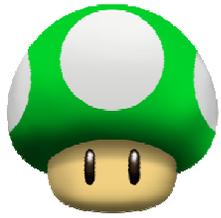


INF 1771 – Inteligência Artificial

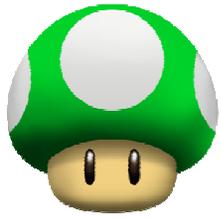
Aula 25 – Algoritmos Genéticos

Edirlei Soares de Lima
<elima@inf.puc-rio.br>



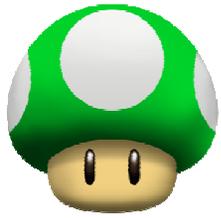
Introdução

- ❗ **Algoritmos genéticos** são bons para abordar **espaços de buscas muito grandes** e navegá-los procurando por soluções que talvez não fossem encontradas em uma busca convencional mesmo que esta durasse centenas de anos.
- ❗ Consiste em um mecanismo de busca direcionada baseado na **evolução dos seres biológicos**.
- ❗ Provêm técnicas eficazes (mas não tão eficientes) de **otimização** e de **aprendizado de máquina**.



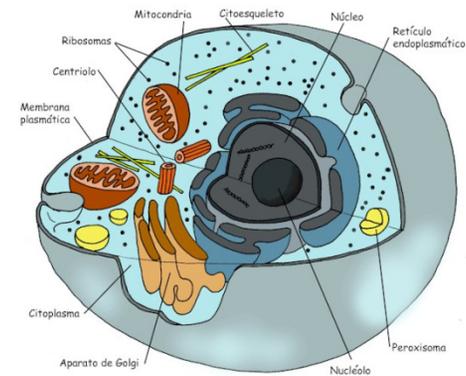
Teoria da Evolução

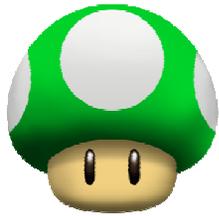
- ❏ A **teoria da evolução** diz que na natureza todos os indivíduos dentro de um ecossistema **competem** entre si por recursos limitados (comida, água...)
- ❏ Os **indivíduos mais fracos** de uma mesma espécie tentem a não se proliferarem.
- ❏ A descendência reduzida faz com que a probabilidade de ter seus **genes propagados** ao longo de sucessivas gerações seja menor.
- ❏ A combinação entre os genes dos indivíduos que sobrevivem pode produzir um novo **indivíduo muito melhor adaptado** às características de seu meio ambiente ao combinar características possivelmente positivas de cada um dos seus pais.



Introdução

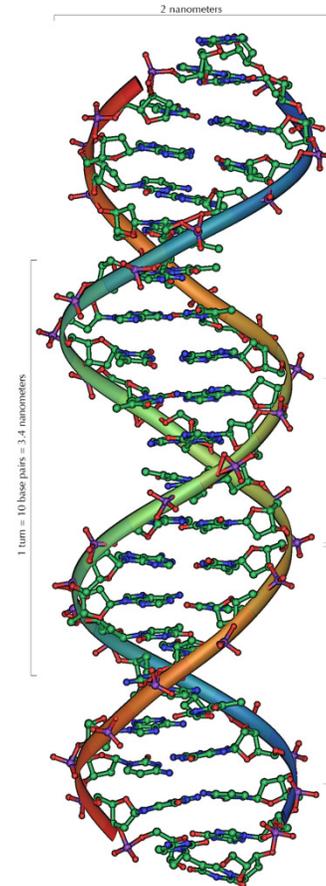
- ❏ Todo indivíduo biológico é formado por uma ou mais **células**.
- ❏ Dentro de cada célula existe um conjunto de **chromossomos**.
- ❏ Os seres humanos têm 23 pares de cromossomos por célula.
 - ❏ O número de pares varia de espécie para espécie.

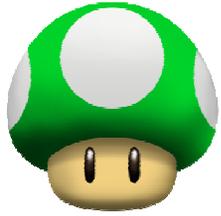




Introdução

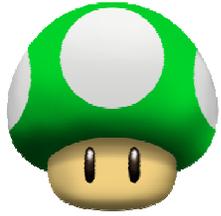
- ❏ Cada cromossomo consiste em sequências de **DNA** (molécula que codifica toda a informação necessária para o desenvolvimento e funcionamento de organismos vivos).
- ❏ Um cromossomo consiste de **genes** (blocos de sequências de DNA).
- ❏ Cada gene codifica uma ou mais proteínas.
- ❏ Cada gene tem uma posição própria no cromossomo chamada **locus**.





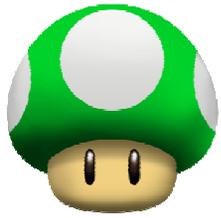
Introdução

- ❏ O conjunto completo de material genético (todos os cromossomos) é chamado de **genoma**.
- ❏ Um conjunto específico de genes no genoma é chamado de **genótipo**.
- ❏ O genótipo é a base do **fenótipo**, que é a expressão das características físicas e mentais codificadas pelos genes e modificadas pelo ambiente, tais como cor dos olhos, inteligência...
- ❏ A **qualidade do indivíduo** (fitness) é medida pelo seu sucesso (sobrevivência)



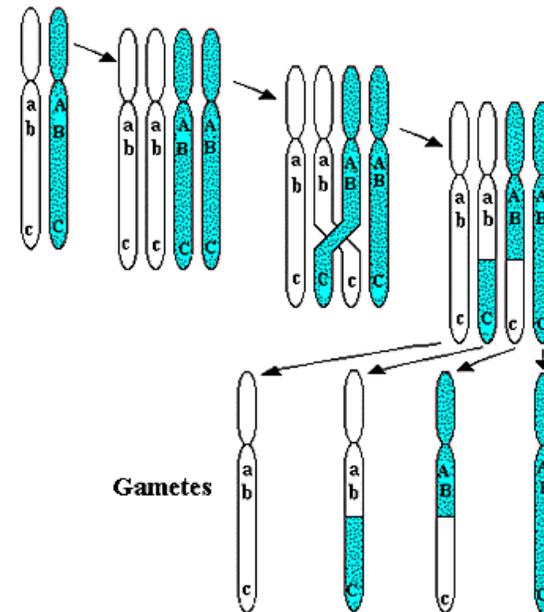
Reprodução

- ❓ Na natureza existem dois tipos de **reprodução**:
 - ❓ **Assexuada**: típica de organismos inferiores, como bactérias.
 - ❓ **Sexuada**: exige a presença de dois organismos, na maioria das vezes de sexos opostos, que trocam material genético.
- ❓ A reprodução sexuada é a base dos algoritmos genéticos.

