

# Utilizando Algoritmo Genético para Resolver o Problema do Cavalo do Xadrez

Francisco Glaubos Nunes Climaco<sup>1</sup>, Igor Barreto Rodrigues<sup>1</sup>, Thayllon Gomes Abreu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Ciência da Computação – Universidade Federal do Tocantins(UFT)  
Palmas – TO – Brasil

{glaubos, igor.cientista}@uft.edu.br, thayllong@gmail.com

**Resumo.** Este artigo aborda os conceitos de algoritmo genético e apresenta a resolução do problema do cavalo do xadrez utilizando os conhecimentos obtidos neste estudo. Para se obter a solução do problema faz-se necessário a análise, o reconhecimento e a avaliação do meio que interfere na evolução dos indivíduos. Este trabalho tem os objetivos de: apresentar que os resultados obtidos com o uso do software que fôra desenvolvido visando encontrar a solução satisfatória, simples e precisa.

## 1. Introdução

Neste artigo são descritos os conceitos relativos aos Algoritmos Genéticos e seu uso é ilustrado através de sua utilização em um problema clássico. Trata-se do problema do Percurso do Cavalo, que busca encontrar uma configuração especial para a movimentação da peça Cavalo em um tabuleiro do Jogo de Xadrez. Sabe-se que para encontrar as soluções geralmente é necessário tempo para avaliação e busca de uma solução, mostrando assim a importância da utilização do processamento computacional para a obtenção de uma resposta rápida e eficiente.

Toda tarefa de busca e otimização possui vários componentes, entre eles: o espaço de busca, onde são consideradas todas as possibilidades de solução de um determinado problema, e a função de avaliação (ou função de custo), uma maneira de avaliar os membros do espaço de busca [Ginsberg 1993].

As técnicas de busca e otimização tradicionais iniciam seu processamento com um único candidato que, iterativamente, é manipulado utilizando algumas heurísticas, normalmente estáticas, diretamente associadas ao problema a ser solucionado. Geralmente, esses processos heurísticos não são algorítmicos e sua simulação em computadores pode ser muito complexa. Apesar desses métodos não serem suficientemente robustos, isto não implica que eles sejam inúteis. Na prática, eles são amplamente utilizados, com sucesso, em inúmeras aplicações [Winston 1992].

Por outro lado, os algoritmos genéticos operam sobre uma população de candidatos em paralelo. Pode-se realizar a busca em diferentes áreas do espaço de solução, alocando um número de membros apropriados para a busca em várias regiões. Embora possam parecer simplistas do ponto de vista biológico, esses algoritmos são suficientemente complexos para fornecer mecanismos de busca adaptativa poderosa e robusta [Rezende 2003].

O trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, Conceitos sobre Algoritmos Genéticos. Em seguida, na Seção 3 é descrito o problema do Percurso do Cavalo, destacando algumas abordagens computacionais para sua solução. Na Seção 4 é descrito a solução adotada, a utilização da técnica de Algoritmos Genéticos para solucionar o problema do Percurso do Cavalo. Na Seção 5 são apresentados resultados experimentais e na última seção, são apresentadas as conclusões.

## **2. Revisão de Literatura**

A literatura utilizada neste trabalho baseia-se no estudo e definição sobre algoritmo genético e das técnicas utilizadas com a finalidade de facilitar o entendimento e na obtenção de solução eficaz do problema.

### **2.1. Teoria da Evolução das Espécies de Darwin**

Sucintamente, a Teoria da Evolução das Espécies nos diz que a natureza possuiu, em algum momento da existência deste planeta, os meios para modificar os seres vivos a cada geração. Essas modificações ocorreram por meio de alterações do código genético desses seres, seja por mutações aleatoriamente produzidas por radiações ionizantes, vírus ou mesmo ação química. Esses seres vivos com código genético alterado se reproduziram em combinação com os seres vivos típicos de suas espécies naquele momento, produzindo uma nova geração de seres vivos que incorporou de alguma forma as mutações ocorridas [Carvalho 2001].

