

ALGORITMOS GENÉTICOS COM OPERAÇÃO DE CROSSOVER UTILIZANDO O JOGO HAWK-DOVE COM FENÓTIPOS FIXOS

Cristiano Lehrer¹, Paulo Sergio da Silva Borges, Dr.²

¹lehrer@inf.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, R. Antônio Edú Vieira 1620, Ap 101G, 88040-001, ²pssb@inf.ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Caixa Postal 476 – 88.040-970 Fone: +55 (48) 231-9738

RESUMO

NESTE TRABALHO, ALGUNS DOS CONCEITOS IMPORTANTES PERTENCENTES A TEORIA DOS JOGOS EVOLUCIONÁRIOS SÃO EMPREGADOS PARA TESTAR COMO ELAS PODEM APRIMORAR A ATUAÇÃO DOS OPERADORES UTILIZADOS EM ALGORITMOS GENÉTICOS (AG). O EMPREGO DE ESTRATÉGIAS RACIONAIS PODE FORNECER UMA EFICIÊNCIA ADICIONAL AOS AG NA BUSCA DE SOLUÇÕES SATISFATÓRIAS PARA PROBLEMAS DIFÍCEIS. NESTE CASO, OS OPERADORES TRADICIONAIS DOS AG, ESPECIALMENTE SELEÇÃO, RECOMBINAÇÃO E MUTAÇÃO, NÃO MAIS CONTAM SOMENTE COM CRITÉRIOS ALEATÓRIOS PARA REALIZAR A EXPLORAÇÃO DA SUPERFÍCIE ADAPTATIVA. ESTA IDÉIA É IMPLEMENTADA ATRAVÉS DA PROMOÇÃO DE UMA COMPETIÇÃO ENTRE OS CROMOSSOMOS PELA MELHOR ADAPTABILIDADE, QUE É CONSIDERADA COMO UM RECURSO ESCASSO E LIMITADO. PARA COMPLETAR ESTE MÉTODO, O PARADIGMA SELECIONADO FOI O JOGO “HAWK-DOVE”, CONHECIDO COMO UM IMPORTANTE MODELO DE COMPORTAMENTO ESTRATÉGICO EM ESTUDOS ECOLÓGICOS. OS PARTICIPANTES DO JOGO SÃO OS CROMOSSOMOS, OS QUAIS EXERCEM SUAS RESPECTIVAS ESTRATÉGIAS E ESFORÇAM-SE PARA MELHORAR SUA ADAPTABILIDADE INDIVIDUAL. PARA TESTAR O MÉTODO, UTILIZOU-SE O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE, PARA O QUAL DIVERSAS SIMULAÇÕES FORAM EXECUTADAS. APRESENTOU-SE OS RESULTADOS ALCANÇADOS, ESPECIALMENTE ALGUMAS COMPARAÇÕES COM MÉTODOS USUAIS DOS OPERADORES DOS AG. ALGUMAS EVIDÊNCIAS ENCONTRADAS INDICAM VANTAGENS NO USO DA METODOLOGIA PESQUISADA.