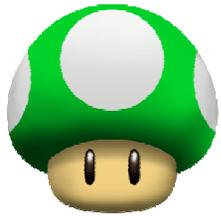


Reprodução

- ❓ Na **reprodução sexuada** ocorre a formação de um **novo indivíduo** através da combinação de duas células gametas.
- ❓ Na formação destas gametas, ocorre o processo de **recombinação genética** (crossing-over).

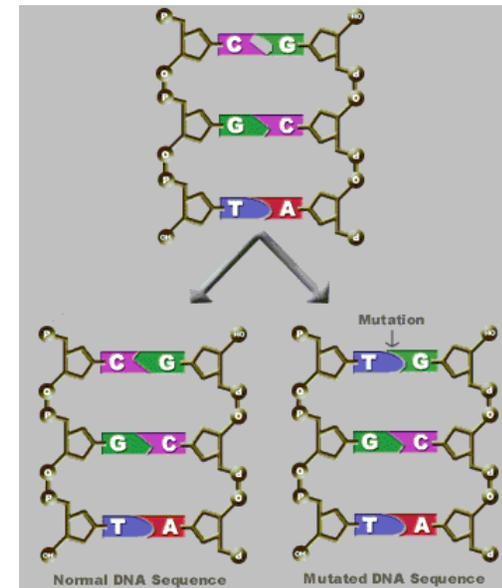


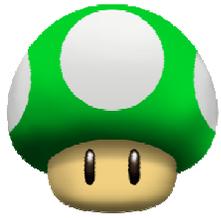
Crossing-over and recombination during meiosis



Mutação

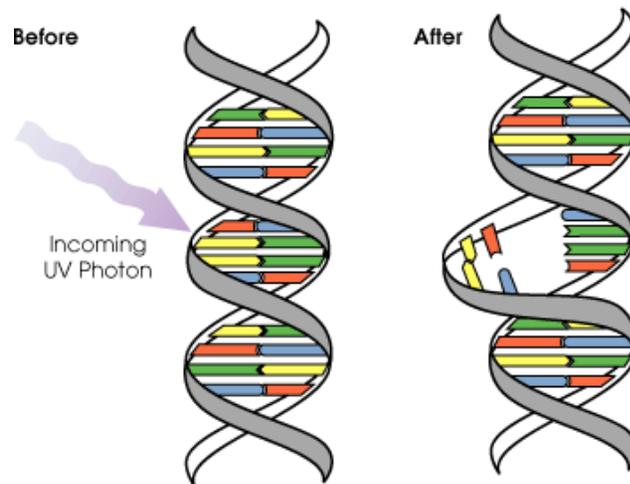
- ❗ O processo de replicação do DNA é extremamente complexo.
- ❗ Pequenos **erros** podem ocorrer ao longo do tempo, gerando **mutações** dentro do código genético.
- ❗ Estas mutações podem ser boas, ruins ou neutras.

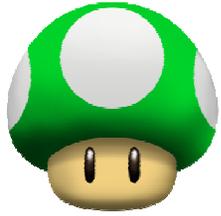




Mutação

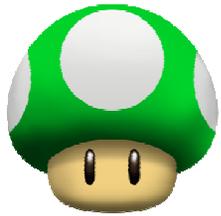
- Alguns **fatores externos**, como a radiação ultravioleta, também podem causar pequenas disrupções no código genético.





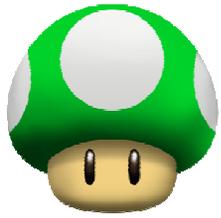
Teoria da Evolução

- ❏ Indivíduos com uma melhor adequação do seu fenótipo ao meio ambiente (**melhor fitness**) se reproduzem mais.
- ❏ Dessa forma têm mais chances de passar seus genes para a **próxima geração**.
- ❏ Entretanto, graças aos **operadores genéticos** (recombinação e mutação) os cromossomos dos filhos não são exatamente iguais aos dos pais.
- ❏ Assim, eles podem **evoluir** e se **adaptar** cada vez mais aos meio ambiente que os cerca.



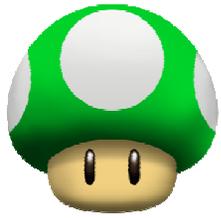
Algoritmos Evolucionários

- ❏ Os **algoritmos evolucionários**, dos quais os algoritmos genéticos fazem parte, procuram se inspirar na forma como a natureza funciona.
- ❏ Os algoritmos evolucionários funcionam mantendo uma **população de estruturas** que **evoluem** de forma semelhante à evolução das espécies.



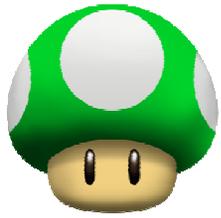
Algoritmos Evolucionários

- ❏ Nestas estruturas são aplicados **operadores genéticos**, como a **recombinação** e **mutação**.
- ❏ Cada indivíduo recebe uma **avaliação** que é uma quantificação da sua **qualidade** como solução do problema em questão
- ❏ Baseados nesta avaliação são aplicados operadores genéticos de forma a simular a **sobrevivência do mais apto**.



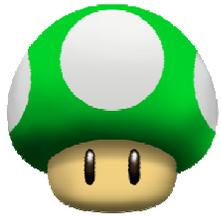
Algoritmos Evolucionários

- ❏ Algoritmos evolucionários **buscam** (dentro da atual população) aquelas **soluções** que possuem as **melhores características** e tenta combiná-las de forma a gerar soluções ainda melhores.
- ❏ O processo é repetido até que tenha se passado tempo suficiente ou que tenhamos obtido uma solução satisfatória para nosso problema.



