

# Algoritmos Genéticos

---

- Introdução
- Histórico
- Algoritmo Genético Básico:
  - Representação de um indivíduo
  - Função de aptidão
  - Operadores genéticos
  - Critério de parada
  - Parâmetros Genéticos

# Computação Evolutiva

---

- ❑ Os sistemas baseados em computação evolutiva mantêm uma população de soluções potenciais, aplicam processos de seleção baseados na adaptação de um indivíduo e também empregam outros operadores “genéticos”.
- ❑ Diversas abordagens para sistemas baseados em evolução foram propostas, sendo que as principais diferenças entre elas dizem respeito aos operadores genéticos empregados.
- ❑ As principais abordagens propostas na literatura são:
  - ❑ Algoritmos Genéticos.
  - ❑ Programação Genética.
  - ❑ Estratégias Evolutivas.
  - ❑ Programação Evolutiva.

# Computação Evolutiva

---

- Estratégias evolutivas foram inicialmente propostas com o objetivo de solucionar problemas de otimização de parâmetros. Utilizam apenas operadores de mutação.
- A programação evolutiva foi originalmente proposta como uma técnica para criar IA através da evolução de máquinas de estado finito. Ela também emprega apenas mutação. Recentemente, a programação evolutiva tem sido aplicada a problemas de otimização e é, neste caso, virtualmente equivalente às estratégias evolutivas; apenas pequenas diferenças no que diz respeito aos procedimentos de seleção

# Computação Evolutiva

---

- Os algoritmos genéticos visam formalizar matematicamente e explicar rigorosamente processos de adaptação em sistemas naturais e desenvolver sistemas artificiais (simulados em computador) que retenham os mecanismos originais encontrados em sistemas naturais.
- Programação Genética: uma extensão dos algoritmos genéticos, denominada programação genética tem por objetivo básico evoluir programas de computador usando os princípios da evolução natural.

# Introdução

---

- Idealizado e formalizado por Jonh Holland - técnica de busca baseada na Teoria da Darwin.
  
- Motivação:
  - Como explicar a diversidade de animais? Como explicar sua evolução?
  - Qual é a influência dos antepassados? Qual é a influência do meio ambiente?
  
- Algoritmos Genéticos (AG): são métodos de busca e otimização:
  - Inspirados nos mecanismos de evolução dos seres vivos.
  - Seguem o princípio da seleção natural e sobrevivência dos mais aptos.
  - Utiliza uma população de soluções candidatas (indivíduos).
  - Operadores de reprodução geram novos indivíduos.
  - Depois de várias gerações, populações naturais evoluem de acordo com os princípios de seleção natural e sobrevivência dos mais aptos.

# Histórico

---

- 1859: Charles Darwin - DARWIN (1859) apresentou as seguintes hipóteses para explicar o processo de seleção natural:
  - Os filhos tendem a ser em maior número que os pais;
  - O número de indivíduos de uma espécie permanece aproximadamente constante;
  - De (1) e (2), conclui-se que vai haver uma luta pela sobrevivência;
  - Dentro de uma mesma espécie, os indivíduos apresentam pequenas diferenças, sendo que a maioria delas também está presente nos respectivos pais;
  - Algum processo de variação continuada deve ser responsável pela introdução de novas informações junto à carga genética dos organismos;
  - Não há limite para a sucessão de variações que podem ocorrer;
  - A seleção natural é o mecanismo para preservação das novas informações que correspondam a uma maior adaptação.

