

# Conceitos Básicos de Algoritmos Genéticos: Teoria e Prática

Thatiane de Oliveira Rosa<sup>1</sup>, Hellen Souza Luz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Curso de Sistemas de Informação – Centro Universitário Luterano de Palmas  
(CEULP/ULBRA)

Caixa Postal 160 – 77.054-970 – Palmas – TO – Brasil

<sup>2</sup> Curso de Ciências da Computação – Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Caixa Postal 114 – 77.001-090 – Palmas – TO – Brasil

{thatiane, hellen.luz}@gmail.com

**Resumo.** *Algoritmo Genético (AG) consiste em uma técnica de Inteligência Artificial (IA) que se fundamenta em teorias e conceitos da genética e da evolução de populações de seres vivos. A implementação de tal técnica visa possibilitar que soluções ótimas, sejam encontradas para resolver problemas, do mundo real, detectados em diversas áreas do conhecimento. Assim, este trabalho apresenta os principais fundamentos teóricos relacionados a Algoritmos Genéticos, tais como: sua definição e etapas de execução, como também um exemplo prático, onde um problema do mundo real é solucionado utilizando como base a técnica de AG.*

## 1. Introdução

Criada recentemente, a disciplina de Inteligência Artificial (IA) possui diversas frentes de estudo, ou seja, é formada por vários ramos, os quais, segundo Russell e Norvig (2004, p 4), estão relacionados aos processos de pensamento e raciocínio, à forma de comportamento, à reprodução fiel do desempenho humano e à imitação da racionalidade. Deste modo, esta disciplina oferece soluções interessantes para problemas de diversos campos, sendo de grande relevância para qualquer área que trate de atividades que dizem respeito ao intelecto. Dentre as várias áreas que se baseiam em IA, podem-se destacar o processamento de linguagem natural, detecção de diagnósticos, planejamento autônomo e escalonamento, planejamento logístico, jogos, robótica e visão computacional.

Para que seja possível implementar tais aplicações, a IA oferece uma gama variada de técnicas, das quais as mais utilizadas são Lógica Fuzzy, Redes Neurais Artificiais, Sistemas Baseados em Casos, Sistemas Especialistas e Algoritmos Genéticos.

De acordo com o contexto deste trabalho, será estudado de forma mais detalhada, a técnica de Algoritmo Genético (AG), que consiste em uma área de estudo da computação evolutiva, que utiliza como base os conceitos de comportamento adaptativo (GOLDBERG e HOLLAND, 1988 apud BITTENCOURT, 2008) formalizados por Darwin, em sua Teoria da Evolução Natural. Vale ressaltar, que a computação evolutiva é um ramo da computação natural que aplica conceitos da natureza para soluções de problemas computacionais complexos, propondo uma forma alternativa para resolução desses problemas, sem o conhecimento prévio de como chegar a uma solução.

Desta forma, pelo fato deste trabalho estudar a adoção da técnica de AG na resolução de problemas do mundo real, o próximo tópico apresenta definição e funcionamento associados ao Algoritmo Genético.

## 2. Algoritmo Genético

Algoritmo Genético é uma técnica de IA que, assim como definido por Goldberg (1989 apud TICONA, 2003, p. 46), foi criada com o intuito de imitar determinados processos observados na evolução natural das espécies. Deste modo, tal técnica fundamenta-se nas explicações oferecidas por Charles Darwin a respeito da seleção e evolução dos indivíduos na natureza, como também, em outras teorias de genética formuladas, posteriormente, por estudiosos tais como Gregor Mendel. Assim, o objetivo da técnica de AG consiste em solucionar problemas do mundo real de forma otimizada, sendo aplicável a diversas áreas.