Os novos seres vivos que estavam bem adaptados ao meio ambiente do planeta naquele momento sobreviviam, cresciam e se reproduziam mais do que os seres menos adaptados, passando, assim, suas características de boa adaptação para as gerações futuras. Este processo é denominado de seleção natural do ser vivo [Carvalho 2001].

### **2.2. Algoritmo Genético**

Algoritmos Genéticos, por serem baseados na evolução biológica, são capazes de identificar e explorar fatores ambientais e convergirem para soluções ótimas em uma grande variedade de problemas, pois não impõem muitas das limitações encontradas nos métodos de busca tradicionais [Carvalho 2001].

Um Algoritmo Genético (AG) é uma técnica de busca com a finalidade de encontrar soluções exatas ou aproximadas de problemas de busca ou otimização. Os AGs têm sido aplicados em vários campos de conhecimento, principalmente nos ramos da Ciência da Computação, Engenharia, Economia, Física e Matemática.

Os AGs foram desenvolvidos por Jonh Holand e colaboradores da Universidade de Michigan (Holland, 1975). Em princípio, o objetivo da pesquisa era conceber sistemas complexos artificiais capazes de adaptarem-se a mudanças de

condições ambientais. Neste contexto, a necessidade da estruturação de sistemas com mecanismos de auto adaptação é enfatizada. Isto é, os sistemas seriam representados por uma população de indivíduos, que se adaptam coletivamente a um ambiente, comportando-se como um sistema natural, onde a sobrevivência é promovida eliminando-se os comportamentos inúteis (ou prejudiciais) e recompensando-se os comportamentos úteis.

Em seu trabalho, Holland compreendeu que os mecanismos biológicos permitiam a adaptação do sistema natural biológico de forma que poderiam ser expressas matematicamente e simuladas computacionalmente. Esta abstração originou os Algoritmos Genéticos (AGs). Cada indivíduo representa uma solução factível em um espaço de busca do problema. O mapeamento do espaço de busca, para os indivíduos, e o mapeamento reverso foi realizado originalmente através de dígitos binários. Os strings de bits são formas gerais e permitem a análise de alguns resultados teóricos sobre os AGs. Contudo, a codificação binária não é sempre a melhor escolha e outras representações são possíveis. Os AGs possuem procedimentos probabilísticos de busca, baseados nos princípios decorrentes da dinâmica das populações naturais. Nos procedimentos de busca, uma população de soluções candidatas é aleatoriamente gerada e “evolui” para uma solução, através da aplicação de operadores genéticos. Os três operadores usualmente empregados em AG são: seleção, cruzamento e mutação.

Um AG é implementado como sendo a simulação da evolução de uma população. Cada indivíduo desta população é representado por um cromossomo ou genótipo, que não passa de uma abstração do problema. O cromossomo é nada mais que uma estrutura de dados que representa uma solução possível do problema. Definida esta representação, a população é iniciada e avaliada. A partir daí, inicia-se a evolução da população.

Algoritmos genéticos são uma família de modelos computacionais inspirados na teoria da evolução das espécies. Esses algoritmos modelam uma solução para um problema específico em uma estrutura de dados como a de um cromossomo e aplicam operadores que recombina essas estruturas preservando informações críticas [Shirai 1998].

"Quanto melhor um indivíduo se adaptar ao seu meio ambiente, maior será sua chance de sobreviver e gerar descendentes" [Fernandes 2003]. A partir do conceito sobre evolução genética biológica apresentado por Fernandes. Podemos inferir que a área biológica mais proximamente ligada aos Algoritmos Genéticos é a Genética Populacional.

### **2.3. Computação Evolutiva**

Como já mencionado, a natureza serve de inspiração á computação. A prova disso são inúmeras técnicas existentes que copiam de alguma forma a natureza e, por consequência disso, fizeram surgir uma nova área de conhecimento que é a Computação Natural.

A Computação Evolutiva é um ramo desta área de conhecimento e os seus alicerces foram os trabalhos pioneiros de R. M. Friedberg (1958) e H. J. Bremermann (1962), entre outros, nos anos 50. Por não ter plataformas computacionais poderosas, e por formalização e caracterização deficientes, a CE permaneceu inexplorada por 20 anos. Somente na década de 70, com os

trabalhos de Holland, Rechenberg, Schwefel e Fogel há o retorno das pesquisas sobre o tema.