ABSTRACT

IN THIS WORK, SOME IMPORTANT CONCEPTS BELONGING TO EVOLUTIONARY GAME THEORY ARE EMPLOYED TO TEST HOW THEY CAN IMPROVE THE PERFORMANCE OF THE OPERATORS USED IN GENETIC ALGORITHMS (GA). THE USE OF RATIONAL STRATEGIES CAN PROVIDE ADDITIONAL EFFICIENCY TO THE GA REGARDING THE SEARCH OF SATISFACTORY SOLUTIONS TO DIFFICULT PROBLEMS. IN THIS CASE, THE TRADITIONAL GA OPERATORS, NAMELY, SELECTION, CROSSOVER AND MUTATION WILL NO MORE RELY SOLELY ON RANDOM CRITERIA TO CARRY OUT THE EXPLORATION OF THE FITNESS LANDSCAPE. THIS IDEA IS IMPLEMENTED BY PROMOTING A COMPETITION BETWEEN THE CHROMOSOMES FOR BETTER FITNESS, HEREIN CONSIDERED AS A LIMITED AND SCARCE RESOURCE. TO ACCOMPLISH THIS METHOD, THE SELECTED PARADIGM HAS BEEN THE “HAWK-DOVE” GAME, WELL KNOWN AS AN IMPORTANT MODEL OF STRATEGIC BEHAVIOR IN ECOLOGICAL STUDIES. THE PARTICIPANTS OF THE GAME ARE THE CHROMOSOMES, WHICH EXERT THEIR RESPECTIVE STRATEGIES AND STRIVE FOR IMPROVING THEIR INDIVIDUAL FITNESS. TO TEST THE METHOD, THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM HAS BEEN USED.. A SERIES OF SIMULATIONS HAS BEEN RUN AND THE ACHIEVED RESULTS ARE PRESENTED, ESPECIALLY SOME COMPARISONS BETWEEN THE USUAL METHODS REGARDING THE GA OPERATORS. SOME EVIDENCE HAS BEEN FOUND THAT INDICATE THE ADVANTAGE OF THE INVESTIGATED METHODOLOGY.

Palavras-chaves: Computação Evolucionária; Teoria dos Jogos; Algoritmos Genéticos; Simulação; Otimização; Jogo *Hawk-Dove*.

1 Introdução

A utilização de conceitos da Teoria dos Jogos em Algoritmos Genéticos (AG) ainda é prematura, sendo um vasto campo a ser pesquisado, em busca de respostas para perguntas do tipo: Constitui-se em uma vantagem? Ajudará os Algoritmos Genéticos a encontrar respostas mais próximas do melhor resultado possível?

Buscando responder estas e outras perguntas, apresenta-se uma variação dos AG utilizando conceitos da Teoria dos Jogos, através da inserção do jogo *Hawk-Dove* na operação de seleção, auxiliando na escolha dos pais que gerarão os descendentes.

Para testar se tal variação funciona, ela é comparada com outros dois AG já citados na literatura, o algoritmo genético tradicional (seleção Aleatória), cujo a seleção dos pais para a operação de recombinação é totalmente aleatória, e o algoritmo genético com seleção graduada (seleção *Rank*), onde os pais são ordenados segundo sua adaptabilidade e então selecionados segundo tal ordem.

Para providenciar um sistema para a comparação entre o esquema proposto e os outros, utilizou-se o problema do caixeiro viajante, usando uma lista de cidades e distâncias reais do Brasil.

2 Algoritmos Genéticos

Inspirados nos conceitos da genética e da Teoria da Seleção Natural de Charles Darwin, são um poderoso mecanismo de busca de soluções, sendo uma das técnicas que compõem a Computação Evolucionária [Gol89].

Proposto por John Holland entre os anos de 1960 e 1970 na Universidade de Michigan, os AG são uma abstração da evolução biológica. O embasamento teórico dos AG foi apresentado no livro *Adaptation in Natural and Artificial Systems* [Hol75].

O objetivo principal de Holland não foi o desenvolvimento de algoritmos para resolver problemas específicos, mas um estudo formal dos fenômenos da adaptação que ocorrem na natureza e desenvolver um modo em que tais mecanismos da adaptação natural poderiam ser importados para dentro dos computadores [Mit96].

Freqüentemente vistos como métodos de otimização, os AG podem ser aplicados a um conjunto de problemas que cresce a cada dia [Whi93], incluindo sistemas sociais, ecologia, economia, evolução do aprendizado e diversas outras áreas do conhecimento [Mit96].

Os AG incluem uma população inicial de cromossomos, onde cada cromossomo possui um certo número de genes. Cada cromossomo codifica uma possível solução para o problema em questão (genótipo). A adaptabilidade ou *fitness* de cada indivíduo (cromossomo) é calculada através de uma função de avaliação [Mit96].

