

# Inteligência Computacional

Luís A. Alexandre

UBI

Ano lectivo 2019-20

## Conteúdo

### Computação evolucionária

Introdução

Exemplo

### Componentes dum AE

Cromossomas

Função de aptidão

População inicial

Operadores evolucionários

Operadores de seleção

### Algoritmo evolucionário genérico

Algoritmo evolucionário genérico

### CE versus otimização clássica

### Leitura recomendada

## Introdução

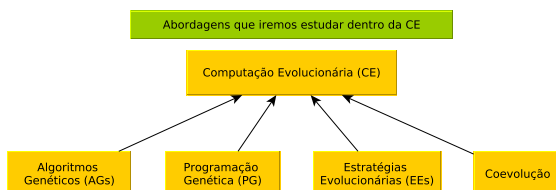
- ▶ A evolução é um processo, segundo o qual, apenas os indivíduos mais aptos sobrevivem.
- ▶ A **computação evolucionária** (CE) simula esta abordagem no âmbito dos problemas de pesquisa (ou otimização).
- ▶ Chamamos **algoritmo evolucionário** (AE) a qualquer algoritmo desenvolvido dentro da CE.
- ▶ Na natureza, as características dos organismos influenciam a sua capacidade de sobrevivência e de reprodução.
- ▶ Algumas dessas características encontram-se codificadas nos **cromossomas**.
- ▶ Após a reprodução sexuada, os cromossomas dos descendentes contêm uma combinação da informação contida nos cromossomas dos seus progenitores.

## Introdução

- ▶ O processo de seleção natural garante que os indivíduos mais aptos têm mais oportunidades de se **reproduzirem** e assim de passarem os seus cromossomas mais aptos aos descendentes.
- ▶ Ocasionalmente os cromossomas são sujeitos a **mutações** que os alteram de forma aleatória.
- ▶ As mutações podem influenciar negativamente as capacidades dum indivíduo, mas, podem também alterá-las de forma a torná-lo ainda mais apto.
- ▶ Sem as mutações, as populações duma dada espécie tenderiam a convergir para um estado em que os indivíduos teriam pouca diferença uns dos outros.

## Introdução

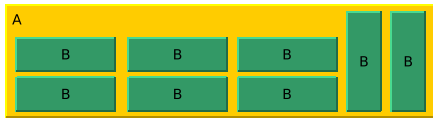
- ▶ O processo de seleção natural pode ser visto como um processo de pesquisa num espaço de possíveis valores dos cromossomas.
- ▶ Essa pesquisa é orientada pela **aptidão** dos indivíduos portadores desses cromossomas para sobreviverem e se reproduzirem.
- ▶ Um AE é semelhante pois acaba por consistir numa pesquisa estocástica por uma solução ótima de um problema.



## Componentes dum AE

- ▶ Os elementos que influenciam o AE são:
  - ▶ a codificação das soluções do problema como **cromossomas**
  - ▶ uma função que avalia a **aptidão** dos indivíduos
  - ▶ a **inicialização** da população
  - ▶ os operadores de **seleção**
  - ▶ os operadores de **reprodução**
- ▶ Vejamos de seguida em mais detalhe cada um destes elementos.

## Exemplo



- ▶ Para facilitar a compreensão dos conceitos que iremos abordar, vamos usar um exemplo que permite concretizar alguns dos conceitos que iremos discutir.
- ▶ Consideremos que temos um retângulo A de lados  $X_A$  e  $Y_A$  e que queremos saber qual a melhor forma de colocar dentro deste retângulo, outros retângulos B, todos do mesmo tamanho ( $X_B, Y_B$ ), de forma a termos o maior número de retângulos B dentro do A.
- ▶ Uma forma de resolver este problema passa por usar um algoritmo evolucionário para nos indicar uma potencial solução.