## **Representação**

A representação consiste na codificação de uma possível solução do problema em uma estrutura que possa ser manipulada pelo Algoritmo Genético. É sobre essa estrutura de dados criada que serão aplicados os operadores genéticos.

No nível abstrato, a solução do problema é considerada um indivíduo e a representação física deste indivíduo seria sua cadeia de genes (cromossomo).

## **Inicialização**

A inicialização consiste no processo de criação dos indivíduos pertencentes à população inicial. Corresponde à criação da vida a partir do nada, e não a partir de outras espécies.

Nesta inicialização, é comum o emprego de funções aleatórias para gerar os indivíduos, pois assim, esta população tem uma alta diversidade e, por consequência, maior abrangência no espaço de busca. Por outro lado, problemas com grande espaço de busca podem ter desempenho ineficiente se for considerado este tipo de inicialização. Desta forma, adota-se uma inicialização com algumas restrições acerca da diversidade possível da população inicial. Segundo Goldberg (1989), as formas tradicionais de inicialização são:

- a) *Inicialização Randômica Uniforme*: cada gene do indivíduo receberá um valor aleatório dentro dos valores possíveis do problema;
- b) *Inicialização Randômica Não Uniforme*: cada gene do indivíduo receberá um valor aleatório de acordo com uma probabilidade, ou seja, certos valores aleatórios terão maior probabilidade de serem escolhidos;
- c) *Inicialização Randômica com “dope”*: indivíduos com alta adequação são inseridos entre a população aleatoriamente gerada. Esta forma apresenta o risco de fazer com que um ou mais super indivíduos tendam a dominar o processo de evolução e causar o problema de convergência prematura.
- d) *Inicialização Parcialmente Enumerativa*: são inseridos na população indivíduos de forma a fazer com que esta comece o processo de evolução possuindo todos os esquemas possíveis de uma determinada ordem.

## **Avaliação**

A avaliação consiste na quantificação do grau de adequação de um determinado indivíduo. Trata-se de uma medição do valor da adaptação dos indivíduos presentes na população, que determina quais são as espécies mais fortes e as mais fracas. Esta medida é o parâmetro utilizado na seleção dos indivíduos, isto é, os indivíduos com maior valor de adequação são mais aptos. Estes são os que terão maior probabilidade de se reproduzir e, por consequência, seus genes são passados às gerações seguintes.

A função de avaliação está relacionada com o problema em questão. Os indivíduos que estão mais próximos da solução ideal terão um valor maior de adaptação que os indivíduos distantes da solução ideal.

## Seleção

A seleção corresponde à etapa em que os indivíduos são selecionados para posterior reprodução. O grau de adaptação obtido na etapa de avaliação é o critério utilizado pela seleção para escolher os melhores indivíduos. Entretanto, este critério não é absoluto. Ou seja, nem sempre os melhores serão os escolhidos, e sim, estes terão maior probabilidade de serem escolhidos.

Os principais tipos do operador de seleção são:

- a) *Seleção por ranking (Rank Selection)*: os indivíduos da população são ordenados em ordem crescente de acordo com o seu valor de adequação. Daí, a probabilidade de cada indivíduo é igual a posição que ocupa nesta lista ordenada;
- b) *Seleção pela roleta, (Roulette Wheel Selection)*: o indivíduo é representado por uma fatia proporcional à sua adaptação, ou seja, a probabilidade de um indivíduo ser selecionado está de acordo com a equação  $p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^N f_j}$ , onde  $f_i$  é a adaptação do indivíduo e  $N$  o número de indivíduos da população;
- c) *Seleção por torneio (Tournament Selection)*: um grupo de indivíduos é aleatoriamente escolhido, e o indivíduo de melhor aptidão é o selecionado;
- d) *Seleção uniforme*: todos os indivíduos possuem a mesma probabilidade de serem selecionados.

## Reprodução

Após a seleção dos indivíduos, vem a etapa de reprodução. Nesta etapa, aplica-se sobre um par de indivíduos, dentre os anteriormente selecionados, o operador de cruzamento. Este par forma dois filhos, e estes terão herdados os genes dos pais.