A operação de mutação consiste na troca do conteúdo de um determinado gene do cromossomo segundo uma certa probabilidade. A operação de recombinação ou *crossover*, é a troca de segmentos entre dois cromossomos pais para gerarem dois cromossomos filhos, também de acordo com uma regra probabilística. Caso não ocorra a troca de segmentos, os filhos serão cópias idênticas dos pais [Mit96].

3 Jogo Hawk–Dove

Proposto originalmente por Maynard Smith & Price em 1973, o jogo *Hawk-Dove* modela disputas entre pares de animais, que estão competindo por um recurso de valor V . Este valor representa a adaptabilidade Darwiniana do indivíduo que obtiver o recurso, que será incrementada de V . O perdedor não terá alterações na sua adaptabilidade [Smi82]. Cada indivíduo pode assumir uma das seguintes estratégias [Pre99]:

- *Hawk*: caracteriza-se pela agressividade, lutando pelo recurso contra o oponente até se ferir ou até que seu oponente desista;
- *Dove*: caracteriza-se pela não agressividade, nunca lutando pelo recurso, preferindo medir forças contra o oponente através da exibição. Caso seja atacado, foge imediatamente sem se ferir.

Tabela 1: Payoffs para o jogo *Hawk-Dove*

	Hawk	Dove
Hawk	$\frac{1}{2}(V-C)$	V
Dove	0	$V/2$

Nesta matriz, as células representam os *payoffs* para o jogador da linha, que significam mudanças na sua adaptabilidade em decorrência do par de estratégias adotadas. As seguintes suposições podem ser escritas com base na Tabela 1 [Smi82]:

1. *Hawk vs. Hawk*: Cada competidor tem 50% de probabilidade de obter o recurso V , e 50% de sair ferido na disputa, o que irá diminuir de C sua adaptabilidade.
2. *Hawk vs. Dove*: *Hawk* obtêm o recurso, e *Dove* foge sem se ferir;
3. *Dove vs. Dove*: O recurso é compartilhado igualmente pelos dois competidores.

4 Algoritmo genético Hawk-Dove

Cada cromossomo da população possui um fenótipo, que é o comportamento que o indivíduo pode adotar, neste caso *Hawk* ou *Dove*. Os fenótipos dos indivíduos da população inicial são gerados segundo uma probabilidade.

Para o caso do problema do Caixeiro Viajante, quanto menor for a distância da rota representada pelo cromossomo, maior será sua adaptabilidade, e conseqüentemente, mais forte este será nas disputas com os outros cromossomos. Conforme o comportamento de cada participante, os seguintes resultados poderão ocorrer:

- *Hawk vs. Hawk*: o indivíduo com a maior adaptabilidade, por ser mais forte, ganha a disputa, e tem sua adaptabilidade aumentada em $\frac{1}{2}(V-C)$, enquanto o perdedor a tem reduzida no mesmo valor. No caso dos dois participantes terem a mesma força, ambos serão considerados vencedores;
- *Hawk vs. Dove*: o indivíduo adotando o procedimento *Hawk* tem sua adaptabilidade aumentada em V , nada acontecendo com o perdedor;
- *Dove vs. Dove*: o indivíduo mais forte ganha a disputa, aumentando sua adaptabilidade em $V/2$, e o perdedor a tem reduzida no mesmo valor. No caso dos dois participantes terem a mesma força, ambos serão considerados vencedores.

Como cada cromossomo tem um fenótipo, os filhos devem herdar o fenótipo dos pais, segundo a regra: os filhos herdam o fenótipo do pai que possuir a maior adaptabilidade. Se os dois pais possuem a mesma adaptabilidade, então um filho herdará o fenótipo de um pai, e outro filho herdará o fenótipo do outro pai.

Um indivíduo utilizará o fenótipo herdado durante todas as disputas em que participar dentro de uma geração, quando passará seu fenótipo, caso seja apto, para seus descendentes. Ele não pode alterar seu fenótipo dentro da geração, ou seja, jogar algumas vezes como *Hawk* e outras como *Dove*, utilizando por isso um fenótipo fixo.