Para compreender o funcionamento dos AGs faz-se necessário realizar uma analogia à explicação sobre a evolução das espécies. Assim, o AG trabalha da seguinte forma:

- Inicialmente é gerada uma população formada por um conjunto aleatório de indivíduos, que podem ser vistos como possíveis soluções do problema.
- Durante o processo evolutivo, esta população é avaliada, sendo que para cada indivíduo é atribuída uma nota, ou índice, que reflete sua habilidade de adaptação a determinado ambiente.
- Uma porcentagem dos indivíduos mais adaptados é mantida, enquanto os outros são descartados.
- Os membros mantidos pela seleção podem sofrer modificações em suas características fundamentais por meio de cruzamentos (*crossover*), mutações ou recombinação genética gerando descendentes para a próxima geração.
- Este processo, chamado de reprodução, é repetido até que uma solução satisfatória seja encontrada. Embora possam parecer simplistas do ponto de vista biológico, estes algoritmos são suficientemente complexos para fornecer mecanismos de busca adaptativos poderosos e robustos.

Após apresentar uma definição e explicar, de forma geral, o funcionamento dos Algoritmos Genéticos, é necessário discorrer a respeito dos vários processos executados dentro do mesmo. Sendo assim, o próximo tópico apresenta um estudo a respeito de tais processos, denominados operadores genéticos.

### 2.1. Operadores Genéticos

Os operadores genéticos têm por objetivo realizar transformações em uma população, fazendo com que, a cada nova geração, indivíduos cada vez mais capazes sejam criados, contribuindo assim para que as populações evoluam a cada nova geração. Com isto, os operadores genéticos são classificados em: inicialização, função de aptidão, seleção, cruzamento, mutação, atualização e finalização. Sendo que destes, destacam-se os de seleção, cruzamento e mutação, responsáveis por conduzirem a busca no sentido da detecção da melhor solução.

### 2.1.1 Inicialização

Um Algoritmo Genético tem início a partir da execução do operador denominado inicialização. Tal operador consiste na criação de uma população inicial, na qual os demais serão aplicados. Em geral, pode-se dar início a uma população de forma aleatória, onde os cromossomos são gerados randomicamente, de forma aleatória e com nicho, em que os cromossomos são gerados e classificados em espécies ou ainda; determinística, em que os cromossomos são gerados de acordo com uma função heurística. Normalmente este operador gera uma população de forma aleatória, objetivando aumentar sua diversidade genética garantindo, desta forma, um maior alcance do espaço de busca. Caso a inicialização da população não ocorra de forma randômica, esta poderá convergir prematuramente, isso significa que em um curto espaço de tempo a população possuirá indivíduos muito semelhantes, ou seja, com pouca diversidade genética, o que dificultará na escolha da melhor solução possível para o problema estudado.

Após a criação da população inicial, é necessário avaliar todos os cromossomos gerados. Desta forma, a próxima seção define a função a ser executada para realizar tal avaliação.

### 2.1.2 Função de Aptidão

No mundo real, a aptidão é exercida pelo meio em que o indivíduo vive. Quando acontece uma modificação no meio e determinado indivíduo não se encontra apto para sobreviver ali, ele tem menos probabilidade de se reproduzir e assim, passar os seus genes para as próximas gerações, tendendo à extinção.

Nos problemas de busca e otimização deve-se também determinar o quão bom é uma solução (indivíduo), para que se possa definir se esta contribuirá para a resolução do problema, esse trabalho é realizado pelo operador de função de aptidão. Assim, este operador confere uma nota para cada cromossomo de acordo com o problema. Sendo tal nota, posteriormente, utilizada no operador genético de seleção.

O cálculo da função de aptidão é o único elo entre o algoritmo genético e o problema proposto, é a única parte não genérica do AG e deve ser capaz de identificar todas as restrições e objetivos, ou seja, a função de aptidão deve ser específica para cada problema.

Existe uma distinção entre os termos função de avaliação e função de aptidão, onde: a função de avaliação é a responsável por fornecer uma medida de desempenho, no que diz respeito a um conjunto particular de parâmetros (LIMA, 2008, p 12), ou seja, determina a probabilidade do indivíduo transmitir os seus genes para a próxima geração.

Já a função de aptidão é definida de acordo com outros membros da atual população em um algoritmo genético (LIMA, 2008, p 13). Assim, a aptidão é definida como  $f_i/f$  onde:  $f_i$  é a avaliação associada ao indivíduo  $i$  e,  $f$  é a avaliação média de todos os indivíduos na população. A aptidão pode também ser associada à classificação de um indivíduo ou outras medidas como seleção por torneio Goldberg (1990 apud LIMA, 2008, p. 13). A função de aptidão pode ser igual à função avaliação, ou resultado do escalonamento da função avaliação, ou baseada no *ranking* do indivíduo da população, ou ainda por meio de normalização linear Goldberg (1990 apud LIMA, 2008, p. 13).