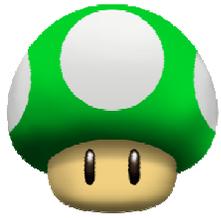
Algoritmos Evolucionários

- ❗ Algoritmos evolucionários são extremamente dependente de **fatores estocásticos** (probabilísticos), tanto na fase de **inicialização** da população quanto na fase de **evolução**.
- ❗ Isto faz com que os seus **resultados raramente sejam perfeitamente reprodutíveis**.
- ❗ Ademais, claramente os algoritmos evolucionários são **heurísticas** que não garantem a obtenção do melhor resultado possível em todas as suas execuções.



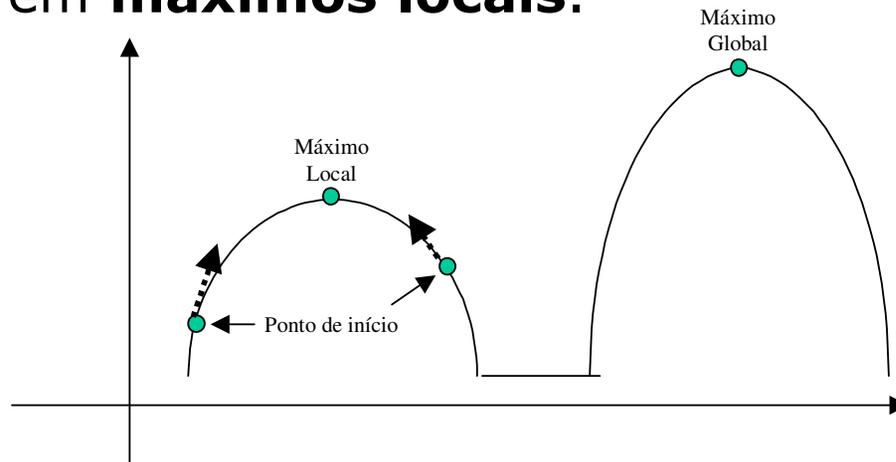
Algoritmos Evolucionários

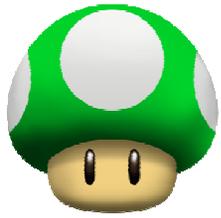
- ❗ **Conclusão:** se você tem um algoritmo com tempo de execução razoável para solução de um problema, então não há nenhuma necessidade de se usar um algoritmo evolucionário.
- ❗ **Sempre dê prioridade aos algoritmos exatos.**
- ❗ Os algoritmos evolucionários entram em cena para resolver aqueles problemas cujos algoritmos exatos são extremamente lentos ou incapazes de obter uma solução.



Algoritmos Genéticos

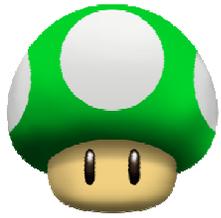
- Algoritmos Genéticos são uma sub-área dos Algoritmos Evolucionários. Logo, são uma metáfora para a evolução natural.
- Os algoritmos genéticos são técnicas heurísticas de otimização global. Com isto, raramente eles ficam presos em **máximos locais**.





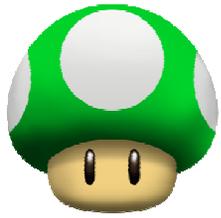
Algoritmos Genéticos

- ❏ Nos algoritmos genéticos as populações de indivíduos são criadas e submetidas a operadores genéticos.
 - ❏ Seleção.
 - ❏ Recombinação.
 - ❏ Mutação.
- ❏ Estes operadores utilizam uma caracterização da **qualidade de cada indivíduo** como solução do problema em questão chamada de avaliação do indivíduo (**fitness**).
- ❏ É gerado um processo de **evolução natural** destes indivíduos.



Algoritmos Genéticos

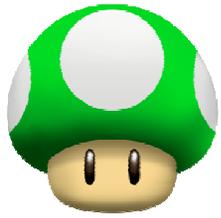
- 💡 **Definição de um problema** em algoritmos genéticos:
 - 💡 É necessário definir uma maneira de codificar os **indivíduos**.
 - 💡 Definir os **operadores genéticos** que serão utilizados.
 - 💡 Definir uma **função de avaliação** para medir a capacidade de sobrevivência de cada indivíduo.



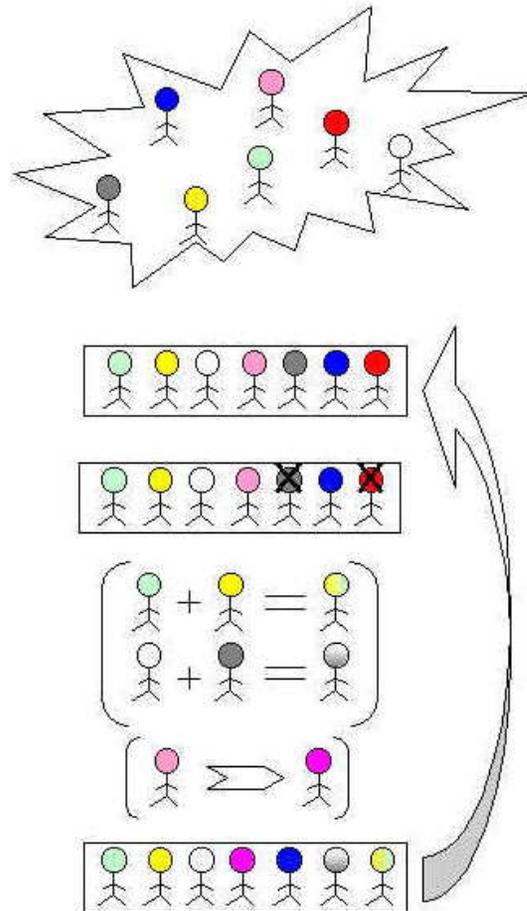
Algoritmos Genéticos

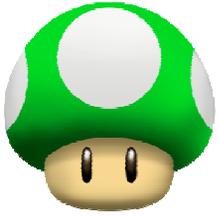
Processo:

- 1) Inicialize a população de indivíduos.
- 2) Avalie cada indivíduos na população.
- 3) Selecione os melhores pais para gerar novos indivíduos. Aplique os operadores de recombinação e mutação a estes pais de forma a gerar os indivíduos da nova geração.
- 4) Apague os velhos membros da população.
- 5) Avalie todos os novos indivíduos e insira-os na população
- 6) Se o tempo acabou, ou o melhor indivíduos satisfaz os requerimentos da solução do problema, retorne-o, caso contrário volte para o passo 3.