## Mutação

A mutação é o processo que altera um ou mais genes, como se fosse uma falha no processo de transferência de genes dos ascendentes para os descendentes. Ela é fundamental para garantir a diversidade da população, assegurando assim que o espaço de busca provavelmente será explorado em uma parte significativa de sua extensão e, por consequência, evita convergência prematura. A ocorrência de mutação tem sua probabilidade definida pela taxa de *mutação*, que é um parâmetro do AG em questão. Os dois tipos principais de operador de *mutação* são:

- a) *Mutação aleatória (Flip Mutation)*: cada gene a ser mutado recebe um valor aleatoriamente escolhido dentre os valores válidos;
- b) *por troca (Swap Mutation)*: são escolhidos  $n$  pares de genes, e os elementos do par trocam de valor entre si;

## 3. Descrição do Problema

Considere o jogo de xadrez. Seguindo as regras de movimento do cavalo, é possível que um cavalo parta de uma casa qualquer, percorra todo o tabuleiro visitando cada casa uma e somente uma única vez e retorne à casa inicial?

Ao longo deste trabalho mostra-se que é possível encontrar o caminho resposta para o problema e que a resposta para o questionamento anterior é sim e resulta em um grafo hamiltoniano.

No xadrez o movimento do cavalo é sempre em L (letra ele), ou seja, duas casas num sentido (vertical ou horizontal) e uma casa no outro sentido (horizontal ou vertical). Este problema pode ser enunciado como um problema em grafos, cuja solução deste problema é verificar a existência de um circuito (ciclo) Hamiltoniano em um grafo.

Para construir o grafo que representa o problema, cada casa do tabuleiro torna-se um vértice e as arestas representam um par de vértices (casas) entre os quais há um movimento válido do cavalo. Para um tabuleiro 8 x 8, o grafo possui 64 vértices e 168 arestas.

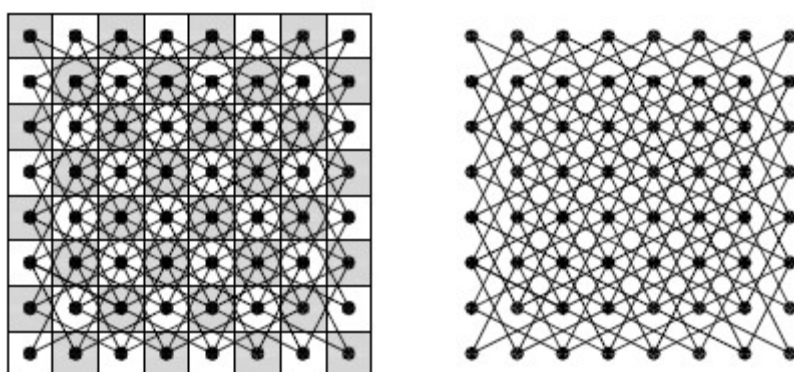


Figura Grafo subjacente ao problema, para um tabuleiro 8 x 8.

Um caminho com todos os vértices distintos e que contenha todos os vértices do grafo é um *caminho hamiltoniano*. Um ciclo é um caminho onde se repetem apenas o primeiro e último vértices. Um ciclo que contenha todos os vértices é denominado *ciclo hamiltoniano*. Um grafo que contenha um ciclo hamiltoniano é dito um *grafo hamiltoniano*.

#### 4. Solução Adotada

Utilizando-se dos conceitos de algoritmo genético foi desenvolvido um aplicativo utilizando a linguagem Java e IDE de desenvolvimento Netbeans 7.3, com o propósito de solucionar o problema do passeio do cavalo.

Para os testes realizados neste trabalho foram utilizados os seguintes dados: um tabuleiro de 64 casas, um total de 1000 indivíduos na população, 1000 gerações, 100 cruzamentos e taxa de mutação de 5%.