### 2.1.3 Seleção

O operador de seleção é executado logo após o cálculo da aptidão dos cromossomos gerados. Sua implementação é baseada no processo de seleção natural, onde os indivíduos mais capazes possuem maior probabilidade de gerar mais descendentes, enquanto que os menos capazes poderão ainda gerar descendentes, porém em uma escala menor. Logo, é necessário que os cromossomos que possuam um valor de aptidão maior sejam beneficiados, sem que os cromossomos com aptidão menor sejam desconsiderados. Desta forma, a seleção não deve ser baseada somente na escolha do indivíduo mais capaz, pois existe a probabilidade de um indivíduo menos capaz possuir propriedades genéticas favoráveis à geração de um cromossomo que possua a melhor solução para o problema analisado, considerando que tais propriedades favoráveis não estejam presentes nos demais cromossomos da população.

Existem várias estratégias de seleção, este trabalho apresenta três:

- **Roleta:** Nesta técnica, a seleção dos cromossomos ocorre de forma proporcional ao seu valor de aptidão, sendo que os cromossomos de uma população são representados em uma roleta, onde ocupam um espaço proporcional ao seu valor de aptidão. Deste modo, os cromossomos que possuem um alto valor de aptidão ocuparão uma maior fração da roleta, enquanto que os cromossomos com valor de aptidão inferior ocuparão menores frações (Figura 1). Para que seja possível obter o número de pares necessários para a execução dos processos de cruzamento e mutação a roleta é girada quantas vezes forem necessárias.

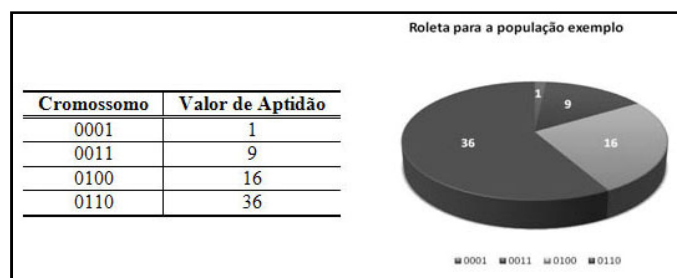


Figura 1. Esquema de funcionamento do método roleta (Modificado de LIDEN, 2006, p. 61-63).

- **Torneio:** A execução do método torneio se dá a partir da escolha de  $n$  cromossomos da população atual, de forma aleatória. Dentre tais cromossomos escolhidos, o com maior valor de aptidão é selecionado para compor uma população intermediária. Em seguida, os demais cromossomos são recolocados na população e realiza-se o mesmo processo até que a população intermediária esteja completa. A figura 2 ilustra o funcionamento de tal método.

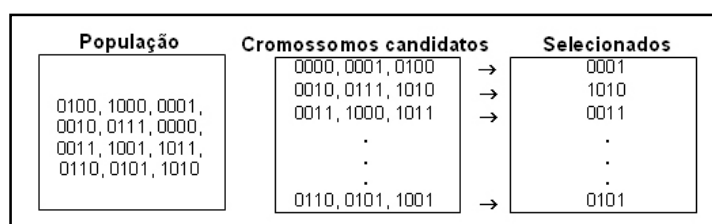


Figura 2. Esquema de funcionamento do método de torneio.

- **Dizimação:** A dizimação é uma técnica de seleção que realiza a ordenação dos cromossomos de acordo com o seu valor de aptidão e, a partir disto, remove um número fixo de cromossomos que possuem baixo valor de aptidão. Dentre os cromossomos que sobreviveram a este processo de dizimação, escolhem-se os pais de forma aleatória (Figura 3)

| Indivíduos      | Aptidão      | Selecionados |
|-----------------|--------------|--------------|
| 0100            | 26           | 0100         |
| 1000            | 15           | 1000         |
| 0010            | 12           | 0010         |
| 0111            | 10           | 0111         |
| <del>0000</del> | <del>2</del> |              |

