

Otimização por Algoritmos Genéticos

Bem vindos



Otimização por Algoritmos Genéticos

Otimizar é essencialmente melhorar a solução de problemas (em **negócios**, na **indústria** e em **processos operacionais**), o que pode trazer:

- **eficiência e rentabilidade**
- **redução de despesas, gastos e perdas**
- **aumento dos lucros.**



Otimização por Algoritmos Genéticos

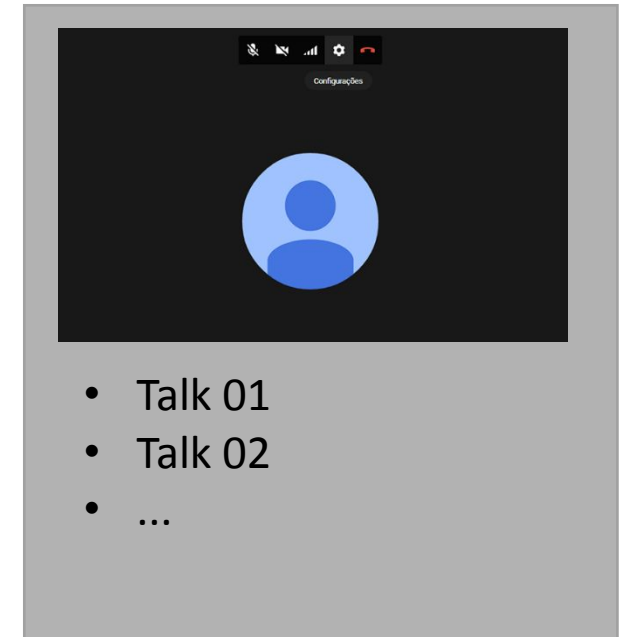
Muitos desses **problemas de otimização** são:

- **complexos**
- **com grandes espaços de busca**
- **de difícil modelagem**

Para tal, este curso visa, além de **introduzir os conceitos** fundamentais de **otimização**, apresentar **teoria e prática** da técnica de otimização evolucionária, conhecida como **Algoritmos Genéticos**.

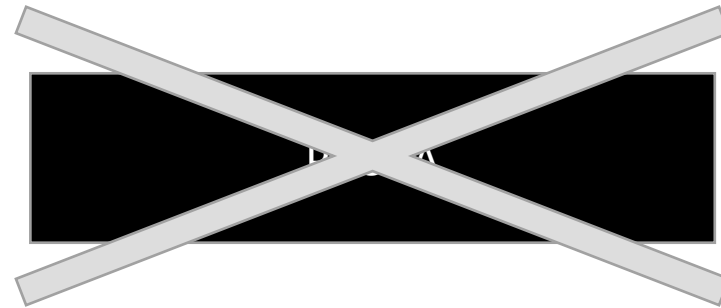
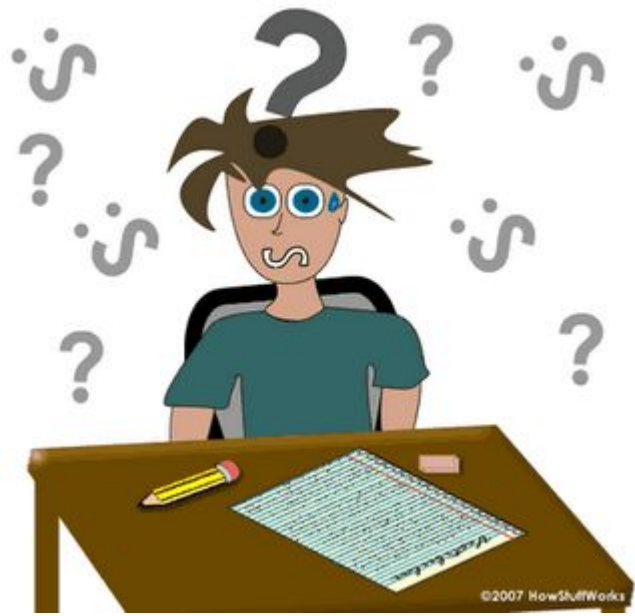
Otimização por Algoritmos Genéticos

- ✓ Algoritmos Genéticos e suas aplicações
- ✓ Representação, decodificação e avaliação de soluções
- ✓ Reprodução genética: seleção, cruzamento e mutação
- ✓ Tratamento de restrições
- ✓ Avaliação e otimização com múltiplos objetivos



Otimização por Algoritmos Genéticos

Avaliação



PARTICIPAÇÃO
+
QUIZ
(a cada aula um novo Quiz)

Otimização por Algoritmos Genéticos

Para quem gosta de acompanhar a teoria, podemos listar algumas referências bibliográficas

- Algoritmos Genéticos : Uma importante ferramenta da Inteligência Computacional - Ricardo Linden, 2006
- Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs - Michalewicz, Z., 1996
- Genetic Algorithms in search, optimization and machine Learning - David E. Goldberg, 1989

Para quem prefere aprender a teoria junto com a prática, vamos em frente com o material de aula do curso.

Otimização por Algoritmos Genéticos

Aula 01



Prof Ana Carolina Abreu
Prof Felipe Borges

prof.carolina@ica.ele.puc-rio.br

prof.felipe@ica.ele.puc-rio.br

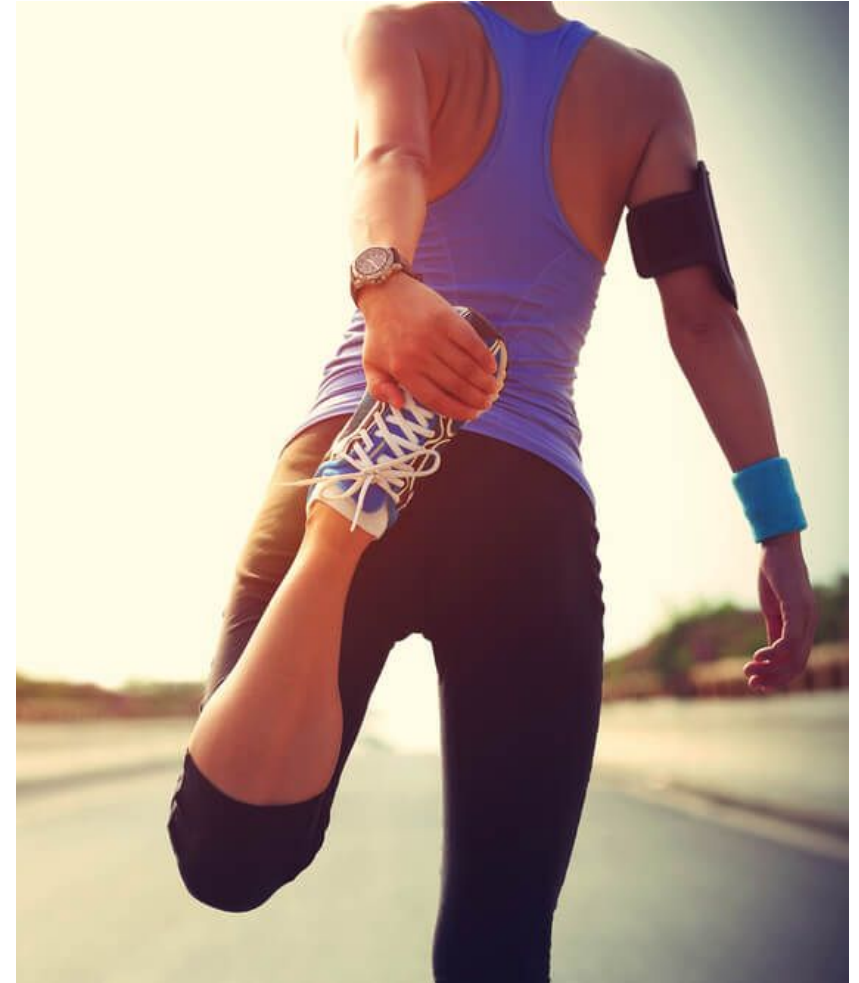
Otimização por Algoritmos Genéticos

O que veremos na aula de hoje?

- Entender como uma otimização é feita
- Como a Inteligência Artificial pode apoiar a otimização
- O que são os Algoritmos Genéticos
- Conceitos básicos do ciclo de otimização por AG
- Algumas aplicações dos AG

Atividades da aula

- Breakout Room (Aplicações)
- Quiz #1



Otimização

O que é?

Objetivo da otimização: **Buscar** a solução ótima ou **melhorar** a solução que se possui.

Otimização

Para que serve?

Otimizar é essencial para:

1. aumentar o **desempenho e a eficácia** de qualquer processo em qualquer negócio;
2. Aumentar a competitividade nos negócios, implicando na **melhoria** de determinados processos em relação à concorrência;

A otimização deve ser **prática e flexível** de modo a ser empregada em qualquer processo, a qualquer tempo (dinâmica).

Como otimizar utilizando Algoritmos Genéticos?

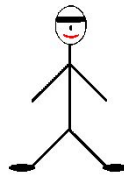
É o que aprenderemos durante
o curso...

Quais as entidades da otimização?

1. O **problema**: suas características, restrições e variáveis.
2. As **variáveis do problema** cujos valores afetam a qualidade da solução.
3. A **função objetivo** que mede (calcula) o quão boa é uma solução.
4. Um **método, algoritmo** ou **heurística** para buscar soluções.
5. O **espaço de busca**: o número total de soluções de um problema, que é determinado pelo número de variáveis e seus domínios.
6. Os **recursos “computacionais”** para processamento do método, avaliação das soluções, tratamento das características do problema e escolha da melhor solução.