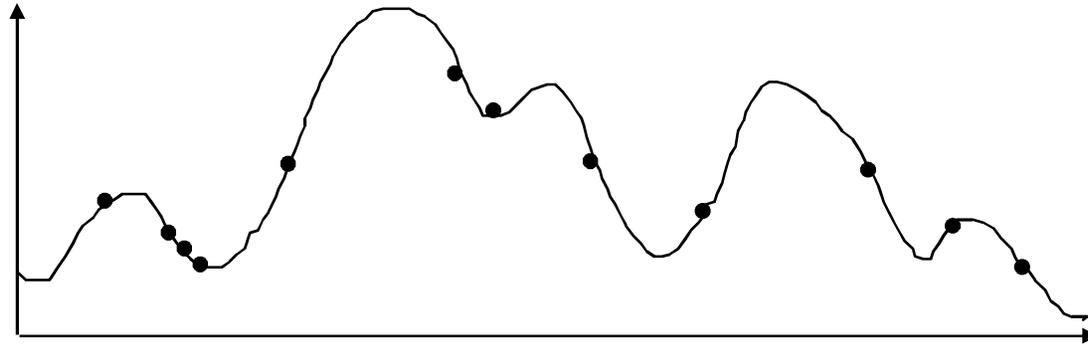


Algoritmos Genéticos

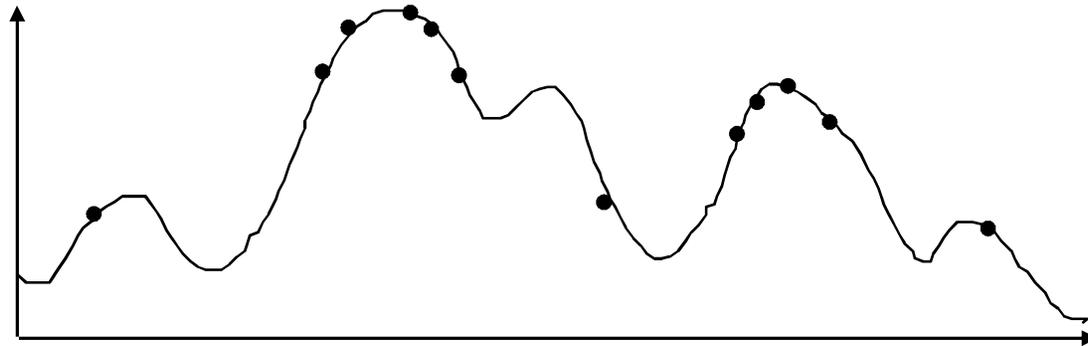




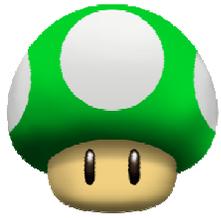
Algoritmos Genéticos



Distribuição dos indivíduos na Geração 0

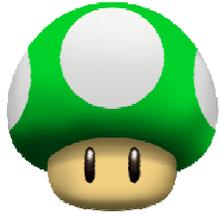


Distribuição dos indivíduos na Geração N



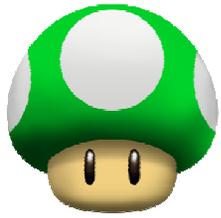
Algoritmos Genéticos

- 💡 Para criar um algoritmo genéticos é necessário:
 - 💡 Definir uma maneira de codificar a **população de indivíduos**.
 - 💡 Definir uma **função de avaliação**.
 - 💡 Definir um método de **seleção dos pais**.
 - 💡 Definir os **operadores genéticos**:
 - 💡 Recombinação.
 - 💡 Mutação.



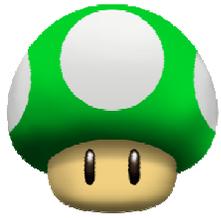
Codificação da População

- ❏ A **representação dos cromossomos** é fundamental para o codificação do algoritmo genético.
- ❏ Consiste em uma maneira de traduzir a informação do problema em uma maneira viável de ser tratada pelo computador.
- ❏ Cada pedaço indivisível desta representação é chamado de um **gene**, por analogia aos genes que compõem um cromossomo biológico.



Codificação da População

- ❏ É importante notar que a representação computacional dos cromossomos é **completamente arbitrária.**
- ❏ **Cromossomos podem ser:**
 - ❏ Strings de bits (0101 ... 1100)
 - ❏ Números reais (43.2 -33.1 ... 0.0 89.2)
 - ❏ Listas de regras (R1 R2 R3 ... R22 R23)
 - ❏ Qualquer estrutura de dados imaginável!



Exemplo – População

- ❏ **Objetivo:** Encontrar o máximo da função $f(x)=x^2$ no intervalo $[0,31]$.
- ❏ Os indivíduos da população precisam armazenar o valor de uma **variável inteira**.
- ❏ Podemos **codificar cada indivíduo da população** como uma sequência de **5 bits**.

❏

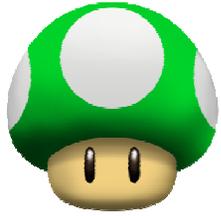
1	0	1	0	0
---	---	---	---	---

 $x=20$

❏

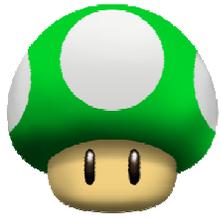
0	0	0	1	1
---	---	---	---	---

 $x=3$



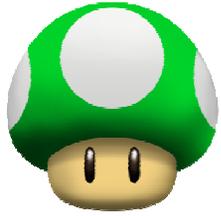
Função de Avaliação

- ❏ A **função de avaliação** é a maneira utilizada pelos algoritmos genéticos para determinar a **qualidade de um indivíduo** como solução do problema em questão.
- ❏ **A função de avaliação deve ser escolhida cuidadosamente.** Ela deve embutir todo o conhecimento que se possui sobre o problema a ser resolvido.