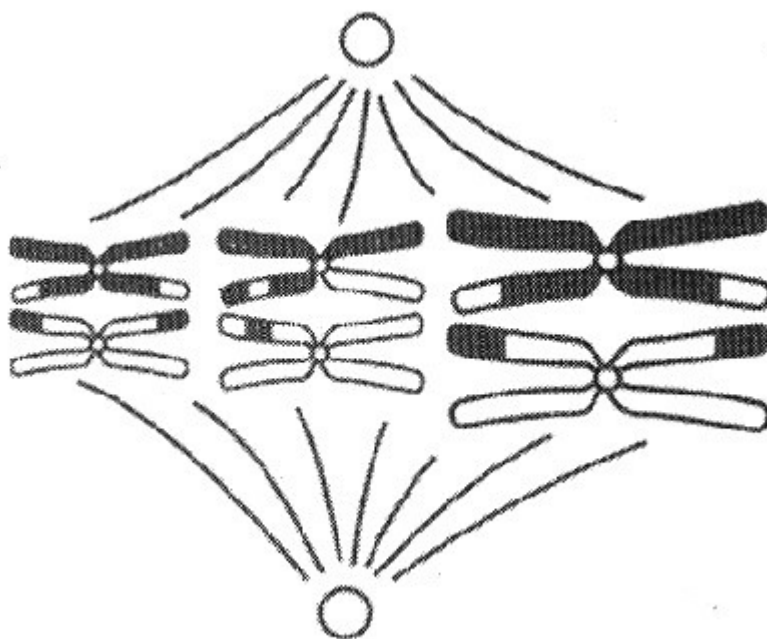
Algoritmos Genéticos utilizam uma estratégia de seleção dos indivíduos, que é voltada em direção ao reforço da busca de pontos de "alta aptidão", ou seja, de indivíduos que sejam mais adaptados ao ambiente, além de utilizar mecanismos de mutações para aumentar a variabilidade genética.

As estratégias de busca aleatórias não são caminhadas aleatórias não direcionadas, pois exploram informações históricas para encontrar novos pontos de busca onde são esperados melhores desempenhos. Isto é feito através de processos iterativos, onde cada iteração é chamada de geração.

O gene é a unidade básica das características do ser vivo [Carvalho 2001]. O cromossomo representa o funcionamento celular este que é representado por uma coleção de genes organizados seqüencialmente em uma estrutura. Todas as informações históricas são acessadas em um código genético que armazena todas as instruções necessárias para um funcionamento celular. Definiu-se que o cromossomo para este problema, possui 64 genes (quantidade de casas de um tabuleiro de xadrez com 8 x 8 dimensões) e mais um campo que armazenará o fitness (avaliação), ou seja, o grau de adaptabilidade do cromossomo de acordo com o meio ambiente, fenótipo.

O material presente no código genético (genótipo), é a representação dos possíveis movimentos do cavalo, numerados de 0 (zero) a 7 (sete), armazenados em 2 bytes (1 número inteiro) no gene. O genótipo fornece propriedades básicas ao ser vivo que, sob a influência do meio ambiente, neste caso o tabuleiro, acabam por gerar o ser vivo propriamente dito.

Antes da avaliação, altera-se de acordo com a taxa de mutação dos genes (quantidade de genes que sofrerão mutação) um número de cromossomos definidos pela taxa de mutação dos indivíduos, esses escolhidos aleatoriamente na população dos filhos. Não sofrerão mutação os cromossomos com avaliação igual a 64, ou seja, perfeitamente adaptados ao meio ambiente do problema proposto, e também o melhor indivíduo da geração. No processo de mutação, o gene é alterado aleatoriamente (Figura 1), tornando-se um novo gene cuja expressão futura (fenotípica) não se pode prever a priori. Certas mutações levarão à geração de fenótipos mais adaptados ao meio ambiente, permitindo a continuidade da espécie. Outras mutações produzirão seres vivos com fenótipos mal-adaptados que não sobreviverão às hostilidades do seu meio ambiente [Carvalho 2001] durante as próximas gerações. Após a mutação é realizada uma avaliação a fim de se obter a adaptabilidade do indivíduo ao meio.



*Figura 1 Formas de mutação*

O processo de avaliação é realizado de acordo com o posicionamento do cavalo no tabuleiro, que é classificado como válido, representado por 1 (um), ou inválido, representado por 0 (zero), no gene. O resultado da avaliação é o somatório dos genes pertencentes ao cromossomo.