Exemplo – Cabra Cega

Busca de objetivo escondido em uma área



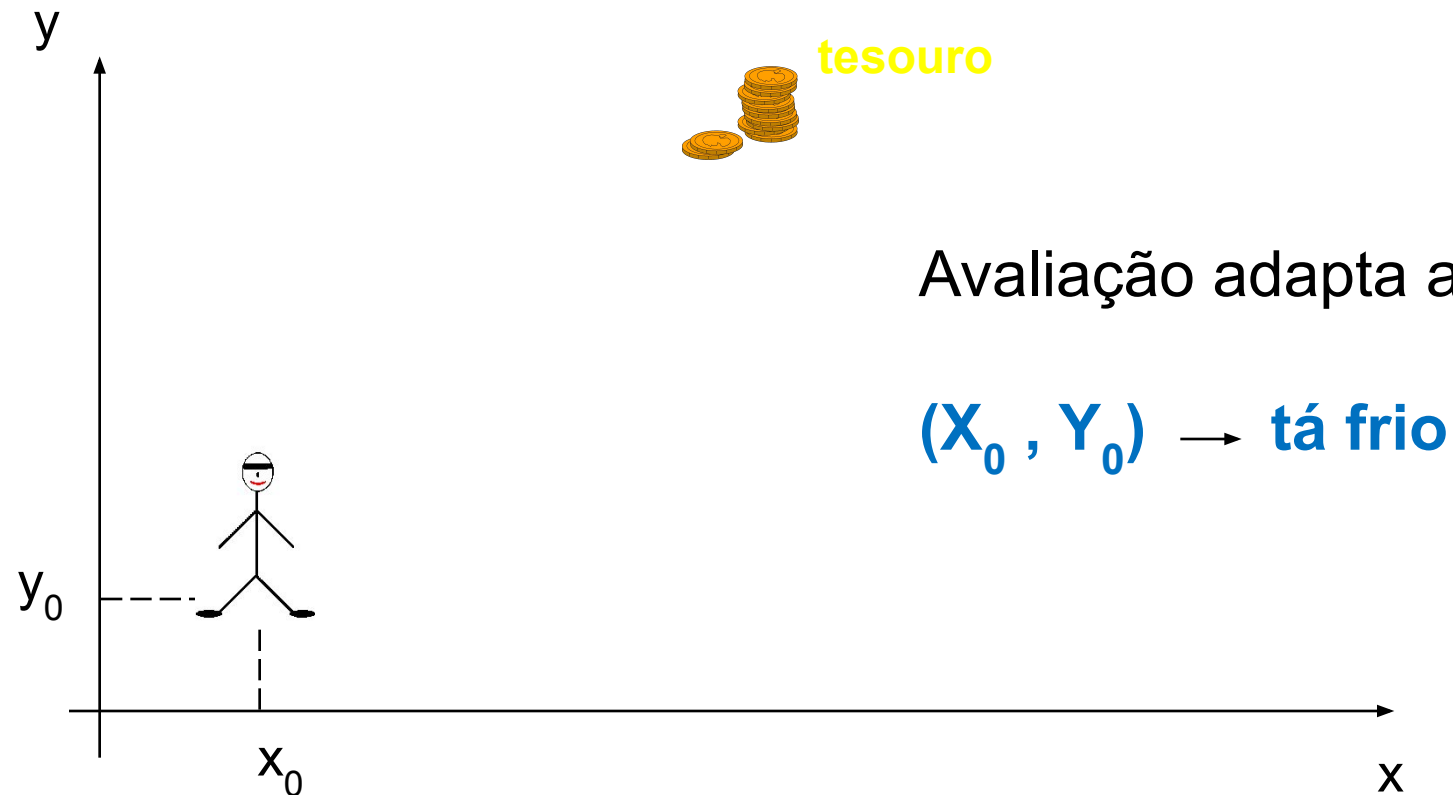
Exemplo – Cabra Cega

Busca de objetivo escondido em uma área



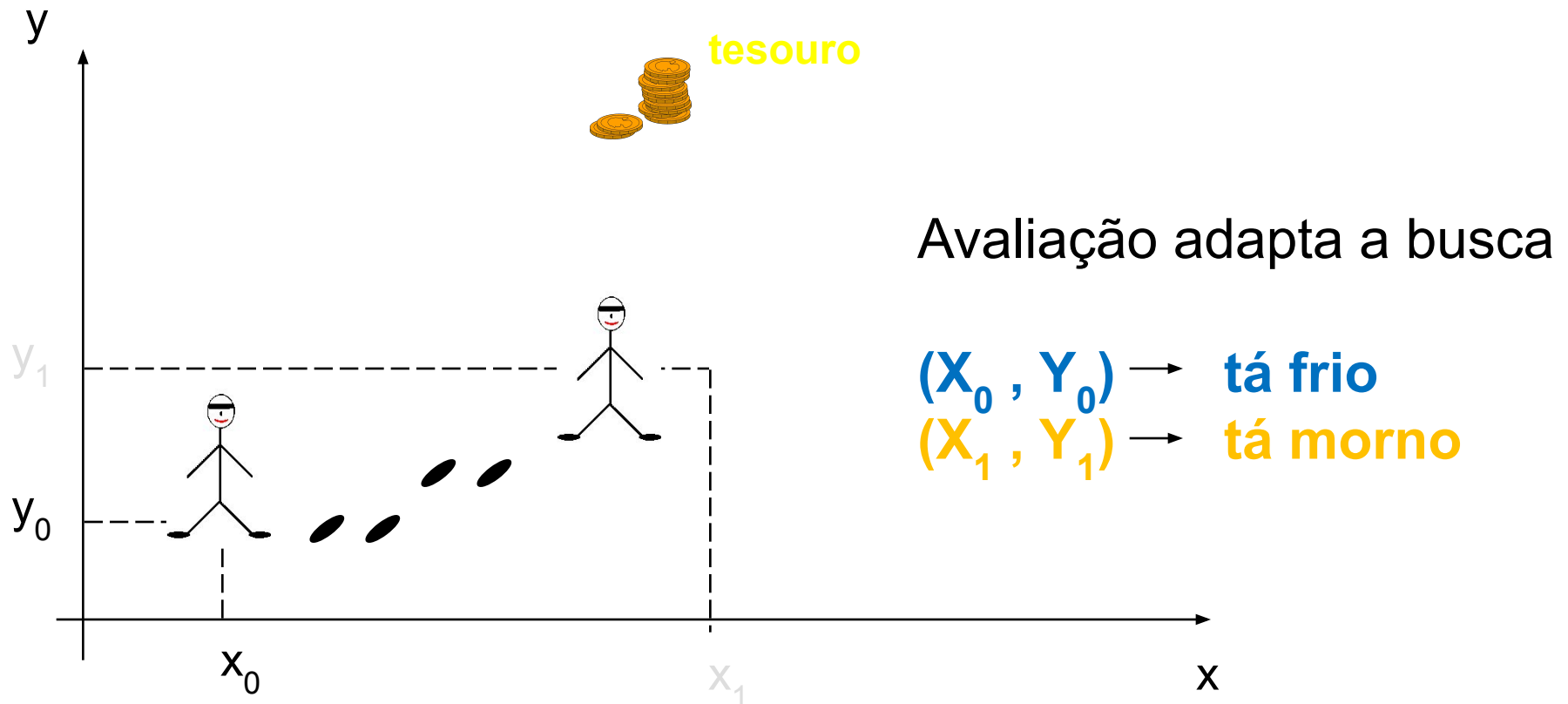
Exemplo – Cabra Cega

Busca de objetivo escondido em uma área



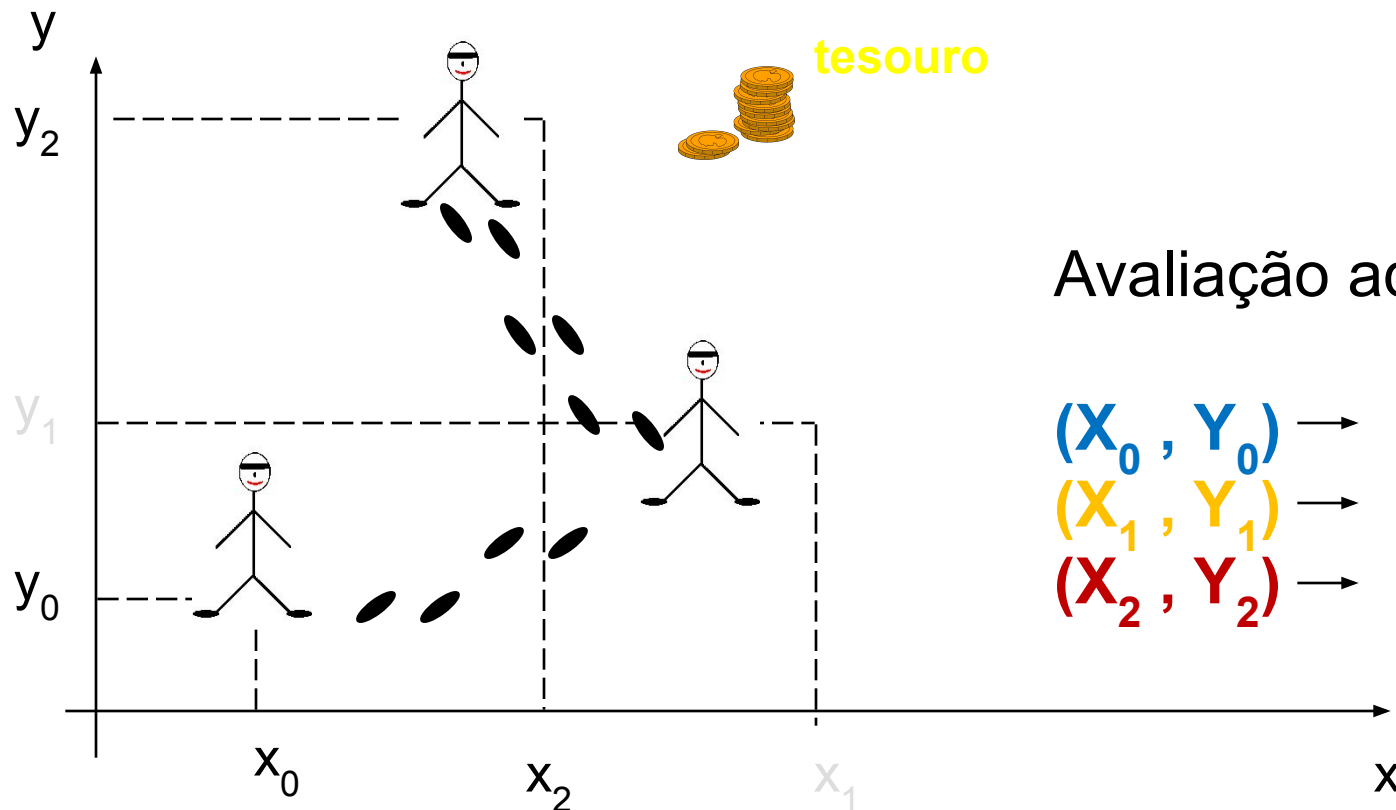
Exemplo – Cabra Cega

Busca de objetivo escondido em uma área



Exemplo – Cabra Cega

Busca de objetivo escondido em uma área



Avaliação adapta a busca

$(X_0, Y_0) \rightarrow$ tá frio
 $(X_1, Y_1) \rightarrow$ tá morno
 $(X_2, Y_2) \rightarrow$ tá quente!

Quais as entidades da otimização?

1. **Problema:** Cabra Cega
2. **Método:** Aleatório + Intelectual (SE ISSO ENTÃO AQUILO)
3. **Variáveis:** x e y (minha posição numa área qualquer)
4. **Função objetivo:** tá quente, tá morno, tá frio (minha distância Euclidiana ao tesouro!)
5. **Espaço de busca:**
 - Uma área (sala, varanda, pátio etc)
 - Número de soluções: $A = (\text{domínio}_x \cdot \text{domínio}_y) \text{ m}^2$
6. **Recursos computacionais:** meu cérebro

Quais os métodos mais comuns de otimização?

- Busca aleatória (exaustiva, quando há tempo!).
- Busca aleatória + heurísticas + bom senso.
- Métodos e algoritmos científicos.



Inteligência Artificial

O que é Inteligência Artificial?

- Também conhecida como Inteligência Computacional
- “Técnicas, modelos e sistemas computacionais imitam aspectos humanos e naturais que incorporam inteligência: percepção, raciocínio, aprendizado, evolução e adaptação”.

- *Sistemas Especialistas*
- *Lógica Fuzzy*
- *Redes Neurais*
- *Algoritmos Genéticos*
- *Sistemas Híbridos*
- inferência humana
- processamento linguístico
- neurônios biológicos
- evolução biológica
- aspectos combinados

Sistemas Computacionais

- Suporte à Decisão
- Reconhecimento de Padrões
- Previsão
- Otimização
- Controle
- Modelagem
- Planejamento
- Detecção de Fraude
- Gestão do Conhecimento
- Descoberta de Conhecimento (Data Mining)

Algoritmos Genéticos

Fácil de:

- aplicar,
- alterar,
- incluir regras,
- implementar, etc.

Algoritmos Genéticos

Conceitos básicos

Os Algoritmos Genéticos são algoritmos baseados nos mecanismos de seleção natural e genética.

São inspirados no Princípio da Evolução das Espécies proposto por Darwin:

“quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes.”

Analogia com a natureza

Evolução Natural



Alg. Genéticos

- Indivíduo
- Cromossoma
- Reprodução Sexual
- Mutação
- População
- Gerações
- Meio Ambiente

- ▶ Solução
- ▶ Representação
- ▶ Operador Cruzamento
- ▶ Operador Mutação
- ▶ Conjunto de Soluções
- ▶ Ciclos
- ▶ Problema

Qual a finalidade do Algoritmo Genético?