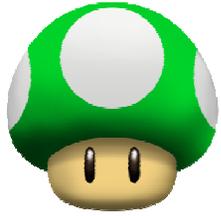
Exemplo – Função de Avaliação

- ❏ **Objetivo:** Encontrar o máximo da função $f(x)=x^2$ no intervalo $[0,31]$.
- ❏ A função de avaliação para este caso consiste simplesmente em converter o número de binário para inteiro e depois elevá-lo ao quadrado.
- ❏ Indivíduos que tiverem maiores valores na função de avaliação são os mais aptos.



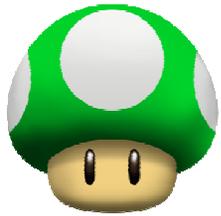
Seleção dos Pais

- ❏ O método de **seleção de pais** deve tentar simular o **mecanismo de seleção natural** que atua sobre as espécies biológicas.
 - ❏ Os pais mais capazes geram mais filhos, mas os menos aptos também podem gerar descendentes.
- ❏ Temos que privilegiar os indivíduos com função de avaliação alta, sem desprezar completamente aqueles indivíduos com função de avaliação extremamente baixa.
- ❏ Isto ocorre pois até indivíduos com péssima avaliação podem ter características genéticas que sejam favoráveis à criação de um "**super indivíduo**".



Seleção dos Pais

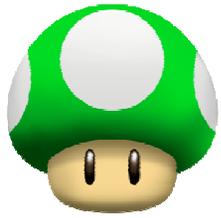
- ❏ Método mais comum de seleção de pais:
Roleta.
- ❏ Cria-se uma roleta (virtual) na qual cada cromossomo recebe um pedaço proporcional à sua avaliação.
- ❏ Roda-se a roleta para sortear os indivíduos que serão pais de um novo indivíduo.



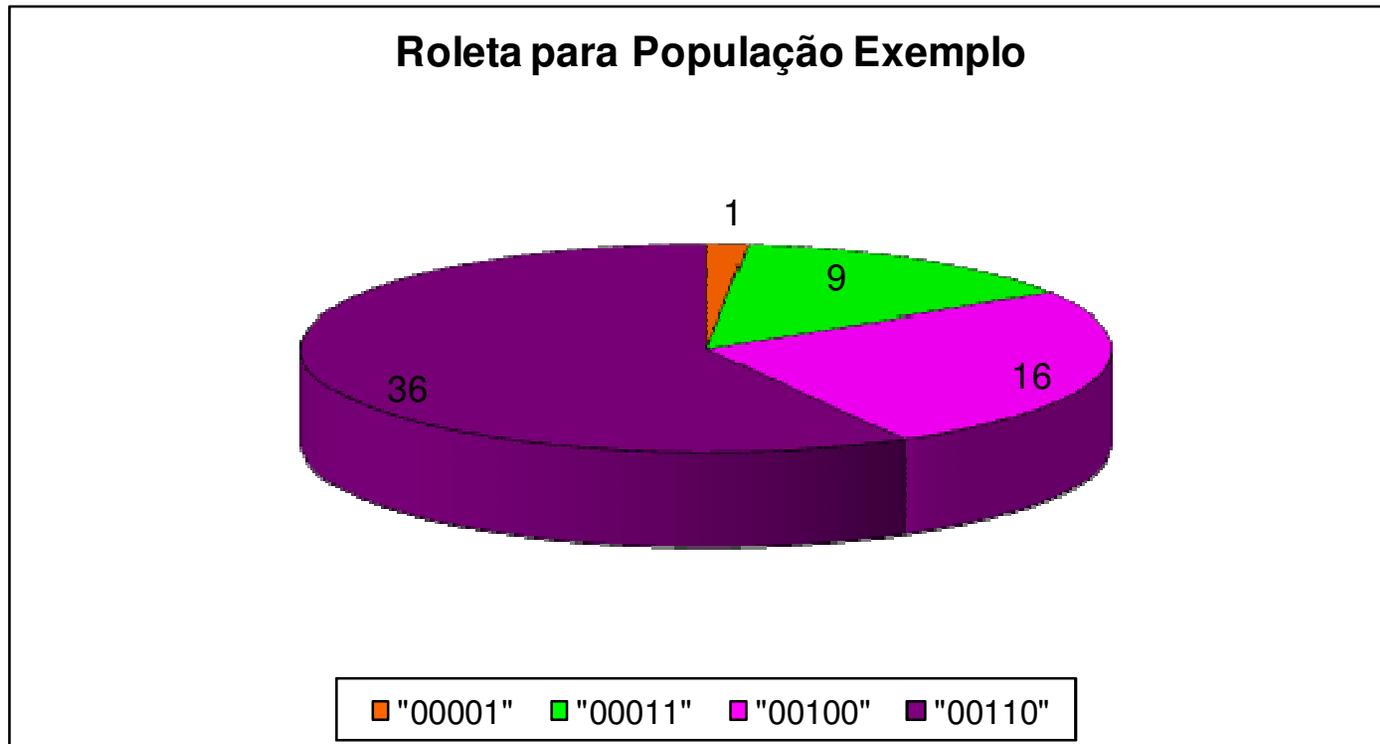
Exemplo – Seleção dos Pais

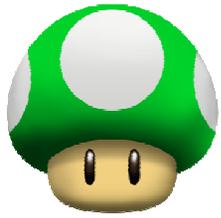
- ❏ Considerando a seguinte população gerada aleatoriamente para o problema de maximização de $f(x)=x^2$ no intervalo $[0,31]$

Indivíduo	Avaliação	Pedaço da roleta (%)	Pedaço da roleta (°)
00001	1	1.61	5.8
00011	9	14.51	52.2
00100	16	25.81	92.9
00110	36	58.07	209.1
Total	62	100.00	360.0



Exemplo – Seleção dos Pais





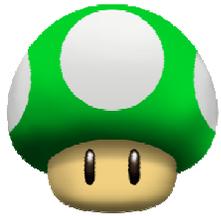
Operadores Genéticos – Recombinação

- ❏ Operador de recombinação (crossover) de **um ponto**.

- ❏ O processo consiste em:
 - ❏ **(1)** Seleciona-se dois pais através processo de seleção de pais.