O funcionamento do algoritmo proposto é muito parecido com a seleção *Rank*, diferindo apenas que antes dos pais serem ordenados para a operação de seleção, eles passam pelo jogo *Hawk-Dove*.

Serão utilizados dois algoritmos genéticos *Hawk-Dove*: o *Hawk-Dove* com limite (HDL) e o *Hawk-Dove* sem limite (HDSL). No HDL a adaptabilidade dos cromossomos durante o jogo não pode ultrapassar um limite preestabelecido, enquanto que para o HDSL não existe limite.

5 Resultados

Realizou-se um total de 320.000 execuções dos AG, distribuídos igualmente entre os quatro tipos de métodos analisados – Aleatório (tradicional), *Rank*, HDL e HDSL – permitindo uma base razoável de dados para realizar as comparações entre os algoritmos.

Durante o levantamento dos dados, alguns parâmetros foram fixados e outros alterados de modo a analisar o comportamento nas diversas situações. Os parâmetros fixados foram:

- Tamanho da população: especifica o número máximo de indivíduos por geração, fixado em 20 indivíduos;
- Gerações: especifica o número máximo de evoluções que o algoritmo poderá atingir, fixado em 1000 gerações;
- Probabilidade de *Hawks*: especifica a porcentagem de *Hawks* na população inicial, fixado em 50%;
- Torneio: especifica o número de disputas realizados pelos indivíduos durante o jogo *Hawk-Dove*, fixado em 500.

Os parâmetros alterados durante a obtenção dos dados foram:

- Taxa de *crossover*: especifica a probabilidade de ocorrer a operação de recombinação sobre dois indivíduos, indicando o ponto de corte no cromossomo. Assume os valores 0,4 ou 0,7;
- Taxa de mutação: especifica a probabilidade de ocorrer a operação de mutação sobre um indivíduo, indicando o gene que deverá ser alterado. O indivíduo pode ter mais de um gene alterado durante esta operação. Assume os valores 0,01 ou 0,001;

- Valores do recurso e do preço por ferir-se [**V**, **C**]: especificam quanto valem o recurso (**V**) e a perda (**C**) para os competidores do jogo. Assume os pares de valores [10, 20], [20,10], [25, 50] ou [50,25];
- Ordem de seleção: utilizado apenas pelos algoritmos *Rank*, HDL e HDSL, especifica se os indivíduos depois de ordenados, serão chamados para a operação de recombinação em seqüência, ou seja, o indivíduo 1 com o indivíduo 2, o indivíduo 3 com o indivíduo 4 e assim por diante; ou serão chamados pelos extremos, ou seja, o indivíduo 1 com o indivíduo **N**, o indivíduo 2 com o indivíduo **N-1**, e assim por diante até passar por todos os indivíduos.

Cada execução de um algoritmo retorna os seguintes dados: a menor distância (**D**), a geração onde esta distância foi encontrada (**G**) e a respectiva rota (**R**). Cada algoritmo é executado 50 vezes, formando um bloco, de onde se extraem os seguintes dados: média de **G**, desvio padrão da média de **G**, o menor **G** do bloco, o maior **G** do bloco, média de **D**, desvio padrão da média de **D**, o menor **D**, o maior **D** e a rota do menor **D**.

Os dados fornecidos por um bloco são armazenados como uma observação de uma configuração de parâmetros. Para cada configuração de parâmetros são realizados 50 observações de cada algoritmo, ou seja, 50 blocos são gerados. Sobre estas observações serão feitas as análises.

