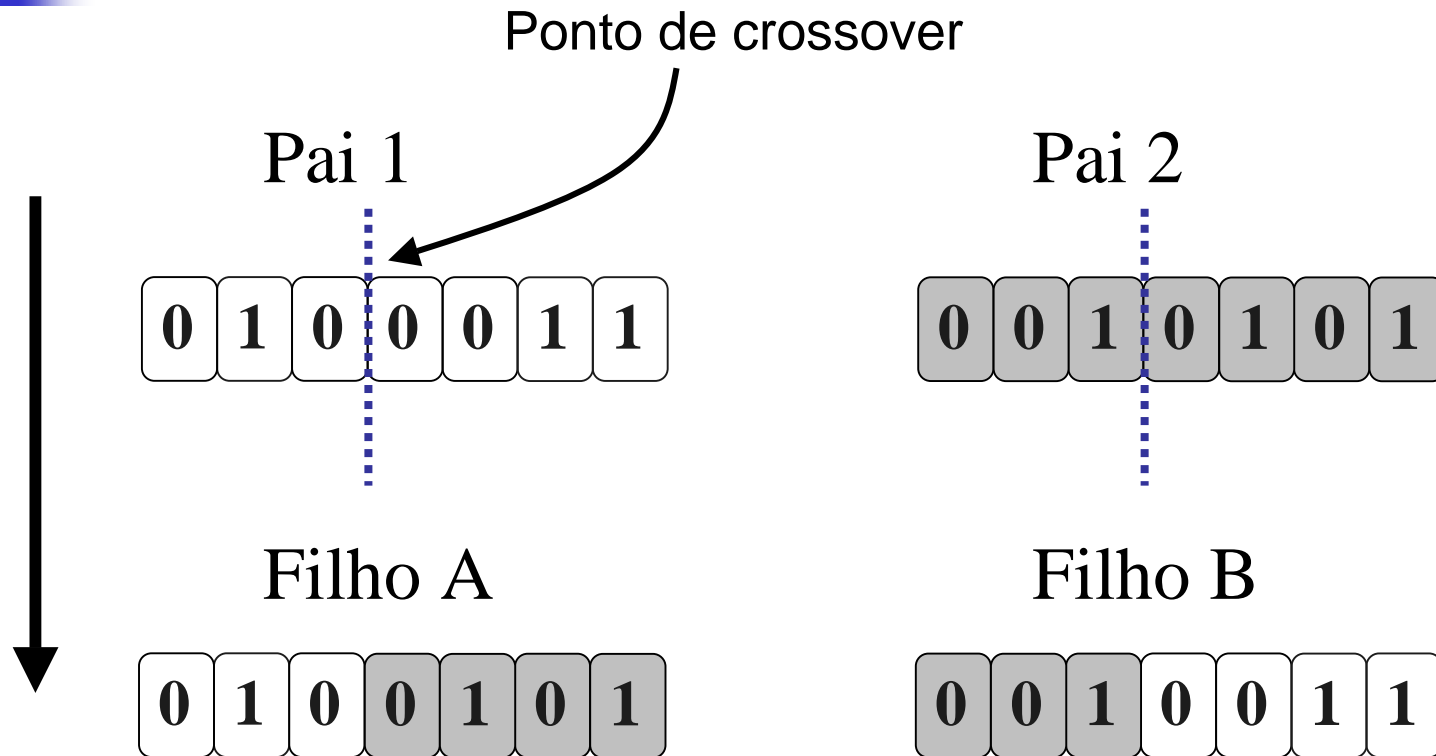
# Crossover

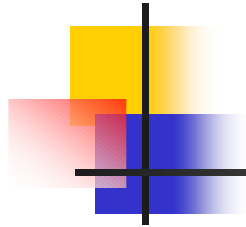
---

- Diversas variações
  - Um ponto
    - Mais comum
  - Dois pontos
  - Multi-pontos

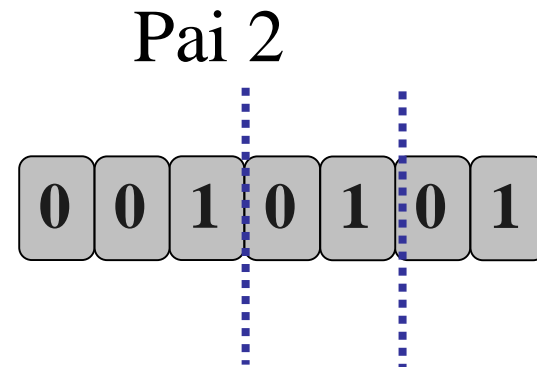
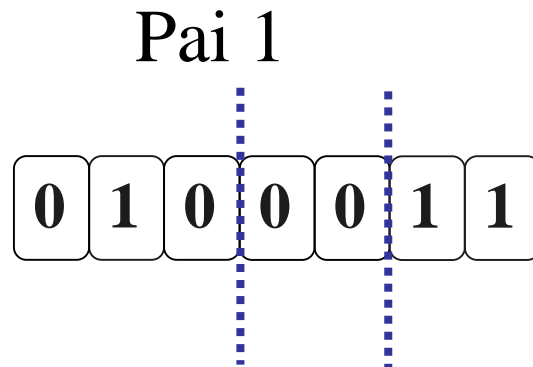