Algoritmos Genéticos empregam um processo *adaptativo e paralelo* de busca de soluções em *problemas complexos*.

Qual a finalidade do Algoritmo Genético?

- **Adaptativo**

- informação corrente influencia a busca futura

- **Paralelo**

- várias soluções consideradas a cada momento

- **Problema Complexo**

- de difícil formulação matemática ou com grande espaço de busca (grande número de soluções)

Problema complexo

Exemplo:

Maximizar $f(x) = x^2$: encontrar $x \in (0 \dots 2^L - 1)$ para $f(x) = \text{máx}$

2^L	Número de Pontos no Espaço	Tempo de Busca 10^9 inst/seg
-------	---------------------------------------	--

Problema complexo

Exemplo:

Maximizar $f(x) = x^2$: encontrar $x \in (0 \dots 2^L - 1)$ para $f(x) = \text{máx}$

2^L	Número de Pontos no Espaço	Tempo de Busca 10^9 inst/seg
$L=3$	8	< 1 seg

Problema complexo

Exemplo:

Maximizar $f(x) = x^2$: encontrar $x \in (0 \dots 2^L - 1)$ para $f(x) = \text{máx}$

2^L	Número de Pontos no Espaço	Tempo de Busca 10^9 inst/seg
L=3	8	< 1 seg
L=10	1024	< 1 seg

Problema complexo

Exemplo:

Maximizar $f(x) = x^2$: encontrar $x \in (0 \dots 2^L - 1)$ para $f(x) = \text{máx}$

2^L	Número de Pontos no Espaço	Tempo de Busca 10^9 inst/seg
L=3	8	< 1 seg
L=10	1024	< 1 seg
L=30	1 bilhão	1 seg

Problema complexo

Exemplo:

Maximizar $f(x) = x^2$: encontrar $x \in (0 \dots 2^L - 1)$ para $f(x) = \text{máx}$

2^L	Número de Pontos no Espaço	Tempo de Busca 10^9 inst/seg
L=3	8	< 1 seg
L=10	1024	< 1 seg
L=30	1 bilhão	1 seg
L=90	10^{27}	15 bilhões de anos

Conceitos básicos

- Nos Algoritmos Genéticos cada indivíduo **representa** uma possível **solução** para um problema;
- Uma população de indivíduos é criada e submetidas a **seleção, cruzamento** e **mutação**. A qualidade de cada indivíduo é determinada por sua **avaliação**;
- É gerado um processo de **evolução natural** desses indivíduos, que eventualmente deverá gerar um indivíduo que caracterizará uma boa solução (talvez até a melhor) para o problema.

Conceitos básicos

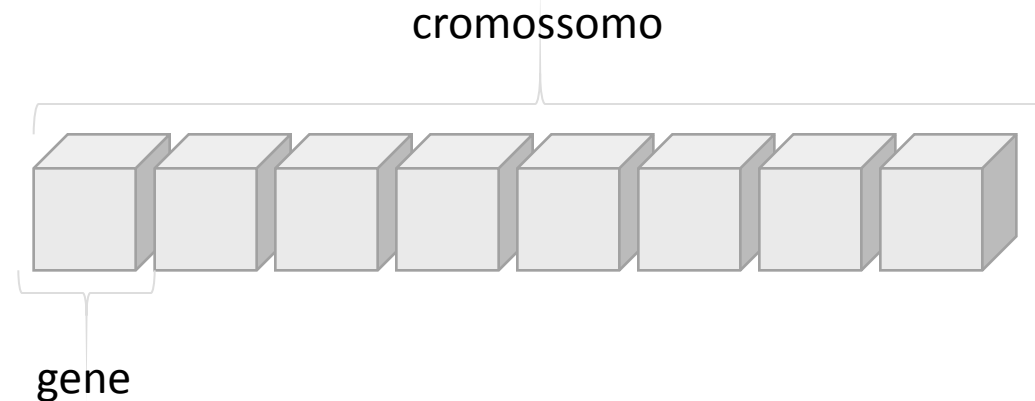
Os Algoritmos Genéticos são flexíveis e permitem a fácil inclusão de instruções específicas para o problema de interesse;

A qualidade dos resultados depende diretamente da qualidade da modelagem do problema:

- representação cromossômica e decodificação;
- função de avaliação;
- operadores genéticos.

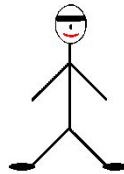
Representação

- Consiste em uma maneira de traduzir a informação do problema em uma maneira viável de ser tratada pelo computador;
- Quanto mais ela for adequada ao problema, maior a qualidade dos resultados obtidos.