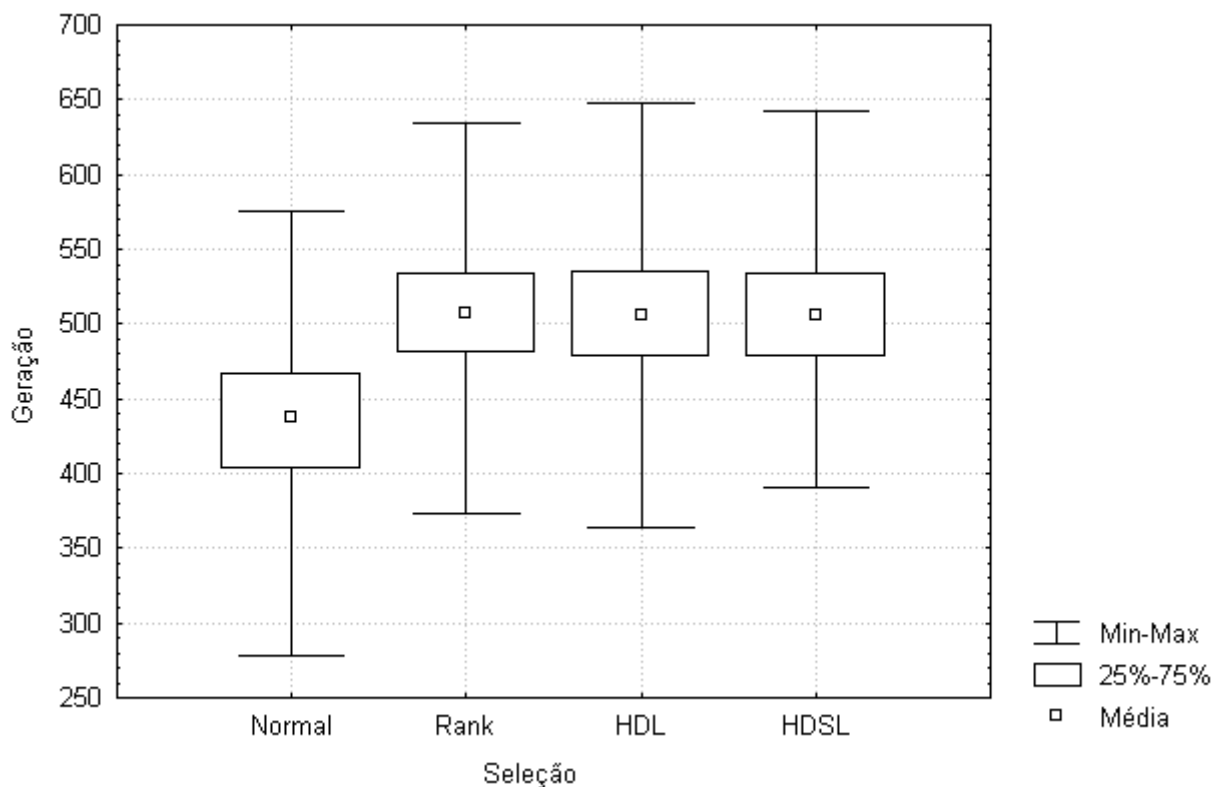
Existem no total 32 configurações de parâmetros, que é a combinação dos parâmetros que são alterados para a geração da base de dados. A Tabela 2 exemplifica as possíveis configuração de parâmetros.

Tabela 2: Configurações de parâmetros utilizados na geração da base de dados

Configuração	Taxa de Crossover	Taxa de Mutação	Valor do Recurso	Preço por Ferir-se	Ordem de Seleção
1	0,4	0,01	10	20	Seqüência
2	0,4	0,01	10	20	Extremos
3	0,7	0,01	10	20	Seqüência
4	0,7	0,01	10	20	Extremos
5	0,4	0,001	10	20	Seqüência
6	0,4	0,001	10	20	Extremos
7	0,7	0,001	10	20	Seqüência
8	0,7	0,001	10	20	Extremos

9	0,4	0,01	20	10	Seqüência
10	0,4	0,01	20	10	Extremos
11	0,7	0,01	20	10	Seqüência
12	0,7	0,01	20	10	Extremos
13	0,4	0,001	20	10	Seqüência
14	0,4	0,001	20	10	Extremos
15	0,7	0,001	20	10	Seqüência
16	0,7	0,001	20	10	Extremos
17	0,4	0,01	25	50	Seqüência
18	0,4	0,01	25	50	Extremos
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
29	0,4	0,001	50	25	Seqüência
30	0,4	0,001	50	25	Extremos
31	0,7	0,001	50	25	Seqüência
32	0,7	0,001	50	25	Extremos

Primeiramente, analise-se a média de **G**. Observa-se que quanto maior for a média, mais gerações foram efetivamente utilizadas no processo de encontrar a menor distância, havendo um decréscimo no número de gerações em que a evolução não reduziu a distância encontrada.