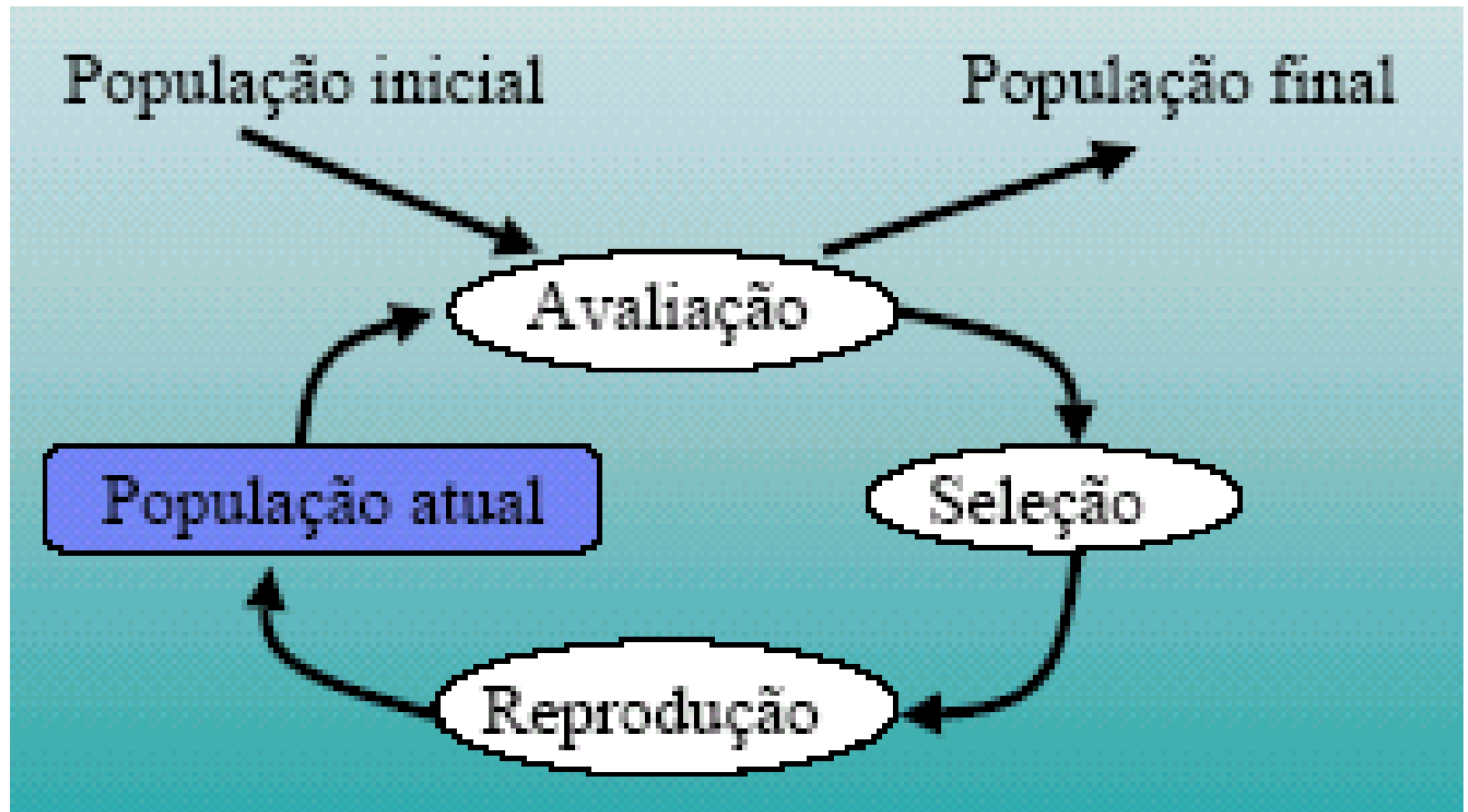
# Histórico

---

- 1859: Charles Darwin
  - Pela lei da Seleção Natural que os seres mais adaptados aos seus ambientes sobrevivem.
- 1865: Gregor Mendel
  - Formalizou a “herança de características”, com a teoria do DNA (ervilhas).
- 1901: Hugo De Vries
  - Formalizou o processo de geração de diversidade: Teoria da Mutação

# Algoritmo Genético Básico

---





# Algoritmo Genético Básico

---

1.  $t=0$
2. Gera população inicial  $G(t)$
3. Aptidão  $G(t)$
4. Enquanto  $(t \leq NG)$  e  $(\text{sol. Ótima} - \text{sol. Atual} > \text{erro})$  faça  
     $t=t+1$   
    Gera descendentes aplicando operador de cruzamento  
    Gera descendentes aplicando operador de mutação  
    Gera  $G(t)$  a partir dos descendentes e  $G(t-1)$   
    Aptidão  $G(t)$

## □ Questões:

- Como representar os indivíduos?
- Quem é a população inicial?
- Como definir a função de avaliação (aptidão)?
- Quais são os critérios de seleção?
- Como aplicar/definir o operador de cruzamento?
- Como aplicar/definir o operador de mutação?
- Como garantir a convergência e ao mesmo tempo a solução ótima?