**Figura 3. Esquema de funcionamento do método dizimação.**

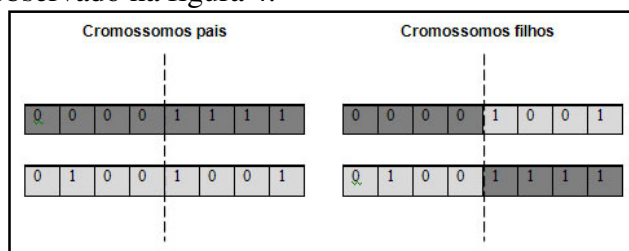
Considera-se que esta técnica possui uma grande desvantagem, pois permite que propriedades genéticas excepcionais sejam perdidas ao excluir cromossomos com baixo valor de aptidão, além de proporcionar a convergência prematura da população.

#### 2.1.4 Cruzamento

O processo de cruzamento é utilizado após a realização da seleção. Nesta fase ocorre a troca de segmentos entre “pares” de cromossomos selecionados para originar os novos indivíduos que virão a formar a população da geração seguinte. Assim, a idéia principal do cruzamento é propagar as características positivas dos indivíduos mais aptos da população por meio da troca de segmentos de informações entre os mesmos, originando novos indivíduos.

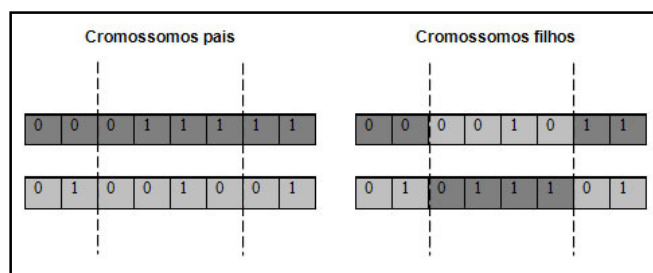
As formas mais comuns de troca de segmentos nos Algoritmos Genéticos são as de ponto único, duplo e cruzamento de pontos aleatórios.

- **Ponto único:** No método de ponto único, é escolhido um ponto de corte aleatório e a partir desse ponto o material genético dos pais é trocado dando origem a dois novos cromossomos, formados pela combinação das características genéticas dos pais, como pode ser observado na figura 4.



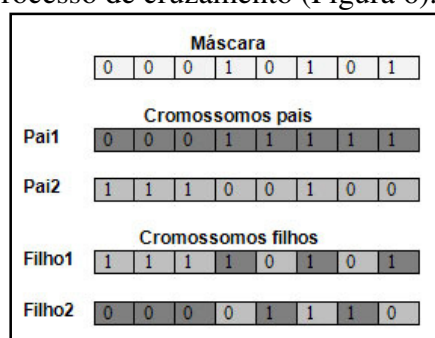
**Figura 4. Esquema de cruzamento de ponto único.**

- **Ponto duplo:** No método de ponto duplo são escolhidos dois pontos de cruzamento e a partir desses os materiais genéticos dos pais são trocados de forma intercalada, como pode ser observado na figura 5.



**Figura 5. Esquema de cruzamento de ponto duplo.**

- Pontos aleatórios: A técnica de cruzamento de pontos aleatórios utiliza como base máscaras, que consistem de cromossomos binários, onde no local em que os alelos possuem o valor 1 utiliza-se, inicialmente, o material genético de um dos pais, e onde possui o valor 0 pega-se o material do outro pai. A máscara pode ser invertida e inicia-se novamente o processo de cruzamento (Figura 6).