Seleção	Min	Max	25%	75%	Média
---------	-----	-----	-----	-----	-------

Aleatória	278,780	575,980	403,080	467,560	437,670
Rank	372,720	634,080	480,470	533,520	507,240
HDL	364,280	648,300	477,430	535,230	506,340
HDSL	390,100	642,580	477,580	533,920	505,960

Observa-se claramente o fraco desempenho da seleção aleatória, que é o algoritmo tradicional, sobre os demais, e uma equivalência entre a seleção *Rank*, HDL e HDSL, pois possuem quase que a mesma média.

Observando o agrupamento dos dados, o método HDSL possui uma leve superioridade sobre os demais, possuindo seus dados mais agrupados, conseqüentemente, com uma dispersão menor.

Analisaremos agora a média de **D**. Observa-se que quanto menor a média encontrada, melhor o desempenho do método, indicando que as distâncias das trajetórias se aproximam da menor distância possível, que não é conhecida.

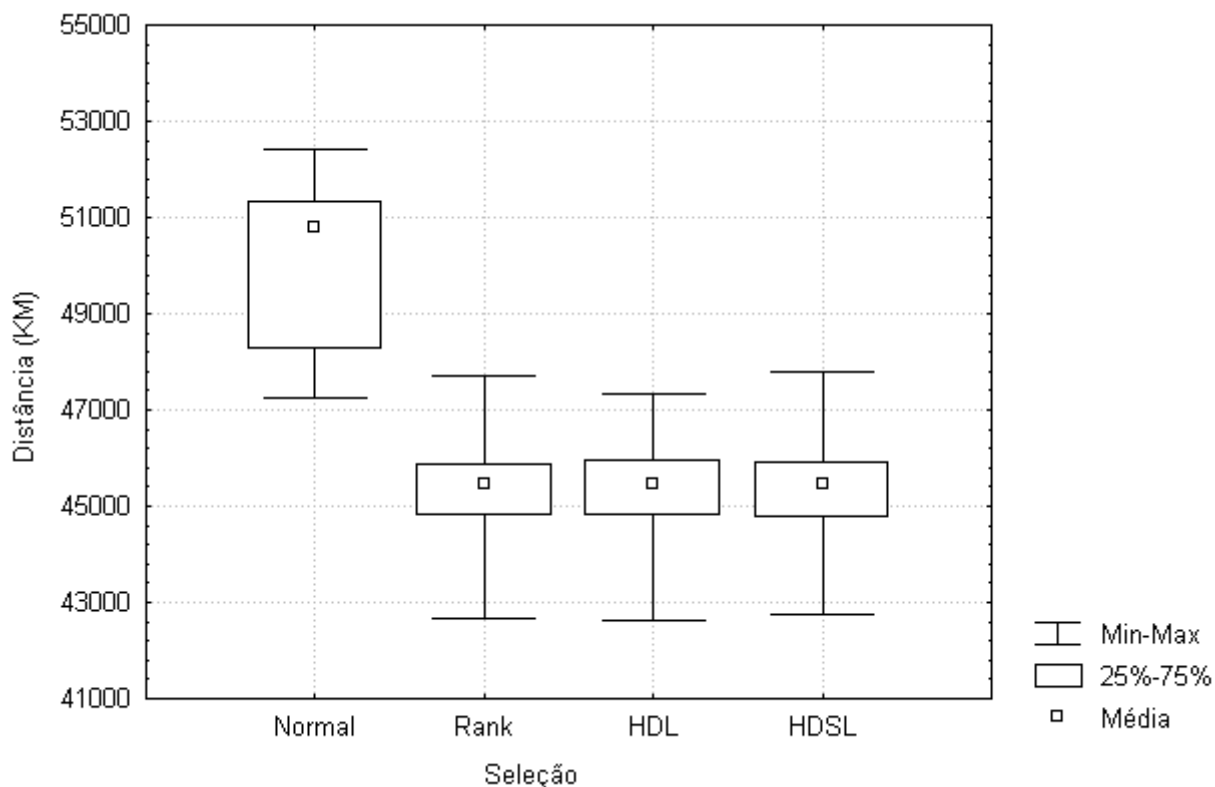


Figura 2: Diagrama de caixa da média de **D**

Tabela 4: Valores do diagrama de caixa do campo média das distâncias encontradas

Seleção	Min	Max	25%	75%	Média
---------	-----	-----	-----	-----	-------

Aleatória	47268,66	52431,34	48250,68	51340,38	50792,85
Rank	42670,76	47701,10	44793,29	45886,80	45439,54
HDL	42618,64	47327,96	44780,88	45943,66	45446,43
HDSL	42771,78	47778,68	44769,66	45922,29	45444,95

De novo o algoritmo tradicional deve um desempenho inferior, possuindo uma média muito elevada em relação aos outros métodos, além de possuir uma grande dispersão de valores.

Claramente observa-se uma equivalência entre os métodos *Rank*, HDL e HDSL, pois suas médias foram muito próximas, variando apenas na casa das dezenas. Observando o agrupamento dos valores, o método HDL teve uma leve superioridade, pois possui suas observações mais agrupadas do que os demais métodos.

Tabela 5: Menores distâncias encontradas

Seleção	Menor distância encontrada (KM)
Aleatório	34.645
Rank	33.778