# AG: Representação do Cromossomo

- ❑ Solução potencial para um problema é definida por um conjunto de parâmetros (genes).
  - ❑ Parâmetros são combinados para formar os cromossomos.
- ❑ Tipos de representação: vetores, matrizes, árvores, listas.
- ❑ Cromossomos podem ser estruturas dos seguintes tipos:

• Binários	1	0	1	0	0
• Inteiros	1	7	-4	0	-12
• Reais	3.2	-1.1	0.7	9.2	-2.6

- ❑ Tradicionalmente, os indivíduos são representados por vetores binários: 1 (presença) e 0 (ausência).

# AG: Representação do Cromossomo

---

- PROBLEMA 1: EQUAÇÃO DO SEGUNDO GRAU( $X^2+3X-4$ )
  - Cromossomo: vetor  $\rightarrow$  IND[8]
  - Alfabeto:  $\{0,1\}$
  
- PROBLEMA 2: CAIXEIRO VIAJANTE (N cidades)
  - Cromossomo: vetor  $\rightarrow$  IND[N]
  - Alfabeto:  $\{1,...,N\}$
  
- PROBLEMA 3: N RAINHAS (N cidades)
  - Cromossomo: Matriz  $\rightarrow$  IND[N][2]
  - Alfabeto:  $\{1,...,N\}$

# População Inicial

---

- A iniciação de um AG clássico se caracteriza pela síntese de um conjunto de soluções factíveis geradas aleatoriamente.
- As iniciações mais tradicionais são:
  - Randômica uniforme: cada gene do indivíduo receberá como valor um elemento do conjunto de alelos sorteado de forma aleatoriamente uniforme.
  - Randômica não-uniforme: determinados valores a serem armazenados no gene tendem a ser escolhidos com frequência maior que o restante.
  - Randômica com dope: indivíduos otimizados são inseridos em meio à população aleatoriamente gerada.
  - Parcialmente enumerativa: são inseridos na população indivíduos de forma a fazer com que essa comece o processo de evolução possuindo todos os esquemas possíveis de uma determinada ordem.

# População Inicial

---

## □ PROBLEMA 1: EQUAÇÃO DO SEGUNDO GRAU( $X^2+3X-4$ )

□ TP = 6 → POP[TP][8]

□ Exemplo:

1	0001010
1	0100000
1	0100000
1	0100000
1	0100000
1	0100000

## □ PROBLEMA 2: CAIXEIRO VIAJANTE (N cidades)

□ Cromossomo: vetor → IND[N]

□ Alfabeto: {1,...,N}

## □ PROBLEMA 3: N RAINHAS (N cidades)

□ Cromossomo: Matriz → IND[N][2]

□ Alfabeto: {1,...,N}

# Função de Aptidão

---

- Mede o grau de aptidão de um indivíduo (o quão bom ele é para a solução do problema proposto):
  - É uma função que recebe como parâmetro de entrada um indivíduo e retorna um valor numérico que representa o quanto o indivíduo está próximo da solução desejada.
- Aptidão é a probabilidade do indivíduo sobreviver para a próxima geração.
- O grande problema é conseguir definir uma função que seja capaz de medir corretamente todas as possíveis soluções representadas pelos indivíduos de uma população, garantindo a convergência para a solução ótima.

# Função de Aptidão

---

□ PROBLEMA 1: EQUAÇÃO DO SEGUNDO GRAU( $X^2+3X-4$ )

□  $X = \text{BIN\_TO\_DEC}(\text{POP}[i])$

□  $F[i] = 1/\text{abs}(X^2+3X-4)$  se  $(X^2+3X-4)$  for diferente de zero  
= 9999 se  $(X^2+3X-4)$  for igual a zero