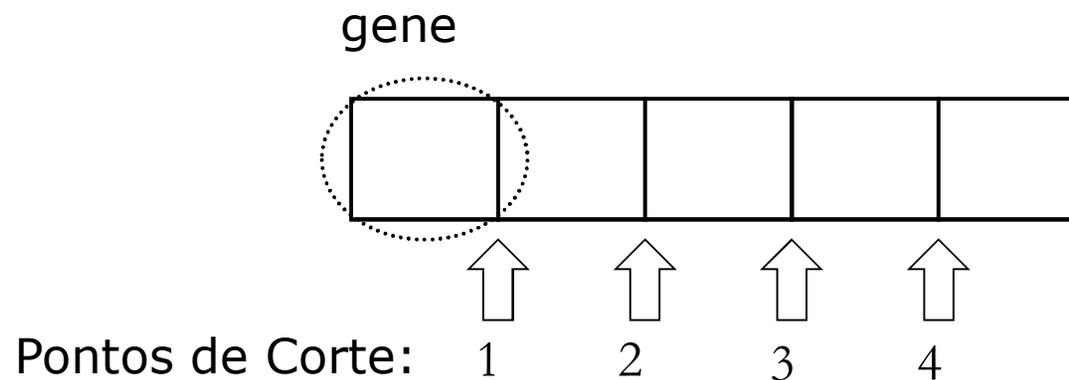
 - ❏ **(2)** Um ponto de corte (uma posição entre dois genes de um cromossomo) é selecionado. Este ponto de corte é o ponto de separação entre cada um dos genes que compõem o material genético de cada pai.

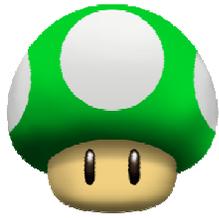
 - ❏ **(3)** A metade à esquerda do ponto de corte vai para um filho e a metade à direita vai para outro.



Recombinação – Ponto de Corte

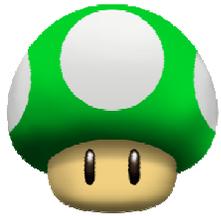
- ▣ Cada indivíduo com n genes possui $n-1$ pontos de corte.
- ▣ Em um indivíduo com codificação binária, cada bit é um gene.





Operadores Genéticos – Mutação

- ❏ Depois de compostos os filhos, entra em ação o operador de **mutação**.
- ❏ O operador atua com base em uma **probabilidade** extremamente baixa (da ordem de 5%) de **alteração aleatória** do valor de um gene ou mais genes dos filhos.
- ❏ O valor da probabilidade que decide se o operador de mutação será ou não aplicado é um dos parâmetros do algoritmo genético que pode alterar o resultado alcançado pelo algoritmo.



Exemplo - Mutação

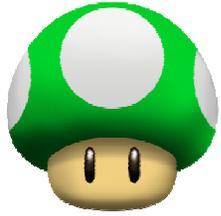
- ❏ Altere-se cada gene de forma independente com base em uma probabilidade p_m
- ❏ p_m é denominada taxa de mutação e costuma ser bem baixa.

parent

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

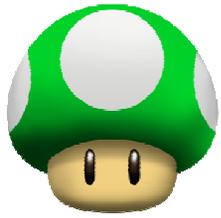
child

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



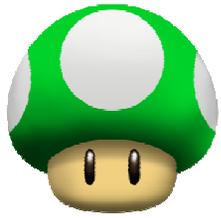
Outras Técnicas

- 💡 Interpolação de operadores.
- 💡 Recombinação de mais pontos.
- 💡 Recombinação uniforme.
- 💡 Elitismo.



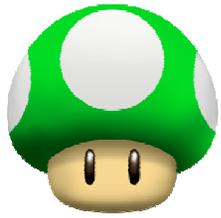
Operadores Genéticos

- ❏ É possível aumentar ou diminuir a **incidência de cada um dos operadores** sobre a população e assim ter mais controle sobre o desenvolvimento dos cromossomos.
- ❏ Cada operador pode receber uma avaliação. Normalmente o operador de recombinação recebe um fitness bem maior que o operador de mutação.

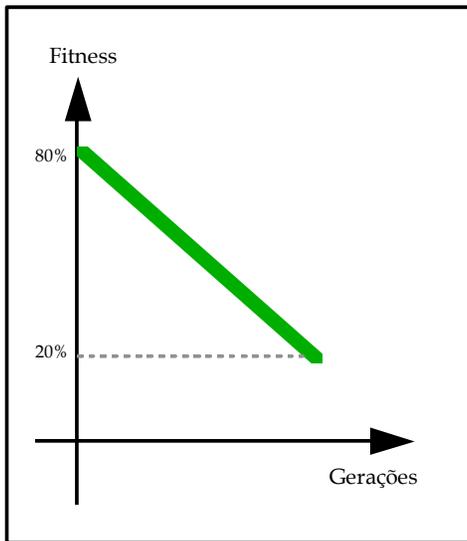


Operadores Genéticos

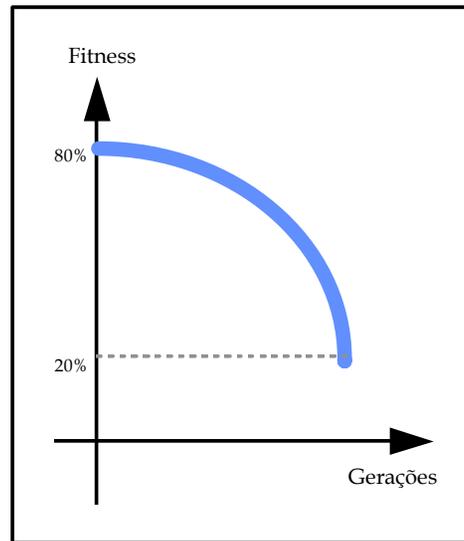
- ❏ **As porcentagem de aplicação de cada operador não precisa ser fixa.**
- ❏ No **início** queremos executar **muita reprodução e pouca mutação**, visto que há muita diversidade genética e queremos explorar o máximo possível nosso espaço de soluções.
- ❏ Depois de um grande número de gerações, há pouca diversidade genética na população e seria extremamente interessante que o operador de mutação fosse escolhido mais frequentemente.