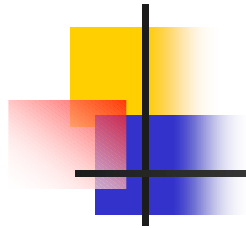
# Crossover 1 ponto





# Crossover de 2 pontos





# Mutação

---

- Permite introdução e manutenção da diversidade genética
  - Aplicado a cada indivíduo após *crossover*
- Funcionamento
  - Altera aleatoriamente um ou mais componentes de uma estrutura escolhida

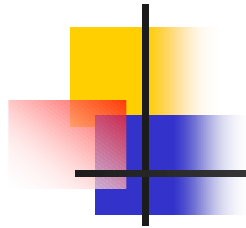




# Mutação

---

- Busca assegurar que a probabilidade de atingir qualquer ponto do espaço de busca nunca será zero
  - Reduz chance de parada em Mínimos Locais
- Operador genético secundário
  - Taxa de mutação pequena  $P_m \cong 0.001$



# Mutação

---

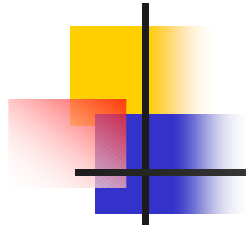
Antes da mutação

0	1	0	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---



Após a mutação

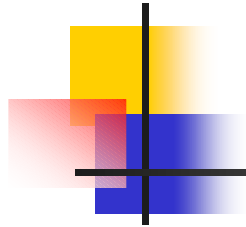
0	1	1	0	0	1	1
---	---	---	---	---	---	---



# Elitismo

---

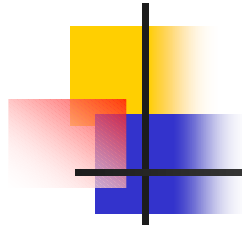
- Indivíduo de maior desempenho é automaticamente selecionado
- Evita modificações deste indivíduo pelos operadores genéticos
  - Utilizado para que os melhores indivíduos não desapareçam da população



# Observações

---

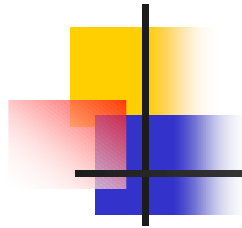
- Se o AG estiver corretamente implementado, a população geralmente evolui em gerações sucessivas
  - Até estabilizar
- Aptidões do melhor indivíduo e do indivíduo médio aumentam em direção a um ótimo global



# Critério de Parada

---

- Tempo de execução
- Número de gerações
- Valor de aptidão mínimo, médio e/ou máximo
- Convergência
  - Nas últimas  $k$  iterações não houver melhora nas aptidões



# Convergência

---

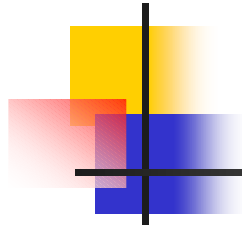
- Convergência é a progressão em direção à uma uniformidade crescente
  - Um gene converge quando 95% da população compartilha o mesmo valor
  - A população converge quando todos os genes tiverem convergido
    - Perda de diversidade



# Um Algoritmo Genético

---

- 1. Escolher população inicial de cromossomos*
- 2. Avaliar cada cromossomo da população*
- 3. Enquanto critério de parada não for atingido*
  - 3.1 Selecionar indivíduos mais aptos*
  - 3.2 Criar novos cromossomos aplicando operadores genéticos*
  - 3.3 Avaliar cada cromossomo da população*

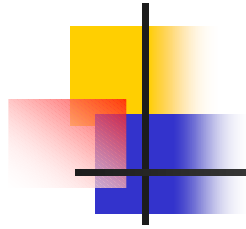


# Aplicações

---

- Otimização de função numérica
- Otimização combinatorial
  - Problema do caixeiro viajante
  - Problema de empacotamento
  - Alocação de recursos (*job shop schedulling*)
- Projetos
  - Projeto de pontes, antenas, cargas, etc...
- Aprendizado de Máquina
  - Jogos





- Dúvidas???