## Cromossomas

- ▶ Um AE usa uma população de indivíduos, onde **cada indivíduo representa uma possível solução do problema**.
- ▶ As características de cada indivíduo são representadas por um cromossoma.
- ▶ As características representadas pelo cromossoma podem ser divididas em
  - ▶ genótipos: descrevem a composição genética de um indivíduo como foi **herdada dos seus progenitores**.
  - ▶ fenótipos: guardam os traços comportamentais de um indivíduo **aprendidos no seu ambiente**.

## Representação do cromossoma

- ▶ Cada cromossoma pode ser visto como um ponto no espaço de pesquisa.
- ▶ Cada cromossoma é constituído por um conjunto de **genes**.
- ▶ Cada gene representa uma característica do indivíduo, e o valor de um gene é chamado **alelo**.
- ▶ Em termos de otimização, cada gene representa um parâmetro de otimização do problema.

## Representação do cromossoma

- ▶ A eficiência da pesquisa depende muito da forma de representar o cromossoma.
- ▶ As diferentes abordagens dentro da CE usam diferentes formas de **representação** para o cromossoma:
  - ▶ Os AGs usam normalmente strings binárias mas suportam também variáveis reais.
  - ▶ A programação genética (PG) usa árvores;
  - ▶ As estratégias evolucionárias usam variáveis reais.

## Função de aptidão

- ▶ A **função de aptidão** (fitness, em inglês) é talvez o componente mais importante dum AE.
- ▶ Esta função serve para mapear um cromossoma num número real:

$$F_{ap} : C \rightarrow \mathbb{R}$$

onde  $C$  representa o espaço dos cromossomas.

- ▶ É a função de aptidão que nos diz qual é a **qualidade** de um determinado cromossoma, ou seja, quão perto ele está da solução ótima.
- ▶ A maioria dos operadores que são aplicados à população de cromossomas age de acordo com o valor dado pela função de aptidão.

## Função de aptidão

- ▶ Assim, esta função é de extrema importância e deve conter todos os **critérios** a serem otimizados.
- ▶ No exemplo que demos, o critério principal a otimizar é o número de retângulos B dentro de A.
- ▶ A função de aptidão poderá também conter informação relativa a **restrições** às quais o problema está sujeito.
- ▶ No exemplo que demos, podemos definir várias restrições:
  - ▶ a posição dos retângulos só pode ser com os lados paralelos aos eixos;
  - ▶ não podem estar parcialmente nem totalmente sobrepostos a outros retângulos;
  - ▶ têm que ficar totalmente contidos em A.
- ▶ Estas restrições podem estar também contidas na inicialização da população e nos operadores de reprodução.

## População inicial

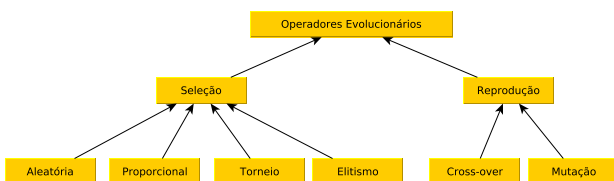
- ▶ Para que o processo evolucionário possa começar é preciso dispor de uma **população inicial**.
- ▶ A forma normal de inicializar a população é escolher valores aleatórios para os genes.
- ▶ A população inicial deve ter valores provenientes de grande parte do espaço de pesquisa.
- ▶ Se existir **conhecimento a priori** relativo ao espaço de pesquisa este pode ser usado para criar mais genes em regiões que se crê conterem uma boa solução para o problema.
- ▶ No entanto, esta abordagem pode evitar uma exploração completa do espaço de pesquisa e levar ao aparecimento de ótimos locais.

## População inicial

- ▶ O tamanho da população inicial tem implicações a dois níveis:
  - ▶ Uma população pequena pode não ser **representativa** de todo o espaço de pesquisa: embora o esforço computacional por geração seja baixo, o algoritmo poderá demorar a convergir para a solução ótima.
  - ▶ Uma população grande implica um maior **custo computacional** por geração mas poderá precisar de um menor número de gerações para convergir.
- ▶ Uma possível solução poderá ser usar uma população pequena mas com uma taxa de mutação relativamente elevada para garantir que se explore a maior parte do espaço do problema.