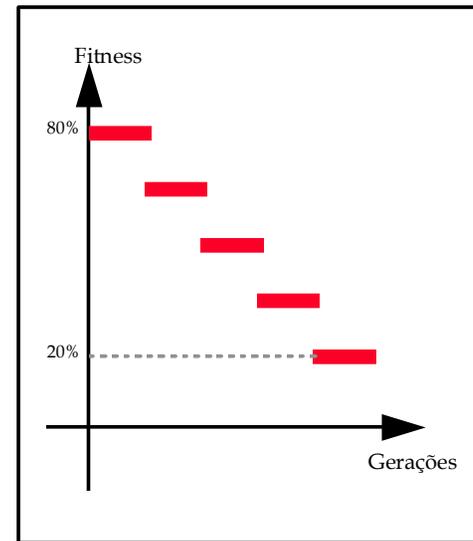
Interpolando Operadores



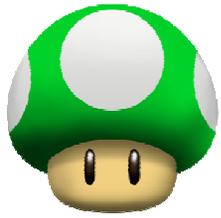
Linear



Quadrática

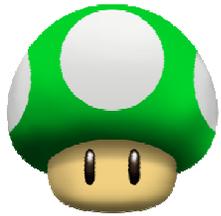


Descontínua



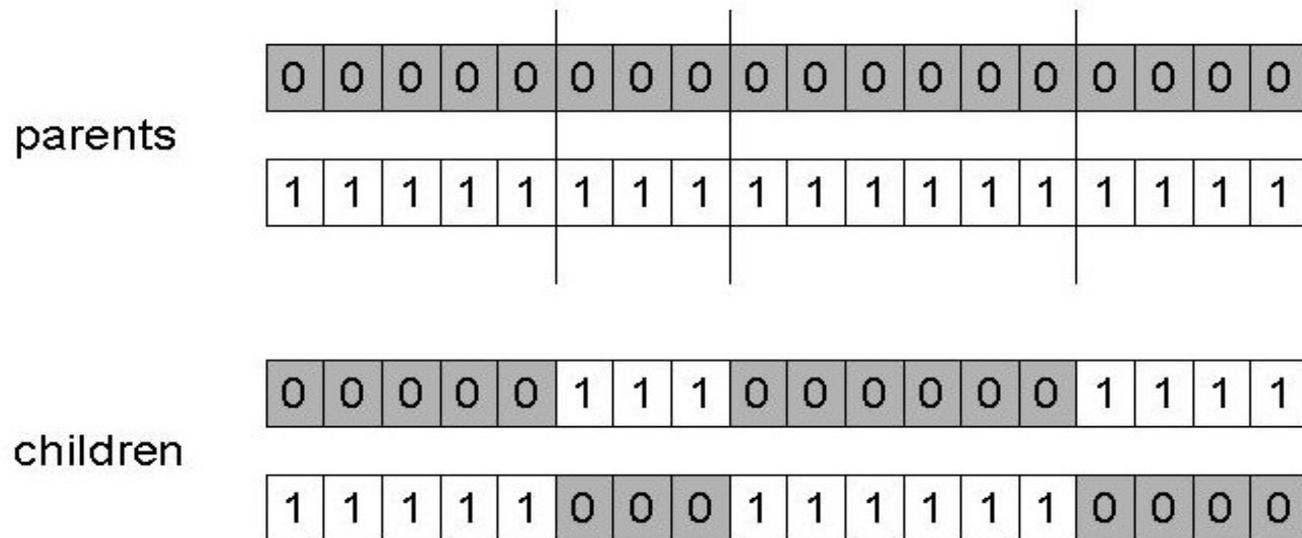
Recombinação de Dois Pontos

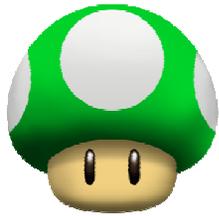
- ❏ Existem indivíduos que não podem ser gerados com a recombinação de somente um ponto. Exemplo:
1*****1.
- ❏ Conseqüentemente, se não mudarmos o operador de recombinação, o algoritmo genético fica limitado na sua capacidade de gerar um certo conjunto de cromossomos.
- ❏ Para melhorar essa capacidade é possível introduzir a recombinação de 2 pontos.
- ❏ Nele, em vez de sortearmos um só ponto de corte, sorteamos dois.



Recombinação de n Pontos

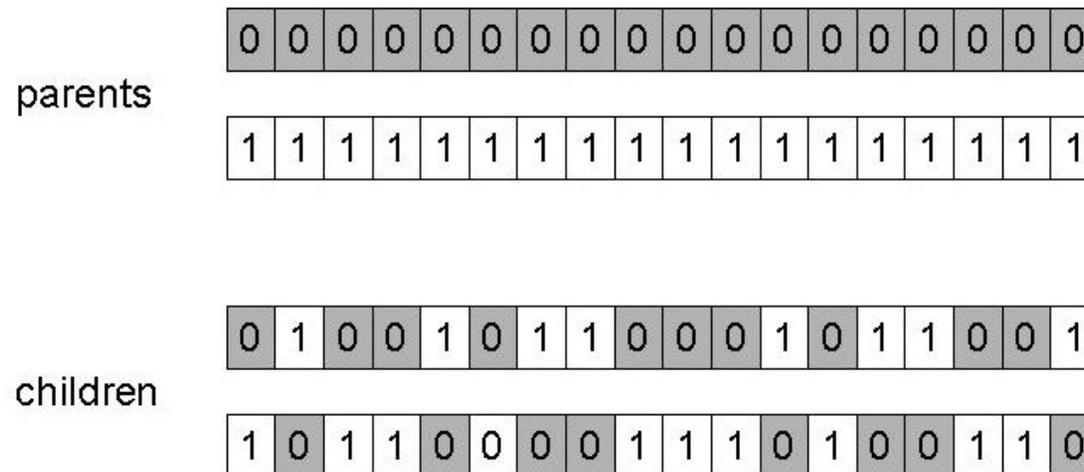
- ❏ Evoluindo a idéia da recombinação de dois pontos, é possível tonar o operador uma recombinação de n pontos.