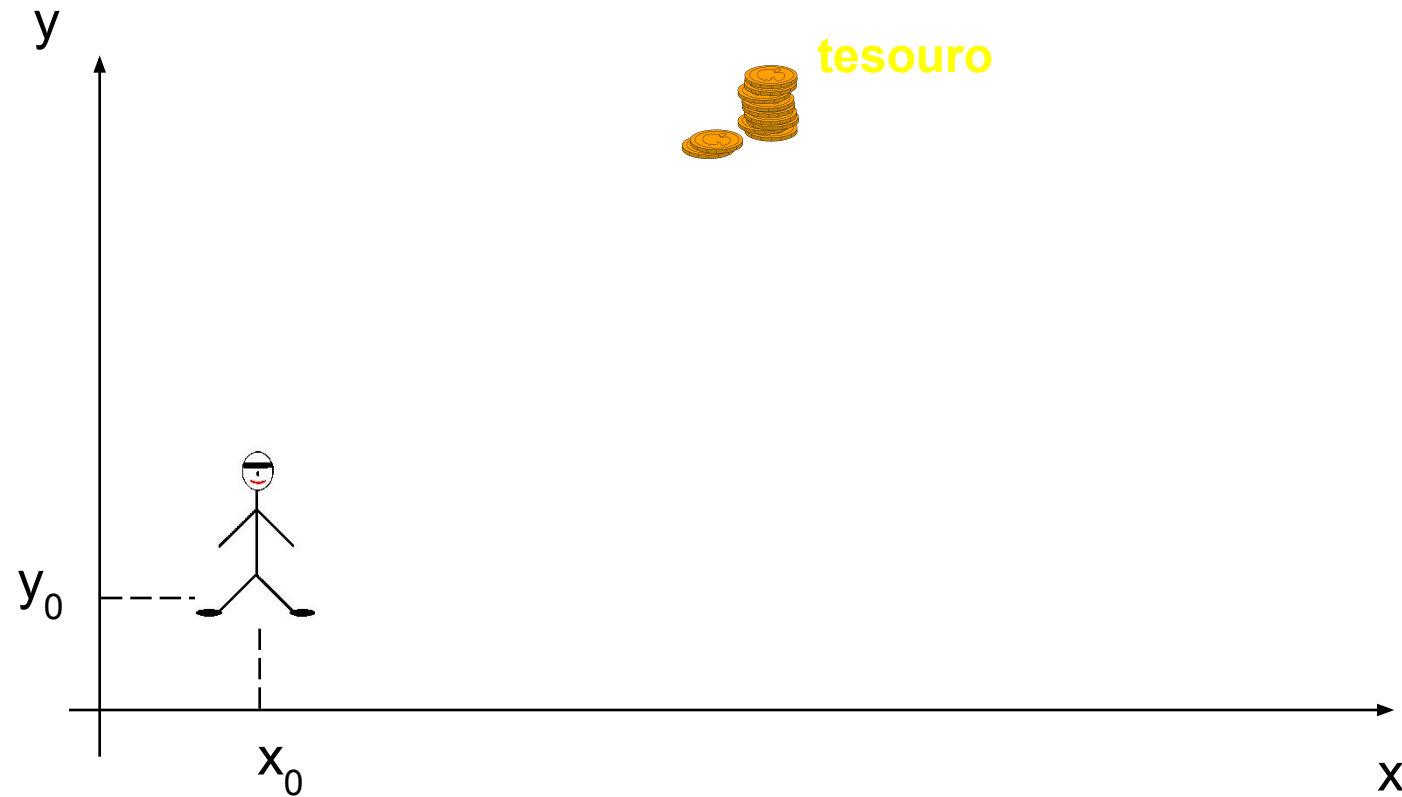
Representação

Busca de objetivo escondido em uma área



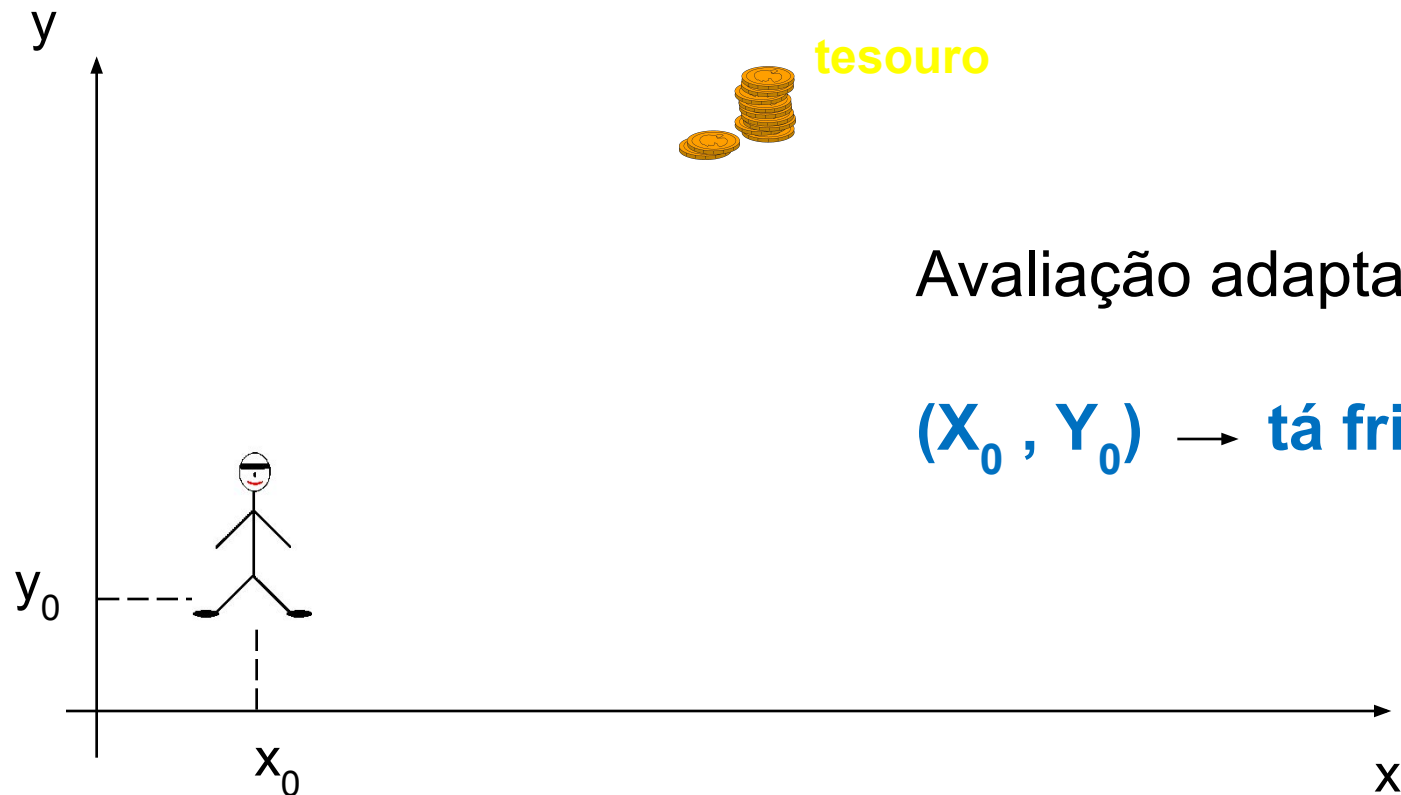
Representação

Busca de objetivo escondido em uma área



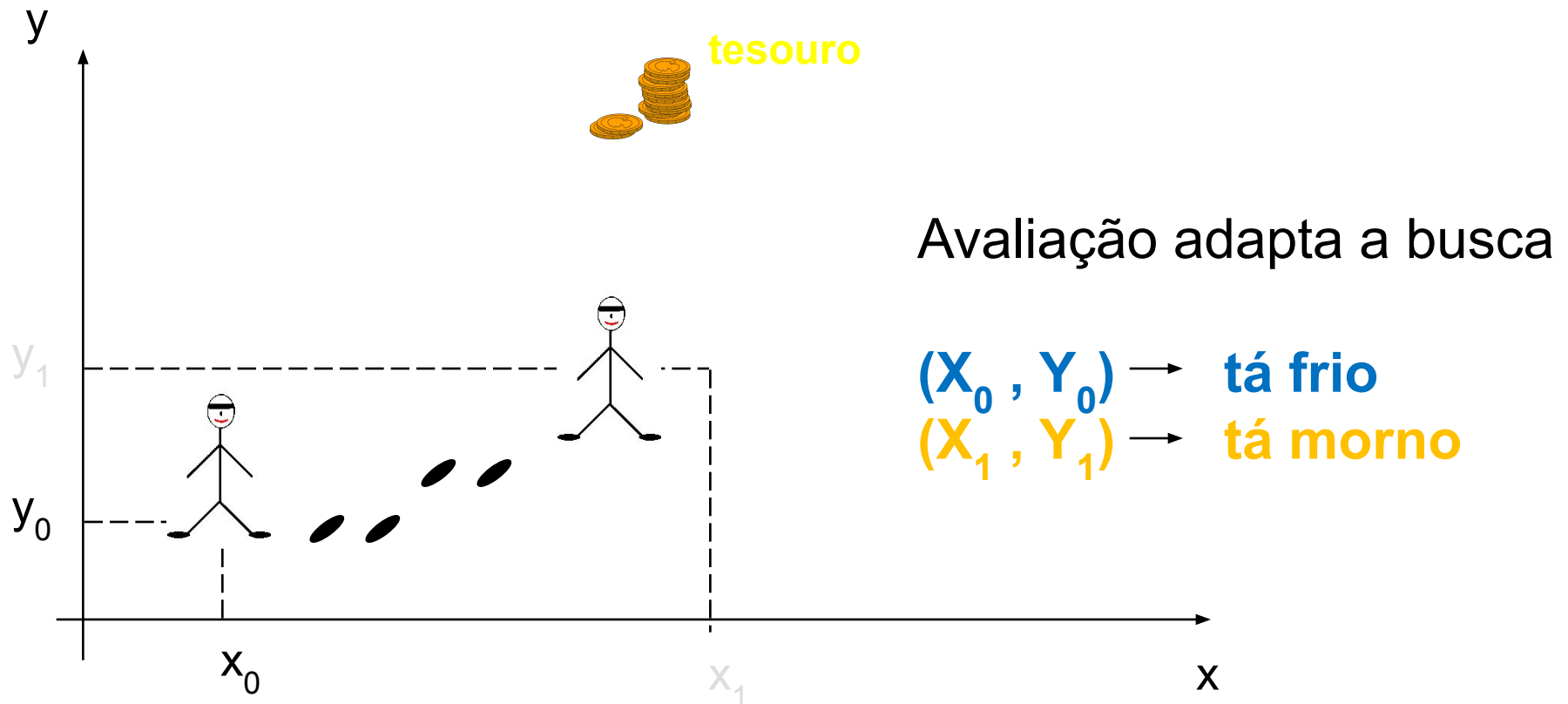
Representação

Busca de objetivo escondido em uma área



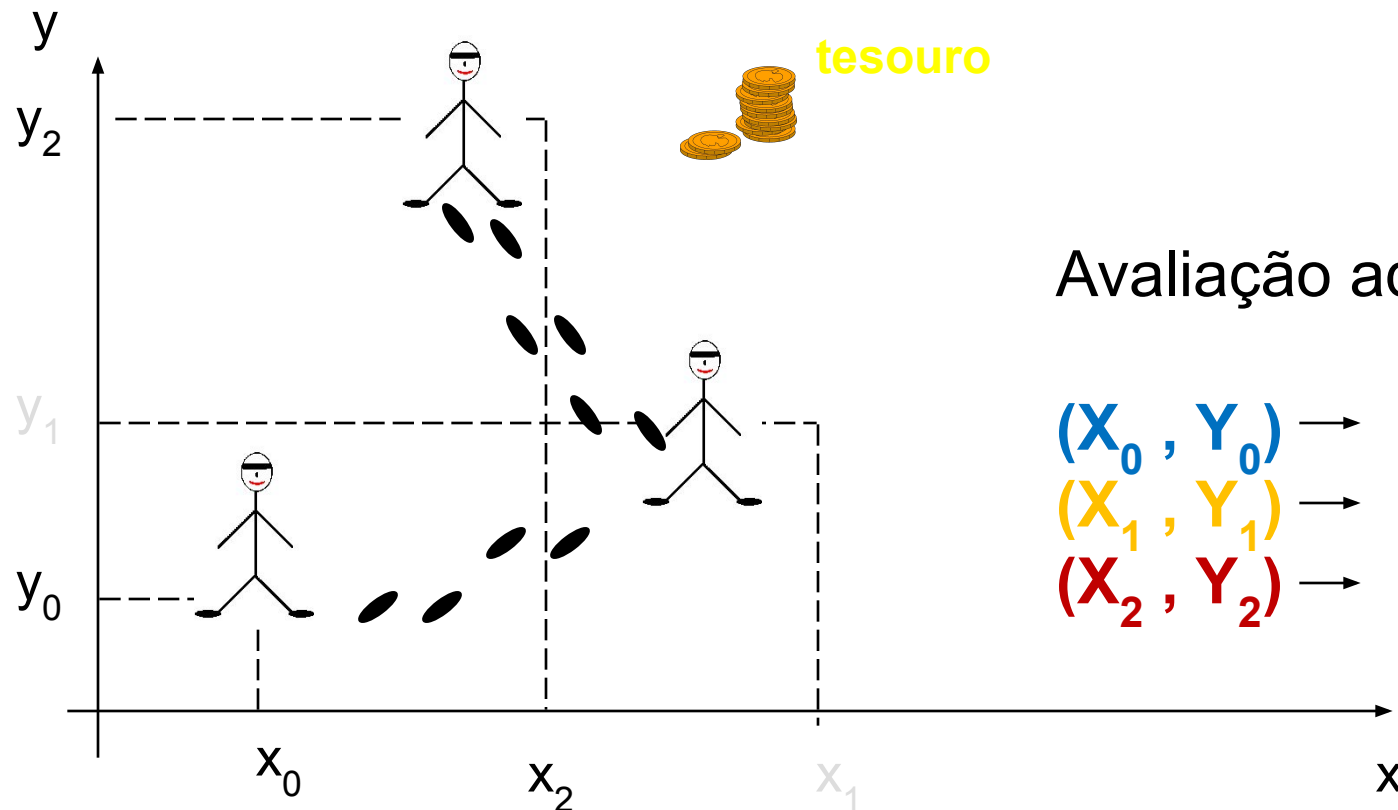