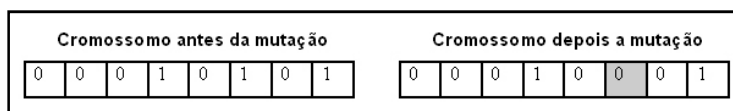


**Figura 6. Esquema de cruzamento de pontos aleatórios.**

### 2.1.5 Mutação

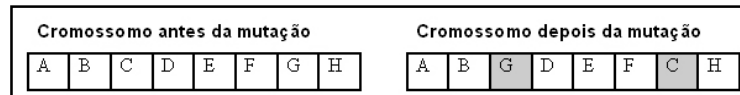
O operador de mutação é executado logo após o processo de cruzamento e tem por objetivo realizar modificações em determinadas propriedades genéticas de uma população, de forma aleatória. Tal operação mostra-se importante uma vez que possibilita à população atual obter propriedades genéticas que não existiam ou eram encontradas em baixa porcentagem. Deste modo, a execução do operador de mutação mostra-se indispensável, visto que este permite a introdução e manutenção da diversidade genética da população. Logo, com a execução do operador de mutação é possível garantir que o espaço de busca possivelmente não será igual a zero. Vale ressaltar, que a taxa de mutação, assim como na natureza, deve acometer uma pequena parcela da população, pois caso a porcentagem seja elevada, os indivíduos gerados pouco se assemelharão aos seus pais; caso contrário, a diversidade da população estará comprometida. Existem várias técnicas de mutação, dentre elas:

- Mutação aleatória: dentro de um alfabeto válido, um valor é sorteado para substituir o que sofrerá a mutação;



**Figura 7. Exemplo de mutação aleatória.**

- Mutação por troca:  $n$  pares de genes são sorteados; logo após o sorteio os pares trocam valores entre si;



**Figura 8. Exemplo de mutação por troca.**

Após o operador de mutação ser executado, o processo de geração de uma nova população foi então concluído, deste modo, a seção seguinte apresenta como se dá o processo de evolução de uma população.

### 2.1.6 Atualização

Na atualização a população antiga é substituída por uma nova população, formada pelo cruzamento dos indivíduos selecionados da população anterior. As formas mais conhecidas de atualização são (x+y) e (x,y), também chamadas de estratégia soma e estratégia vírgula. Na estratégia soma, indivíduos da população anterior convivem com a população formada por seus filhos. Essa estratégia também pode ser chamada de elitismo e geralmente uma percentagem muito pequena é selecionada para a próxima geração, pois corre-se o risco de uma convergência prematura do AG. Na estratégia vírgula a população anterior não convive com a próxima população, perdendo-se então soluções boas encontradas.

### 2.1.7 Finalização

O operador de finalização é o responsável por determinar se a execução do Algoritmo Genético (evolução de população) será concluída ou não. Tal ação é realizada a partir da execução de testes baseados em uma condição de parada pré-estabelecida. Tal condição de parada pode variar desde a quantidade gerações desenvolvidas até o grau de proximidade dos valores de aptidão de cada cromossomo, de determinada população. (LUCAS, 2000, p. 23).

## 3. Descobrimo a Frase Secreta Utilizando Algoritmo Genético

Para que seja possível compreender melhor o funcionamento e aplicação dos operadores genéticos, explicados anteriormente, este tópico apresenta a resolução de um problema do mundo real, utilizando como base um modelo simples de AG. O problema a ser resolvido consiste em fazer com que o AG descubra uma frase digitada pelo usuário, utilizando como parâmetro apenas a quantidade de caracteres que a compõe.

A partir disto, definiu-se que os indivíduos (possíveis soluções) a serem criados deveriam ser compostos pela mesma quantidade de caracteres da frase informada pelo usuário, ou seja, caso a frase seja composta por 7 (sete) caracteres, então os indivíduos gerados possuirão 7 (sete) genes. Em seguida, para que fosse possível determinar o quão aptos estão os indivíduos gerados, para solucionar o problema, definiu-se que cada um dos cromossomos deveria ser submetido à seguinte função:

$$f = \sum_{i=1}^N 1 - \text{senal}(\text{codASCfrase}[i] - \text{codASCcromo}[i]) \rightarrow \text{onde: } \text{senal}(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x = 0 \\ 0 & \text{se } x \neq 0 \end{cases}$$

**Fórmula 1. Formula da Função de aptidão (Modificado de LARCERDA, 2008, p. 36).**

Para executar tal função é necessário conhecer o código ASCII de cada caractere da frase informada pelo usuário, como também dos caracteres que compõem as frases (indivíduos) geradas pelo AG. Por fim, definiu-se que o AG deveria finalizar a sua execução quando o valor de aptidão encontrado fosse igual a 0 (zero), tal decisão se justifica visto que executada a função de aptidão, caso a frase informada pelo usuário e uma frase gerada pelo AG sejam iguais o valor encontrado será 0 (zero).