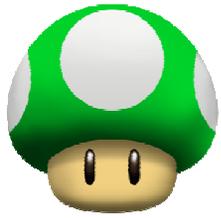




Recombinação Uniforme

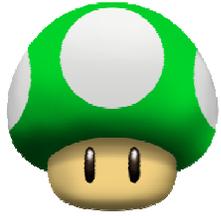
- Para cada gene é sorteado um número zero ou um.
 - Se o sorteado for 1, um filho recebe o gene do primeiro pai e o segundo filho o gene do segundo pai.
 - Se o sorteado for 0, o primeiro filho recebe o gene do segundo pai e o segundo filho recebe o gene do primeiro pai.





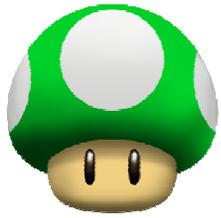
Elitismo

- ❏ A idéia básica por trás do elitismo é a seguinte:
 - ❏ Os n melhores indivíduos de cada geração não devem "morrer" junto com a sua geração, mas sim passar para a próxima geração para garantir que seus genomas sejam preservado.
- ❏ É uma forma de garantir que o algoritmo nunca regrida.



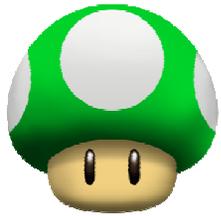
Algoritmos Genéticos – Exemplo

- ❏ **Problema do caixeiro viajante:** Deve-se encontrar o caminho mais curto para percorrer n cidades sem repetição.
- ❏ Cada indivíduo pode ser representador por uma lista ordenada de cidades, que indica a ordem em que cada uma será visitada.
- ❏ **Exemplo:** (3 5 7 2 1 6 4 8)



Algoritmos Genéticos – Exemplo

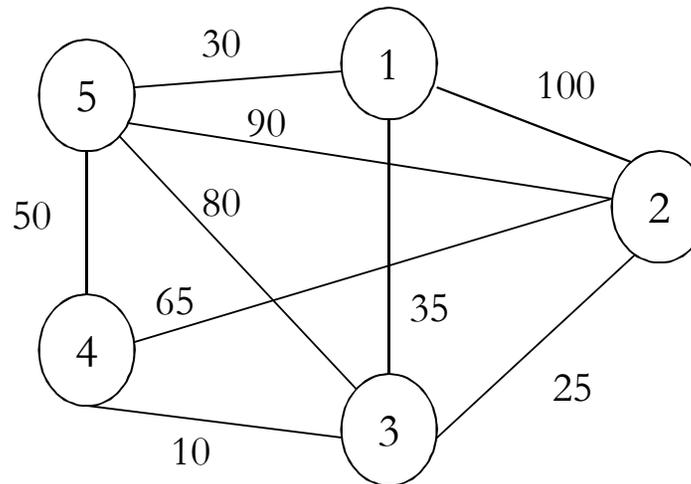
- ❏ Cada cromossomo tem que conter **todas as cidades** do percurso, **apenas uma vez**.
- ❏ **Considerando 8 cidades:**
 - ❏ **Cromossomos válidos:** (1 2 3 4 5 6 7 8), (8 7 6 5 4 3 2 1), (1 3 5 7 2 4 6 8)...
 - ❏ **Cromossomos inválidos:** (1 5 7 8 2 3 6) - Falta a cidade 4, (1 5 7 8 2 3 6 5) - Falta a cidade 4 e a cidade 5 está representada 2 vezes...



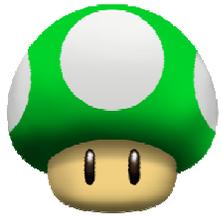
Algoritmos Genéticos – Exemplo

- ❏ A **função de avaliação** consiste em somar todas as distâncias entre cidades consecutivas.

- ❏ Exemplo:



- ❏ O cromossomo (1 3 5 4 2) tem avaliação igual a $35 + 80 + 50 + 65 = 230$



Algoritmos Genéticos – Exemplo

❏ **Recombinação (uniforme):**

❏ Pai1 (3 5 7 2 1 6 4 8)

❏ Pai2 (2 5 7 6 8 1 3 4)

❏ **1)** Gera-se uma string de bits aleatória do mesmo tamanho que os pais:

1 0 0 1 0 1 0 1

❏ **2)** Copia-se para o filho 1 os elementos do pai 1 referentes àquelas posições onde a string de bits possui um 1:

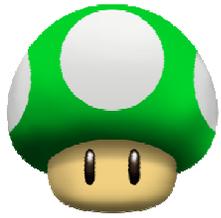
3 _ _ 2 _ 6 _ 8

❏ **3)** Elementos não copiados do pai1:

5 7 1 4

❏ **3)** Permuta-se esta lista de forma que os elementos apareçam na mesma ordem que no pai 2 e copia-se eles para dentro do Filho1:

3 5 7 2 1 6 4 8



Algoritmos Genéticos – Exemplo

❏ **Mutação:**

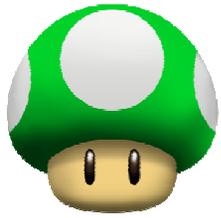
❏ Indivíduo (3 5 7 2 1 6 4 8)

❏ Escolhem-se dois elementos aleatórios dentro do cromossomo e trocam-se as suas posições:

(3 5 7 2 1 6 4 8)

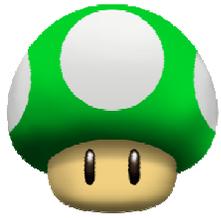
Novo indivíduo mutante:

(3 1 7 2 5 6 4 8)



Algoritmos Genéticos

- ❏ Questões importantes na definição de um problema em algoritmos genéticos:
 - ❏ Representação dos indivíduos.
 - ❏ Parâmetros do sistema (tamanho da população, taxa de mutação...).
 - ❏ Políticas de seleção e eliminação de indivíduos.
 - ❏ Operadores genéticos (recombinação e mutação)
 - ❏ Critérios de parada.
 - ❏ Função de avaliação (a mais importante e mais complicada de ser definida).



Vantagens dos Algoritmos Genéticos

- ❏ Sempre oferece uma resposta que tende a ser melhor com o tempo.
- ❏ Conforme ganhamos conhecimento sobre o problema podemos melhorar a função de avaliação.
- ❏ Usado em diversos tipos de aplicações.