## Operadores evolucionários

- ▶ São de dois tipos os **operadores** usados em CE: de **seleção** e de **reprodução**.
- ▶ A seguinte figura mostra os operadores que iremos estudar:



## Operadores de seleção

- ▶ Cada geração produz novos indivíduos.
- ▶ Se não existisse uma forma de selecionar quais os melhores para serem mantidos para gerações futuras, na direção da descoberta da solução ótima, os eventuais bons indivíduos seriam diluídos na população.
- ▶ Ao permitir que passem para a geração seguinte apenas alguns dos indivíduos existentes, é possível dar mais relevância àqueles que se encontram mais próximo da solução ótima.
- ▶ Por outro lado, devem também ser escolhidos quais os indivíduos que se irão reproduzir: quer através de cross-over ou de mutação.
- ▶ Este processo de escolha dos indivíduos que devem passar para a geração seguinte ou que se irão reproduzir é chamado de **seleção**.
- ▶ A seleção age através da aplicação de **operadores**. Vamos ver de seguida os mais comuns.

## Seleção aleatória

- ▶ A **seleção aleatória** consiste em escolher do número de indivíduos existente numa geração, um subconjunto escolhido de forma aleatória.
- ▶ A seleção aleatória **não usa** a função de aptidão: todos os indivíduos têm igual probabilidade de serem escolhidos.

## Seleção proporcional

- ▶ Neste caso a seleção é feita de forma proporcional ao valor da função de aptidão para cada indivíduo.
- ▶ É criada uma distribuição probabilística proporcional ao valor da aptidão de cada indivíduo:

$$P(C_i) = \frac{F_{ap}(C_i)}{\sum_{k=1}^N F_{ap}(C_k)} \quad (1)$$

onde  $N$  representa o número de indivíduos nesta geração.

- ▶ A probabilidade de um dado indivíduo ser selecionado é tanto maior quanto maior for o valor da função de aptidão para o seu cromossoma.

## Seleção proporcional

- ▶ Para se seleccionar um indivíduo de acordo com a probabilidade  $P(C_i)$ , de forma proporcional, usa-se o seguinte algoritmo (roleta):
  1. Sortear um número  $\xi \sim U(0, 1)$ .
  2.  $i = 1$
  3.  $s = P(C_i)$
  4. Enquanto  $s < \xi$ 
    - 4.1  $i = i + 1$
    - 4.2  $s = s + P(C_i)$
  5. O cromossoma escolhido é o  $i$  que se obtém ao sair do ciclo.

## Seleção por torneio

- ▶ Nesta abordagem, um grupo de  $k$  indivíduos é seleccionado aleatoriamente.
- ▶ Depois, dentro deste grupo, é seleccionado o melhor (o que tiver maior valor da função de aptidão).
- ▶ As vantagens desta abordagem são:
  - ▶ os piores indivíduos não são seleccionados
  - ▶ o melhor indivíduo não domina o processo de reprodução (quando a seleção é usada tendo em vista a reprodução)

## Seleção baseada em ordenação (rank)

- ▶ Neste caso a seleção é feita ordenando os cromossomas pelo seu valor de aptidão para que se possa determinar a **probabilidade de seleção**.
- ▶ Isto implica que a probabilidade de seleção fica menos dependente do valor da função de aptidão: só importa a **ordem** dos cromossomas em termos de aptidão.
- ▶ A vantagem é que evita que um cromossoma com um valor muito elevado de aptidão domine o processo de seleção.
- ▶ A probabilidade do cromossoma  $C_i$  ser seleccionado é dada por

$$P(C_i) = \frac{R(C_i)}{\sum_{k=1}^N R(C_k)}$$

onde  $N$  representa o número de indivíduos nesta geração e  $R(\cdot)$  devolve a posição do cromossoma após ordenação por ordem crescente de aptidão, onde o menos apto recebe 1.