Representação

Busca de objetivo escondido em uma área



Exemplo – Cabra Cega

Busca de objetivo escondido em uma área

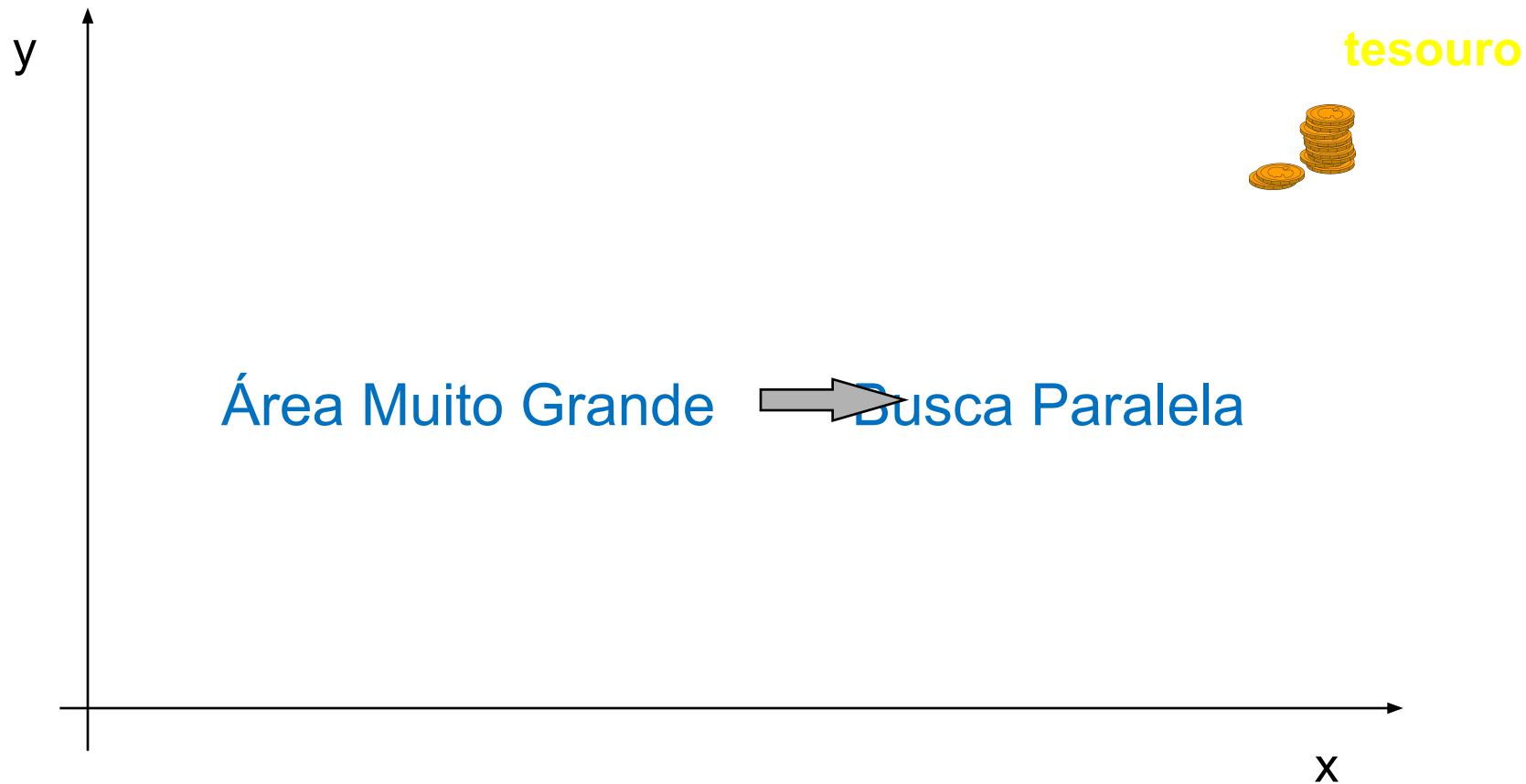


Avaliação adapta a busca

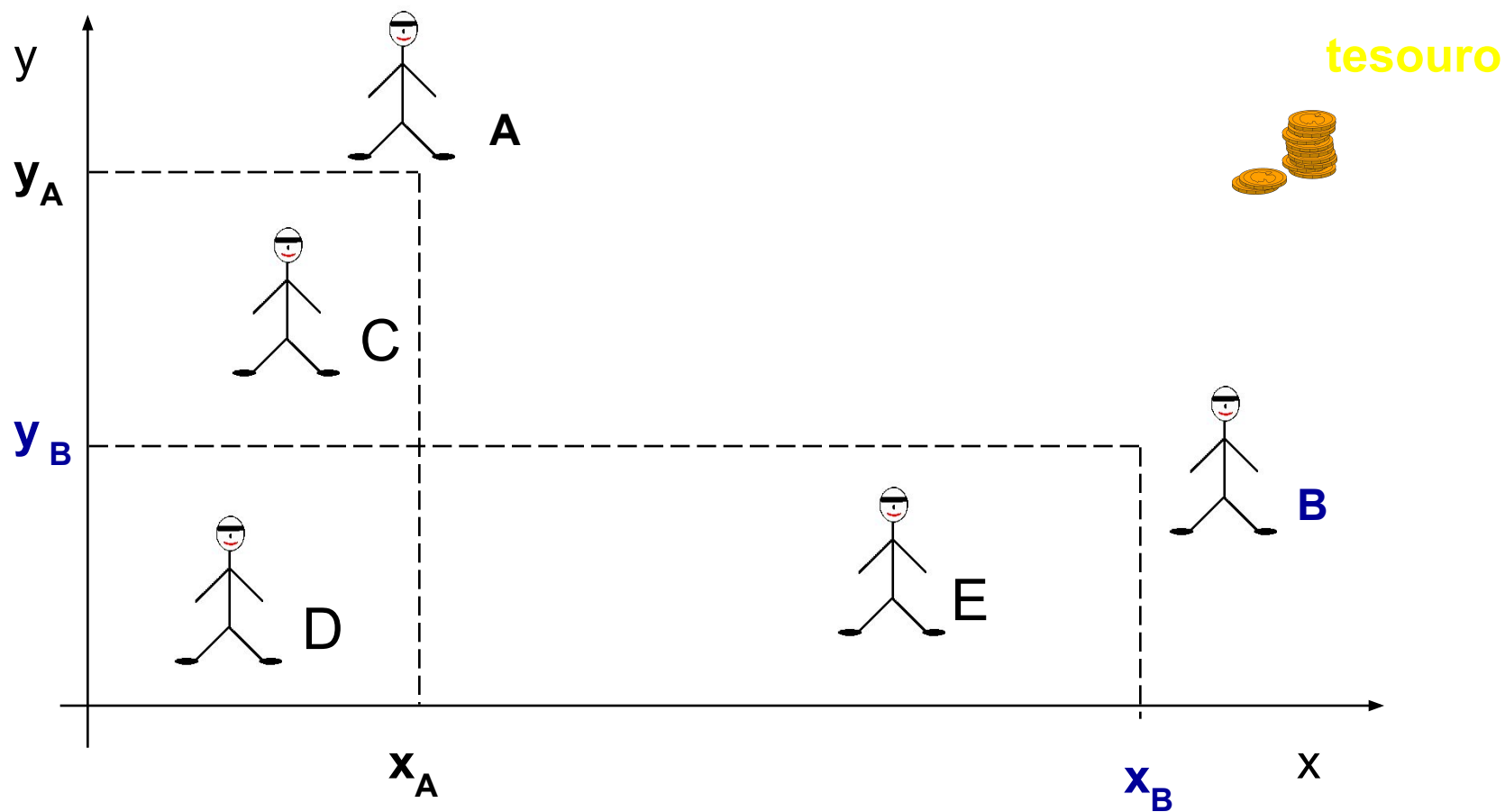
$(X_0, Y_0) \rightarrow$ tá frio
 $(X_1, Y_1) \rightarrow$ tá morno
 $(X_2, Y_2) \rightarrow$ tá quente!