HDL	32.338
HDSL	32.693

As menores distâncias encontradas indicam uma certa superioridade dos algoritmos utilizando o jogo *Hawk-Dove* sobre os outros algoritmos analisados, sendo que o algoritmo HDL encontrou a menor distância dentre todas as execuções.

6 Conclusão

Um longo caminho ainda será necessário trilhar para se conhecer se os Algoritmos Genéticos, com conceitos da Teoria dos Jogos incluídos, farão alguma diferença significativa sobre os outros métodos tradicionais, já divulgados pela literatura, mas segundo podemos averiguar pelos resultados obtidos até o momento, esta união promete ser vantajosa.

Existem inúmeras maneiras diferentes de modificar os Algoritmos Genéticos com a inclusão dos conceitos da Teoria dos Jogos, sendo esta apenas uma das alternativas investigadas. Outras maneiras serão futuramente criadas e analisadas para se averiguar aquelas que se destacam, em busca de um novo método.

7 Bibliografia

- [Gol89] GOLDBERG, David E.. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.
- [Hol75] HOLLAND, John H.. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. University of Michigan Press, 1975.
- [Mit96] MITCHELL, Melanie. **An Introduction to Genetic Algorithms**. MIT Press. Cambridge. 1996.
- [Pre99] PRESTWICH, Kenneth N. **A simple game: Hawks and Doves**. URL em <http://science.holycross.edu/departments/biology/kprestwi/behavior/ESS/HvD_intro.html>. Acessado em 25/02/2000.
- [Smi82] SMITH, John Maynard. **Evolution and the theory of games**. Cambridge University Press. 1982.
- [Whi93] WHITLEY, Darrel. **A Genetic Algorithm Tutorial**. Technical Report CS-93-103. Computer Science Department. Colorado State University. March 10, 1993. Published as: Whitley, Darrel. A genetic algorithm tutorial. Statistics and Computing. Vol 4, Pages 65-85, 1994. Disponível por FTP anônimo em <ftp://alife.santafe.edu/pub/USER-AREA/EC/GA/papers/tutor93.ps.gz> (29/04/2000).