Para a implementação de tal AG optou-se pela escolha das seguintes técnicas: para realizar a seleção dos cromossomos pais utilizou-se o método torneio; para efetuar o cruzamento entre os cromossomos selecionados fez-se uso da técnica de pontos aleatórios e, para executar o operador de mutação nos cromossomos gerados, aplicou-se a técnica de mutação aleatória. Além disso, a título de demonstração, vale lembrar que a população a ser criada será composta por 6 (seis) indivíduos e terá a probabilidade de 5% de mutação.

Para que seja possível compreender melhor como são processadas as operações dentro do AG, será realizada uma simulação apresentado passo a passo sua execução. Sendo assim, suponha que o usuário digite a frase Encoinfo. Como pode ser verificado na figura 9, a primeira operação, realizada, pelo AG, é a criação dos cromossomos (possíveis soluções) da população inicial, de forma aleatória. Por conseguinte, cada um dos cromossomos criados é submetido ao processo de avaliação de aptidão, utilizando a função definida anteriormente (Figura 9).

|   |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Frase = Encoinfo</b>                         |                         |
| <b>Quantidade de indivíduos da população: 6</b> |                         |
| <b>Quantidade de caracteres da frase: 8</b>     |                         |
| <b>População Inicial:</b>                       | <b>Valor de aptidão</b> |
| E o d o o m f o                                 | 4                       |
| E n c o n i o f                                 | 4                       |
| F m b o n a j b                                 | 7                       |
| P o c e w ã i d                                 | 7                       |
| G n c y a n f j                                 | 5                       |
| X m g h k v o l                                 | 8                       |

**Figura 9. Resultado dos operadores de inicialização e função de aptidão.**

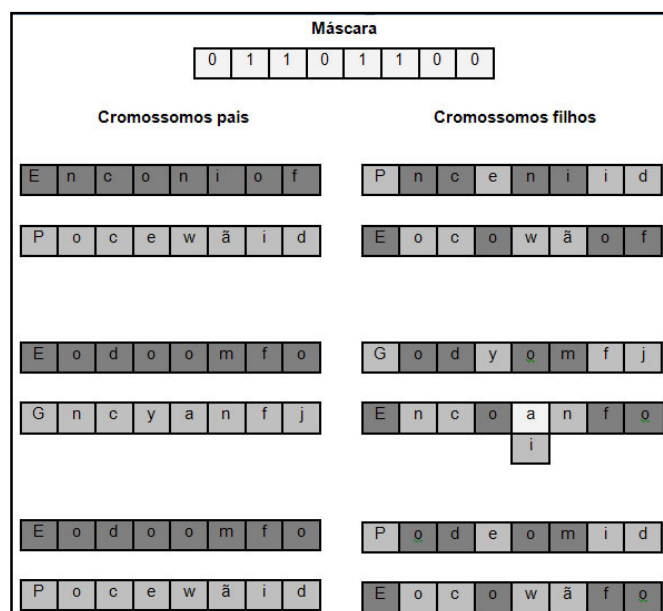
Logo em seguida, como ilustrado na figura 10, é realizada a seleção, por torneio, dos indivíduos que participarão do processo de cruzamento.



| População | Cromossomos candidatos       |   | Selecionados |
|-----------|------------------------------|---|--------------|
| Eodoomfo  | Enconiof, Gncyanfj, Gncyanfj | → | Enconiof     |
| Enconiof  | Fmbonajb, Pocewãid, Xmghkvol | → | Pocewãid     |
| Fmbonajb  | Eodoomfo, Gncyanfj, Enconiof | → | Eodoomfo     |
| Pocewãid  | Gncyanfj, Fmbonajb, Pocewãid | → | Gncyanfj     |
| Gncyanfj  | Eodoomfo, Xmghkvol, Gncyanfj | → | Eodoomfo     |
| Xmghkvol  | Xmghkvol, Pocewãid, Fmbonajb | → | Pocewãid     |