Representação

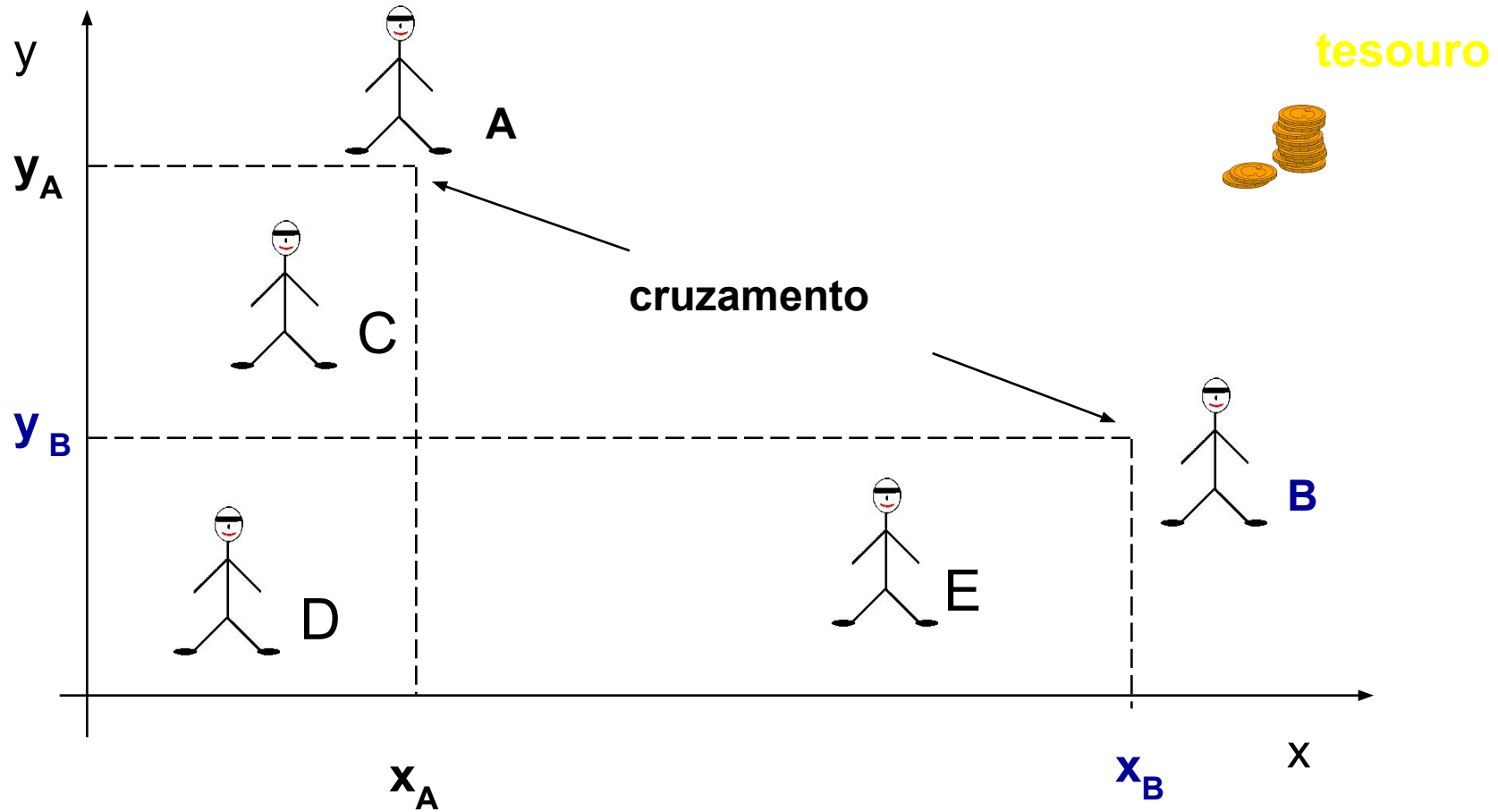
Busca de objetivo escondido em uma área



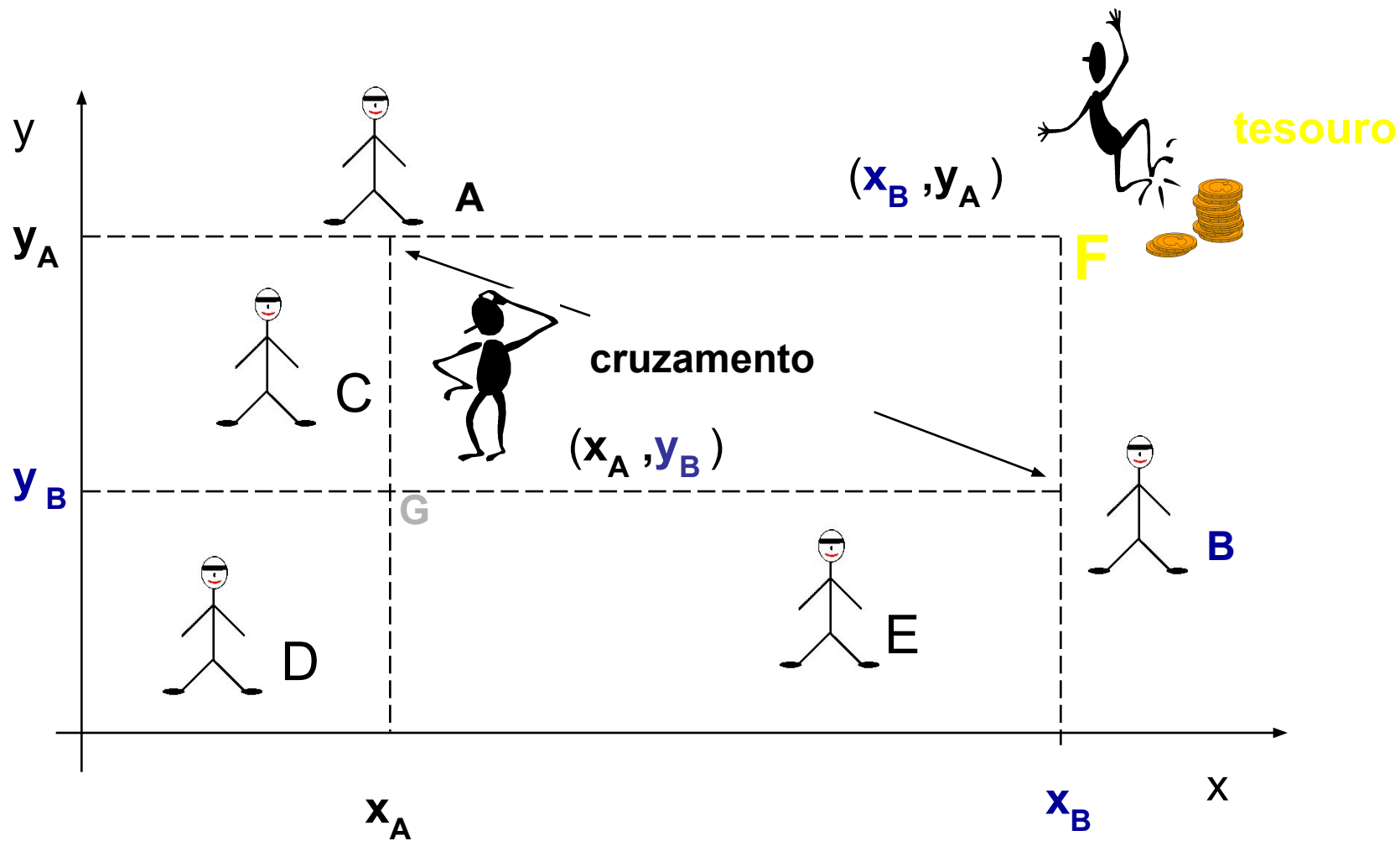
Representação



Representação



Representação



Operações

- **Seleção:** privilegia os indivíduos mais aptos

Operações

- **Seleção:** privilegia os indivíduos mais aptos
- **Reprodução:** indivíduos (ex: palavras binárias) são reproduzidos com base na aptidão

Operações

- **Seleção:** privilegia os indivíduos mais aptos
- **Reprodução:** indivíduos (ex: palavras binárias) são reproduzidos com base na aptidão
- **Cruzamento:** troca de genes (pedaços de palavras)

Operações

- **Seleção:** privilegia os indivíduos mais aptos
- **Reprodução:** indivíduos (ex: palavras binárias) são reproduzidos com base na aptidão
- **Cruzamento:** troca de genes (pedaços de palavras)
- **Mutação:** troca aleatória de um gene (bit da palavra)

Exemplo

Problema:

- Achar o valor máximo para $f(x) = x^2$, x no limite de 0 a 63.

Exemplo

Problema:

- Achar o valor máximo para $f(x) = x^2$, x no limite de 0 a 63.

Representação da Solução:

- Palavras binárias representando sucessivas potências de 2.
- 011100 \Rightarrow Representa 28
- 110101 \Rightarrow Representa 53 (uma solução mais apta)

Seleção

- **População**

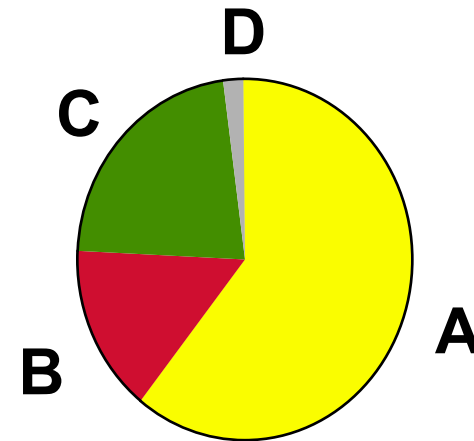
Cromossoma	Palavra	X	Aptidão (x^2)
A	100100	36	1296
B	010010	18	324
C	010110	22	484
D	000001	1	1

Seleção

•População

Cromossoma	Palavra	X	Aptidão (x^2)
A	100100	36	1296