## Seleção baseada em ordenação (rank)

- ▶ Vejamos um exemplo das probabilidades de seleção dum conjunto de cromossomas se a seleção for proporcional  $P_{prop}$  e por ordenação  $P_{ord}$ .

C	Aptidão	Ordem	$P_{prop}$	$P_{ord}$
1	90	5	0.71	0.33
2	5	1	0.04	0.07
3	14	4	0.11	0.26
4	8	2	0.06	0.14
5	10	3	0.08	0.20

## Seleção por elitismo

- ▶ O elitismo consiste na seleção dos melhores indivíduos da população atual para passarem para a próxima geração **sem serem alterados** por mutação.
- ▶ Quantos mais indivíduos forem escolhidos por elitismo, menos diversidade terá a nova geração quando comparada com a atual.

## Seleção da população da nova geração

- ▶ A escolha dos  $k$  indivíduos a passar para a nova geração pode ser feita de diversas formas:
  - ▶ escolher os  $k$  melhores: garante que a melhor solução da geração seguinte não será inferior (em termos de aptidão) à melhor solução da atual geração
  - ▶ escolher os  $k$  indivíduos através de um dos métodos de seleção vistos atrás.

## Operadores de reprodução

- ▶ O objetivo da reprodução é a obtenção de novos indivíduos a partir de indivíduos selecionados, quer seja por cross-over ou por mutação.
- ▶ O **cross-over** é o processo de criação de um novo indivíduo a partir dos genes dos pais.
- ▶ A **mutação** produz novos indivíduos a partir de indivíduos existentes efetuando alterações aleatórias nos seus genes.
- ▶ O objetivo da mutação é manter o espaço de pesquisa aberto a novas possibilidades.
- ▶ A mutação deve ocorrer com baixa probabilidade.
- ▶ Se a mutação ocorrer com elevada probabilidade altera boa parte da informação genética, o que só muito raramente será positivo.

## Algoritmo evolucionário genérico

1. Inicializar o contador de gerações  $g=1$ ;
2. Inicializar a população  $C_g$  com  $N$  indivíduos:  
 $C_g = \{C_{g,i} | i = 1, \dots, N\}$ .
3. Enquanto não tivermos convergência fazer:
  - 3.1 Avaliar a função de aptidão  $F(C_{g,i})$  para cada indivíduo da população  $C_g$ .
  - 3.2 Efetuar o cross-over: selecionar pares de indivíduos  $C_{g,i_1}$  e  $C_{g,i_2}$  e achar o(s) seu(s) descendente(s)
  - 3.3 Efetuar mutações: selecionar indivíduo(s)  $C_{g,i}$  e aplicar o operador de mutação
  - 3.4 Selecionar a nova geração  $C_{g+1}$
  - 3.5 Fazer  $g = g + 1$  e voltar a 3

## Algoritmo evolucionário genérico

- ▶ Os possíveis critérios para **convergência** são variados.
- ▶ Os mais usados são:
  - ▶ Parar a evolução quando for atingido um número máximo de gerações previamente especificado.
  - ▶ Parar quando se tenha encontrado uma solução aceitável.
  - ▶ Parar se a aptidão máxima ou média não varia grandemente após várias gerações.
  - ▶ Parar se a mudança nos cromossomas da população for muito reduzida, em várias gerações consecutivas.

## CE versus otimização clássica

- ▶ A CE e a otimização clássica (OC) diferem principalmente nos seguintes aspetos:
  - ▶ Processo de pesquisa:
    - ▶ a CE efetua o **movimento no espaço de pesquisa** segundo regras probabilísticas enquanto que a OC usa regras determinísticas;
    - ▶ a pesquisa na CE é **paralela** pois ocorre em cada indivíduo enquanto que na OC a pesquisa é **sequencial**.
  - ▶ Uso de **informação da superfície de pesquisa**:
    - ▶ a OC usa informação das derivadas (primeira ou segunda ordem) para procurar o ótimo;
    - ▶ a CE usa apenas informação da aptidão.

## Leitura recomendada

- ▶ Engelbrecht, cap. 8.