□  $\text{SOMA} = F[0] + F[1] + \dots + F[\text{TP}]$

□  $\text{FIT}[i] = F[i]/\text{SOMA}$

# Função de Aptidão

---

## □ PROBLEMA 2: CAIXEIRO VIAJANTE

$$□ F[i] = 1/(\text{soma dos custos usando a Matriz de Adjacências})$$

$$□ \text{SOMA} = F[0] + F[1] + \dots + F[\text{TP}]$$

$$□ \text{FIT}[i] = F[i]/\text{SOMA}$$

## □ PROBLEMA 3: N-RAINHAS

$$□ F[i] = 1/(\text{total de ataques}) \text{ se } (\text{total de ataques for diferente de zero})$$
$$= 9999 \text{ se } (\text{total de ataques for igual a zero})$$

$$□ \text{SOMA} = F[0] + F[1] + \dots + F[\text{TP}]$$

$$□ \text{FIT}[i] = F[i]/\text{SOMA}$$



# Função de Aptidão

---

## □ PROBLEMA 1: EQUAÇÃO DO SEGUNDO GRAU( $X^2+3X-4$ )

□  $X = \text{BIN\_TO\_DEC}(\text{POP}[i])$

□  $F[i] = 1/\text{abs}(X^2+3X-4)$  se  $(X^2+3X-4)$  for diferente de zero  
= 9999 se  $(X^2+3X-4)$  for igual a zero

□  $\text{Soma} = F[0] + F[1] + \dots + F[\text{TP}]$

□  $\text{FIT}[i] = F[i]/\text{soma}$

## □ PROBLEMA 2: CAIXEIRO VIAJANTE (N cidades)

□ Cromossomo: vetor  $\rightarrow \text{IND}[N]$

□ Alfabeto:  $\{1, \dots, N\}$

## □ PROBLEMA 3: N RAINHAS (N cidades)

□ Cromossomo: Matriz  $\rightarrow \text{IND}[N][2]$

□ Alfabeto:  $\{1, \dots, N\}$

# Seleção e Reprodução

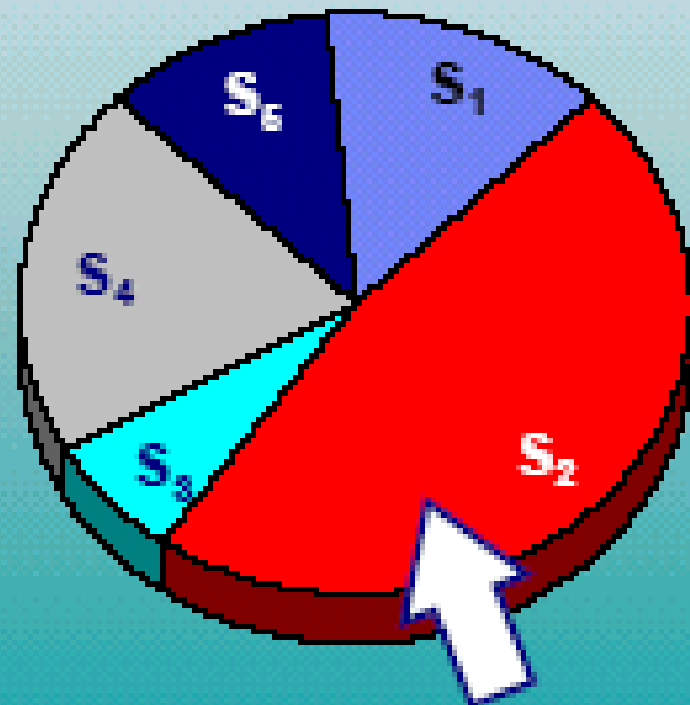
---

- ❑ Objetivo: propagar material genético dos indivíduos mais adaptados.
- ❑ Problemática da convergência prematura (Rapidez x Diversidade):
  - ❑ Um indivíduo super adaptado no começo não deve ser valorizado demais.
  - ❑ indivíduos ruins no começo não podem ser desprezados.
- ❑ Tipos:
  - ❑ Roleta: 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.
  - ❑ Torneio: consiste em criar grupos de soluções e selecionar as mais adaptadas de cada grupo.
  - ❑ Determinismo: consiste em associar para cada indivíduo um determinado número de vezes que ele irá participar do processo de reprodução.
  - ❑ Elitismo: indivíduo de maior desempenho é automaticamente selecionado.

# Seleção e Reprodução

## Exemplo de Método da Roleta


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



# Operador de Cruzamento

- ❑ Recombina características dos pais:
  - ❑ Permite que as próximas gerações herdem características desejáveis.
  - ❑ Operador genético predominante.
- ❑ Tipos:
  - ❑ **Cruzamento de um ponto:** dados dois cromossomos pais sorteia-se um ponto de corte.