B	010010	18	324
C	010110	22	484
D	000001	1	1

Probabilidade
de Seleção \approx Aptidão do
Cromossoma



Operadores Genéticos

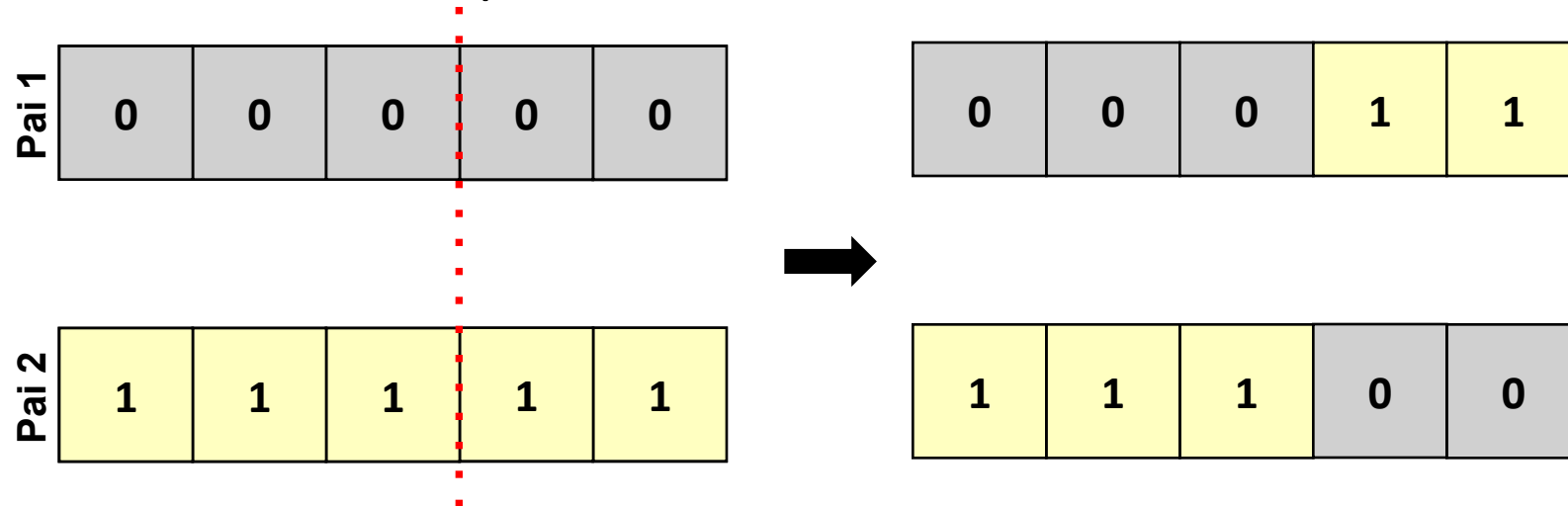
- Os operadores genéticos tem a função de modificar os indivíduos e consequentemente gerar novos indivíduos;
- Para isso são utilizados dois tipos de operadores distintos:
 - cruzamento
 - mutação

Operadores Genéticos

- Cruzamento
 - consiste em recombinar o material genético de dois indivíduos a fim de criar dois novos indivíduos;
 - esse operador tem a função de extrair genes de diferentes indivíduos, e recombina-los para formar novos indivíduos.

Operadores Genéticos

- Cruzamento – 1 ponto de corte



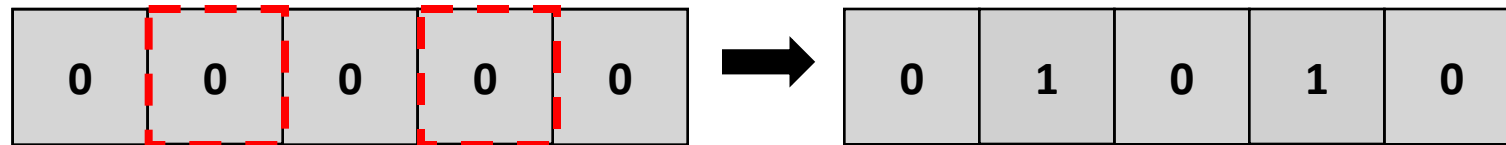
- Existem outros operadores de cruzamento, como por exemplo, de 2 pontos de cortes, uniforme, baseado em maioria, etc.

Operadores Genéticos

- Mutação
 - introduz diversidade em uma população, ou seja, é responsável pela variação dos indivíduos;
 - consiste em aplicar modificações aleatórias em uma ou mais características de um indivíduo para criar um novo.

Operadores Genéticos

- Mutação



Operadores Genéticos

Utilizando os operadores genéticos de cruzamento e de mutação, os Algoritmos Genéticos conseguem um equilíbrio entre:

- a capacidade de exploração do espaço de soluções; e
- o aproveitamento das melhores soluções ao longo da evolução;

Com isso, se mostram interessantes para a resolução de problemas complexos de otimização.