**Figura 10. Resultado do operador de seleção por torneio.**

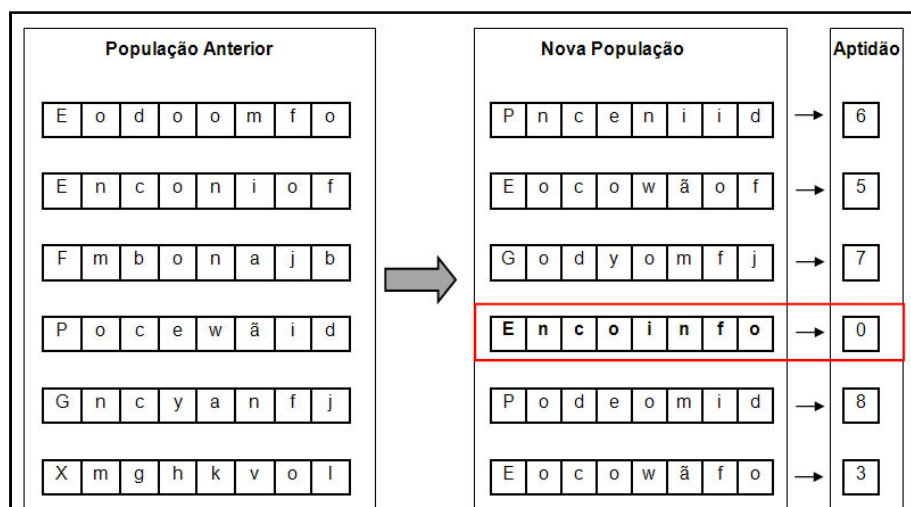
Após selecionar os cromossomos que darão origem à próxima geração, é realizado o cruzamento entre as características dos pares de cromossomos, utilizando para isto a técnica de pontos aleatórios. Assim, como pode ser conferido na figura 11, após o processo de cruzamento são gerados 6 (seis) novos indivíduos.



**Figura 11. Resultado dos operadores de cruzamento e mutação.**

Com a finalização do processo de cruzamento, é executada a operação de mutação, como também pode ser verificado na figura 11, na nova população gerada, ocorreu mutação com no quinto gene do segundo filho gerado pelo segundo par de cromossomos.

Após finalizar a execução do operador de mutação, é gerada uma nova população a qual é apresentada na figura 12, onde é demonstrada a substituição da população inicial pela a que acabará de ser gerada. Como a atualização da população, o AG verifica se a condição de parada especificada, foi alcançada, como pode ser verificado na figura 12 o quarto cromossomo que compõe a nova população possui valor de aptidão igual a 0 (zero), o que faz com que a execução do AG seja finalizada.



**Figura 12. Resultado dos operadores de atualização e finalização.**

De forma geral, ao analisar toda a implementação e resolução do problema proposto, percebe-se que, apesar de ser um modelo simples de AG, este proporciona um entendimento geral no que diz respeito aos operadores genéticos.

#### 4. Conclusões

O principal objetivo deste artigo era apresentar uma visão geral da técnica de Inteligência Artificial, denominada Algoritmo Genético, a fim de expor seus principais conceitos, estrutura e forma de funcionamento, como também demonstrar de forma prática a sua utilização para a resolução de um problema.

A partir do estudo apresentado, é possível verificar que a técnica de AG objetiva simular as operações genéticas da mesma forma como estas se dão na natureza, por meio da criação de uma população de indivíduos, onde cada um destes é reconhecido com um cromossomo, que passa por um processo que imita a seleção, reprodução e mutação, dentre outros, originando uma nova população. Assim, esta técnica mantém uma população de indivíduos, que representam possíveis soluções para um determinado problema do mundo real, armazenando informações a respeito de um determinado espaço de busca e utilizando o conhecimento obtido para realizar novas descobertas, permitindo, desta forma, que problemas sejam solucionados de forma otimizada. Com os testes executados com esta técnica de IA foi possível perceber que mesmo em uma implementação simples resultados satisfatórios são obtidos e que, caso o AG seja corretamente modelado para solucionar um problema específico, é possível obter ótimos resultados.