É importante ressaltar que na solução desejada o cromossomo deverá ter fitness igual 64, que corresponde ao número total de casas de um tabuleiro de xadrez, mostrando assim que o cavalo percorreu todo o tabuleiro e retornou a casa inicial.

A avaliação (fitness) de um cromossomo é o fenótipo que indica a adaptabilidade do indivíduo em relação ao meio (tabuleiro). Através da avaliação, determinam-se os  $n$  melhores indivíduos aptos a se reproduzirem de acordo com a quantidade de indivíduos reprodutores definida, gerando um número correspondente de descendentes, que juntamente com a subtração da população pelos  $n$  melhores indivíduos da geração, obterá a quantidade dos melhores cromossomos que serão reaproveitados na próxima geração. Durante cada iteração, os princípios de seleção e reprodução são aplicados a uma população que será definida previamente pelo usuário.

O processo de reprodução permitirá que os cromossomos de um ser vivo se combinem com os cromossomos de outro ser vivo, formando um novo ser com características novas [Carvalho 2001]. No processo de reprodução são sorteados, através do método da Roleta, “girando-a” duas vezes, os cromossomos entre os indivíduos selecionados para a reprodução.

O método da Roleta consiste basicamente em realizar o somatório das avaliações dos indivíduos selecionados para a reprodução (universo) e dividir a roleta entre os indivíduos selecionados de acordo com sua avaliação. A probabilidade de um indivíduo ser sorteado para o cruzamento é a divisão da sua avaliação com o universo. Finalizando o método, a roleta é “girada” a fim de obter-se aleatoriamente um indivíduo.

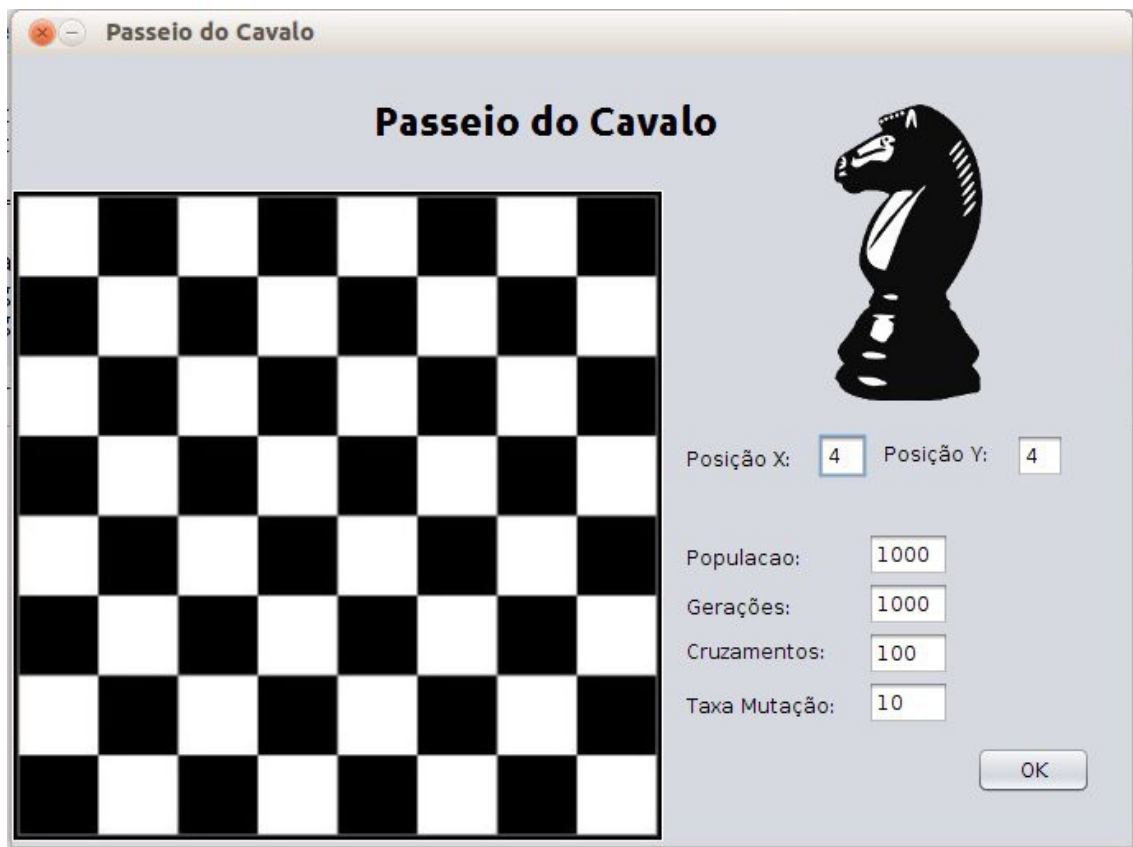
Gera-se então um número aleatório, entre 0 e 63, que será o ponto de corte para o cruzamento (crossover) de um-ponto dos cromossomos sorteados pela roleta. O primeiro descendente do cruzamento é a união dos genes menores do que o ponto de corte do primeiro cromossomo sorteado, com os genes em posição maior ou igual ao do ponto de corte do cromossomo do segundo indivíduo sorteado. O segundo descendente é o inverso do processo de geração do primeiro descendente.