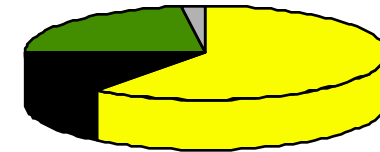
Ciclo de otimização do Algoritmo Genético

Cromossoma	Palavra	Aptidão
A	100100	1296
B	010010	324
C	010110	484
D	000001	1

Ciclo de otimização do Algoritmo Genético

Cromossoma	Palavra	Aptidão
A	100100	1296
B	010010	324
C	010110	484
D	000001	1

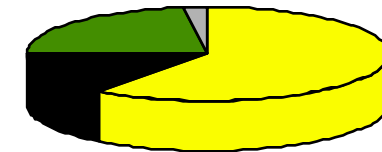
Pais



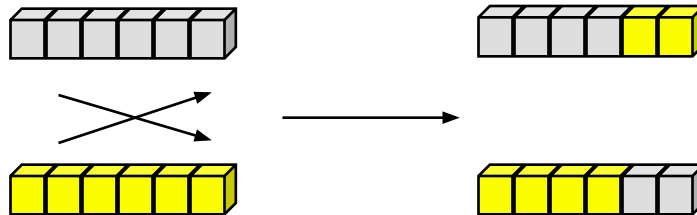
Ciclo de otimização do Algoritmo Genético

Cromossoma	Palavra	Aptidão
A	100100	1296
B	010010	324
C	010110	484
D	000001	1

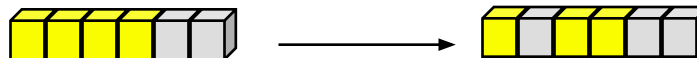
Pais



Crossover



Mutação



Reprodução

Ciclo de otimização do Algoritmo Genético

**Avaliação
dos Filhos**

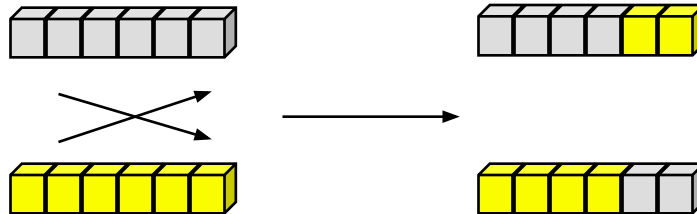
f()

Filhos

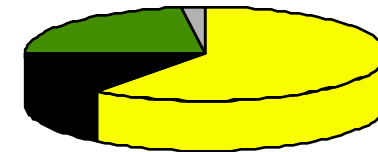
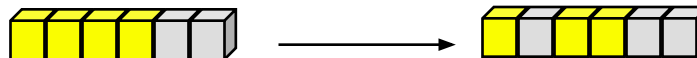
Cromossoma	Palavra	Aptidão
A	100100	1296
B	010010	324
C	010110	484
D	000001	1

Pais

Crossover

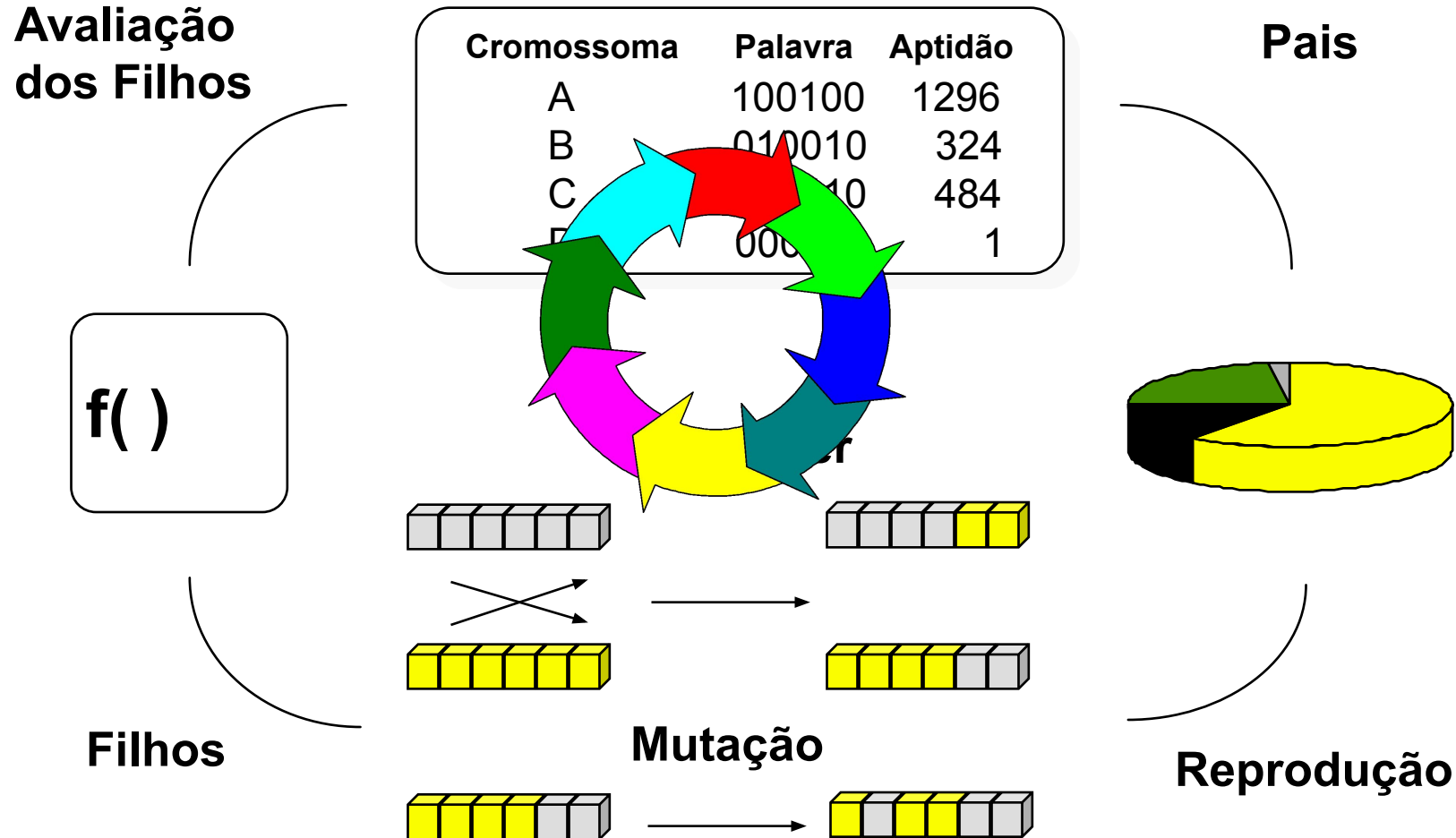


Mutação



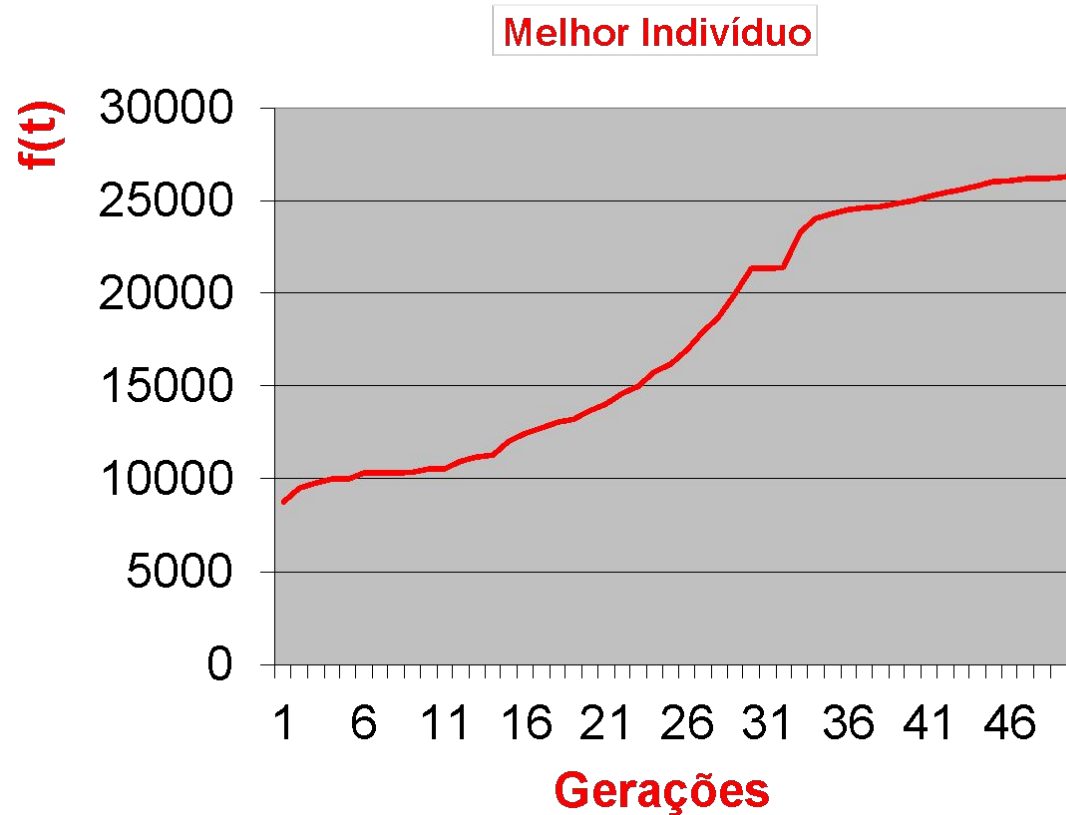
Reprodução

Ciclo de otimização do Algoritmo Genético



Ciclo de otimização do Algoritmo Genético

Evolução ☐



Ciclo de otimização do Algoritmo Genético

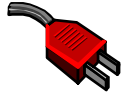
Aplicado em problemas complexos de otimização – de difícil modelagem matemática, com variedade de regras e condições, ou com grande número de soluções a considerar.

Ciclo de otimização do Algoritmo Genético

Algoritmos Genéticos

- Técnica de busca global (evita mínimos locais)
- Otimização de problemas complexos e mal estruturados
- Dispensa formulação matemática precisa do problema
- Precisão na representação do cromossoma
- Evolução demorada em alguns problemas
- Modelagem depende do habilidade do especialista em GA

Áreas de aplicação



Energia



Finanças



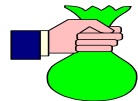
Engenharia e Telecomunicações



Medicina



Meio-Ambiente



Comércio



Indústria

Áreas de aplicação

Quais aplicações você conhece?



Hora da Atividade!!!

Otimização por Algoritmos Genéticos



Ana Carolina Abreu
Felipe Borges

prof.carolina@ica.ele.puc-rio.br

prof.felipe@ica.ele.puc-rio.br