#### Referências Bibliográficas

(COSTA FILHO e POPPI, 1999) COSTA FILHO, Paulo Augusto da; POPPI, Ronei Jesus. Algoritmos Genéticos em Química. **Química Nova**. Campinas, v. 22, n. 3, jun. 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v22n3/1094.pdf>>. Acesso em: 6 mar. 2007.

(GOLDBERG, 1989 apud TICONA, 2003) Goldberg, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company,

Inc., Reading, MA. *apud* TICONA, Waldo Gonzalo Cancino. **Aplicação de Algoritmos Genéticos Multi-Objetivo para Alinhamento de Sequências Biológicas**. 2003. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Matemáticas e de Computação) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – Universidade de São Paulo – São Carlos. Disponível em: <[http://www.lania.mx/~ccoello/EMOO/tesis\\_waldo\\_msc\\_final.pdf.gz](http://www.lania.mx/~ccoello/EMOO/tesis_waldo_msc_final.pdf.gz)>. Acesso em: 9 mai. 2007.

(GOLDBERG, 1990 *apud* LIMA, 2008) GOLDBERG, D. E. **Information Models, Views, and Controllers**. Dr. Dobb's Journal, July 1990. *apud* LIMA, Ednaldo Oliveira. **Algoritmo Genético Aplicado à Otimização de Funções**. 2008. 72 p. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras – Departamento de Ciência da Computação. Disponível em: <[http://www.comp.ufla.br/monografias/ano2008/Algoritmo\\_genetico\\_hibrido\\_aplicado\\_a\\_otimizacao\\_de\\_funcoes.pdf](http://www.comp.ufla.br/monografias/ano2008/Algoritmo_genetico_hibrido_aplicado_a_otimizacao_de_funcoes.pdf)>. Acesso em: 1 out. 2008.

(GOLDBERG e HOLLAND, 1988 *apud* BITTENCOURT, 2008) D.E. Goldberg and J.H. Holland. Genetic algorithms and machine learning: Introduction to the special issue on genetic algorithms. *Machine Learning*, 3, 1988. *apud* BITTENCOURT, Guilherme. **Inteligência Computacional**. 2008. Disponível em: <<http://www.das.ufsc.br/gia/softcomp/node11.html>>. Acesso em: 1 out. 2008. (Apostila).

(LACERDA, 2008) LACERDA, Estéfane G. M. **Algoritmos Genéticos: Aspectos Práticos**. 2008. 36 p.. Disponível em: <[http://www.dca.ufrn.br/~estefane/metaheurísticas/ag\\_pratica.pdf](http://www.dca.ufrn.br/~estefane/metaheurísticas/ag_pratica.pdf)>. Acesso em: 01 out. 2008. (Apostila).

(LIMA, 2008) LIMA, Ednaldo Oliveira. **Algoritmo Genético Aplicado à Otimização de Funções**. 2008. 72 p. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras – Departamento de Ciência da Computação. Disponível em: <[http://www.comp.ufla.br/monografias/ano2008/Algoritmo\\_genetico\\_hibrido\\_aplicado\\_a\\_otimizacao\\_de\\_funcoes.pdf](http://www.comp.ufla.br/monografias/ano2008/Algoritmo_genetico_hibrido_aplicado_a_otimizacao_de_funcoes.pdf)>. Acesso em: 1 out. 2008.

(LINDEN, 2006) LINDEN, Ricardo. **Algoritmos Genéticos: Uma importante ferramenta da inteligência computacional**. Rio de Janeiro: Brasport, 2006.

(LUCAS, 2000) LUCAS, Diogo Correa. **Algoritmos Genéticos: Um estudo dos seus conceitos fundamentais e aplicação no problema da grade horária**. 2000. 66 p. Monografia (Graduação em Informática) – Universidade Federal de Pelotas – Instituto de Física e Matemática. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/prg/sisbi/bibct/acervo/info/2000/Mono-Diogo.pdf>>. Acesso em: 4 abr. 2007.

(ROSA, 2007) ROSA, Thatiane de Oliveira. **Aplicação de Algoritmos Genéticos para Comparação de Sequências Biológicas**. 2007. 130 p. Monografia (Graduação em Sistemas de Informação) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas - TO.

(RUSSELL e NORVIG, 2004) RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2004. 1020 p.