Neste momento, é realizado novamente o processo de avaliação a fim de verificar a adaptabilidade dos indivíduos da nova geração ao ambiente. É verificado ainda se a iteração atual não excedeu a quantidade de iterações definidas inicialmente. Em caso afirmativo, repete-se todo o ciclo desde o processo de mutação. Caso a iteração tenha atingido a quantidade entrada pelo usuário, o sistema termina o ciclo evolucionário e fornece a melhor solução encontrada durante o período de iterações.

## **5. Resultados Obtidos**



O aplicativo desenvolvido na linguagem Java possui uma implementação de simples, facilitando assim o entendimento do usuário em sua análise.



**Figura 2. Interface do programa.**

A figura 2 mostra a tela inicial do software desenvolvido, os valores iniciais de população, geração, cruzamento e taxa de mutação, além de escolher a posição inicial do cavalo no tabuleiro.



**Figura 3. Exemplo de resultado obtido.**

Como apresentado na figura 3, mostra o resultado obtido após a utilização do algoritmo genético para a resolução do problema do passeio do cavalo. Após a realização de testes percebeu-se que o resultado obtido não conseguiu chegar a solução ideal, entretanto considera-se que o objetivo da implementação foi alcançado analisando os dados dos testes que foram realizados.

## 6. Conclusão

O algoritmo genético apresentado neste trabalho mostrou todos os conceitos e capaz de encontrar uma solução para o problema do cavalo do xadrez. Entretanto, para encontrar uma solução satisfatória para este problema, faz-se necessário a combinação de heurísticas no algoritmo genético. Assim, as soluções encontradas neste trabalho, não chegaram a um grafo fechado hamiltoniano, solução esperada para o problema. Apesar de não ter encontrado a resposta esperada nos testes realizados, constata-se que com a manipulação adequada dos valores de influência do problema, podem-se obter melhores resultados. Vale ressaltar ainda, que a escolha certa na manipulação da mutação, a escolha da função de ativação e quanto maior for a iteração, o que exige poder computacional, maior será a probabilidade de aumentar o percentual de acerto.

## Referências

Carvalho, Luis Alfredo Vidal de, "Datamining: A Mineração de Dados no Marketing, Medicina, Economia, Engenharia e Administração", Érica, 2001.

Fernandes, Anita Maria da Rocha, "Inteligência Artificial – Noções Gerais", Visual Books, 2003.

Ginsberg, M. (1993) "Essentials of Artificial Intelligence", San Francisco: Academic Press/Morgan Kaufmann.

Rezende, Solange Oliveira, "Sistemas Inteligentes", Manole, 2003.

Winston, P. (1992) "Artificial Intelligence", Addison-Wesley.

HOLLAND, J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press. (1975).

BREMERMANN, H. J. Optimization through evolution and recombination, In M. C. Yovits, G. C. Jacobi and G. D. Goldstein eds. Self-Organizing Systems, Spartan Books, 1962.

FRIEDBERG, R. M. A Learning Machine. IBM Journal, Vol. I, pp.1-13, 1958.