PONTO  
DE CORTE  
IGUAL A 2



Pai 1	1	1	0	0	0	1	0	1
Pai 2	1	0	0	1	0	1	0	0
Descendente 1	1	1	0	1	0	1	0	0
Descendente 2	1	0	0	0	0	1	0	1

# Operador de Cruzamento

- **Cruzamento de dois pontos:** são escolhidos dois pontos de corte para troca de material genético entre os indivíduos.

Indivíduo 1	1	1	0	1	0	1	0	1
Indivíduo 2	0	0	0	0	0	1	0	0

Descendente 1	1	1	0	0	0	1	0	1
Descendente 2	1	0	0	1	0	1	0	0

# Operador de Cruzamento

- ❑ **Cruzamento Uniforme:** para cada gene a ser preenchido nos cromossomos filhos, o operador de cruzamento uniforme sorteia de qual dos pais este deve ser gerado. É comum o uso de uma máscara de bits aleatórios que indica como será o sorteio.

máscara	1	0	0	1	1	1	0	0
---------	---	---	---	---	---	---	---	---

Individuo 1	1	1	0	1	0	1	0	1
Individuo 2	1	0	0	0	0	0	0	0

Descendente 1	1	1	0	0	0	0	0	1
Descendente 2	1	0	0	1	0	1	0	0

# Operador de Mutação

---

## ❑ Objetivo:

- ❑ gerar diversidade (fuga de ótimos locais).
- ❑ Permite explorar globalmente o espaço de busca, possibilitando até recuperar algum bom material genético que possa ter sido perdido após sucessivas recombinações.

## ❑ Tipos:

- ❑ Generativa: inclusão de novo(s) gene(s) no cromossomo.
- ❑ Destrutiva: exclusão de gene(s) do cromossomo.
- ❑ Troca Simples: um gene é sorteado e tem seu valor trocado por outro sorteado do alfabeto válido.
- ❑ Translocação: são sorteados 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.

# Substituição de uma população

---

- Objetivo:
  - garantir uma convergência adequada.
  
- Tipos:
  - Simples : a nova geração SUBSTITUI a antiga
  - Elitista: a nova geração se MISTURA com a antiga.
  
- Critérios de substituição no caso elitista:
  - os piores.
  - os mais semelhantes.
  - os melhores.
  - aleatoriamente.



# Substituição de uma população

---

- Seleção por diversidade: são selecionados os indivíduos mais diversos da população.
- Seleção bi-classista: são selecionados os  $P\%$  melhores indivíduos e os  $(100 - P)\%$  piores indivíduos.
- Seleção aleatória: são selecionados aleatoriamente  $N$  indivíduos da população. Podemos subdividir este mecanismo de seleção em:
  - Salvacionista: seleciona-se o melhor indivíduo e os outros aleatoriamente.
  - Não-salvacionista: seleciona-se aleatoriamente todos os indivíduos.

# Critérios de parada

---

- ❑ Ótimo global é onde se deseja chegar tratando-se de problemas de otimização – para muitos problemas isso muito difícil de se alcançar.
  
- ❑ A finalização de um AG por sua vez não envolve nenhum operador genético, sendo simplesmente composta de um teste que valida um determinado critério.
  
- ❑ Alguns critérios de parada:
  - ❑ Evolução torna-se lenta de acordo com um valor pré-definido:
    - Aptidão média, aptidão do melhor indivíduo.
  - ❑ Igualdade entre indivíduos de uma mesma geração
  - ❑ Número máximo pré-determinado de execução do AG.

# Parâmetros Genéticos

---

- ❑ **Tamanho da população (TP):** define a quantidade de indivíduos da população a ser explorada (quantidade de soluções candidatas).
- ❑ **Taxa de cruzamento (TC):** está relacionado com a frequência com que o operador de cruzamento é aplicado.
- ❑ **Taxa de mutação (TM):** especifica a taxa com que o operador de mutação será aplicado.
- ❑ **Intervalo de geração (IG):** controla a porcentagem de indivíduos de uma população que serão substituídos de uma geração no tempo  $t-1$  para a geração seguinte no tempo  $t$ .
- ❑ **Número de gerações (NG):** determina o número máximo de vezes que um AG será aplicado a partir de uma população inicial.