

## **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE VIDA ARTIFICIAL BASEADO EM AGENTES DE COMPORTAMENTOS COMPLEXOS**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**Juliana Martins Maia Pereira (UNIVAP, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: juliana.mmp@gmail.com**

**Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos (LAC/CTE/INPE, Orientador)  
E-mail: rafael.santos@lac.inpe.br**

Julho de 2007



## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**Bolsista:** Juliana Martins Maia Pereira

Acadêmica do Curso de Ciência da Computação

Universidade do Vale do Paraíba, Faculdade de Ciência da Computação

UNIVAP/FCC

**Processo:** PIBIC/INPE – MCT

**Orientador:** Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos

Pesquisador do Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada

LAC/CTE/INPE

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

**Locais de Trabalho/Execução do Projeto:**

***Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE – MCT***

Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada-LAC/INPE/MCT

Projeto realizado no âmbito da parceria INPE/MCT – UNIVAP

## RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo realizado sobre algoritmos genéticos, que são baseados em um processo evolutivo para que possam ser obtidas melhores soluções adaptadas a um determinado comportamento. Dentre os algoritmos genéticos, uma atenção especial é dada ao método fenótipo e genótipo que utilizam informações sobre suas condições genéticas e ambientais para prever diversos tipos de mutações e evolução das espécies em estudos sobre biodiversidade.

Todo este estudo visa fornecer um simples conhecimento para implementação de um sistema em programação JAVA, baseado em vida artificial para criação de modelos de evolução de espécie em um determinado ambiente verificando a mutação de seus comportamentos, tornando possível prever qual será sua organização e composição de um ecossistema. Este sistema tem por aplicação final, permitir um estudo da utilização de algoritmos genéticos em conjunto com uma base de dados de espécies em biodiversidade juntamente com o aprendizado em linguagem de programação orientado a objetos.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>6</b>
1.1 SISTEMAS DE VIDA ARTIFICIAL .....	6
1.2 OBJETIVO.....	8
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....	9
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>11</b>
<b>2. EMBASAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
2.1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	11
2.2 COMPUTAÇÃO EVOLUTIVA.....	11
2.3 ALGORITMOS GENÉTICOS.....	12
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>13</b>
<b>3. DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>13</b>
3.1 METODOLOGIA DO ALGORITMO GENÉTICO .....	13
3.1.1 CRIAR UMA POPULAÇÃO INICIAL DE INDIVÍDUOS .....	13
3.1.2 AVALIAR A ADAPTABILIDADE DOS INDIVÍDUOS .....	13
3.1.3 ARMAZENAR OS MELHORES INDIVÍDUOS .....	14
3.1.4 VERIFICAR CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO DO RESULTADO.....	14
3.1.5 APLICAR MODIFICADORES DE ESTRUTURAS À POPULAÇÃO .....	14
3.1.8 REINICIAR ITERAÇÃO.....	16
3.1.9 CONJUNTO DE PARÂMETROS .....	17
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>18</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>20</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>20</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de Recombinação Externa.....	15
Figura 2 - Exemplo de Recombinação Interna.....	16
Figura 3 - Exemplo de Mutação.....	16
Figura 4 - Simulação 54 Espécies.....	19
Figura 5 - Simulação 212 espécies.....	19
Figura 6 - Simulação 436 Espécies.....	20
Figura 7 - Simulação 195 espécies.....	20

## Capítulo 1

### Introdução

#### 1.1 Sistemas de vida artificial

O cientista Jean Baptiste Lamarck foi o verdadeiro descobridor da evolução em sistemas de vida artificial, porém não havia muitas evidências por volta de 1800 para provar suas pesquisas. Darwin também pesquisador, por outro lado, coletou exemplos para provar seus trabalhos e então se tornou o grande pesquisador na área da evolução. Juntamente as idéias de Darwin e Lamarck sobre seleção natural, como as teorias de Newton, sofreram algumas mudanças e muitas foram acrescentadas aos seus trabalhos no decorrer destes anos.

O estudo de vida artificial necessariamente define que é possível sintetizar algo que satisfaz as condições para sobrevivência. Um detalhe principal para entender como criaturas artificiais poderiam ser consideradas vivas, está em compreender a essência de um sistema e a lógica de sua organização. Vida Artificial trata as propriedades emergentes. Uma propriedade emergente é criada quando algo ou um conjunto de eventos tornam inevitáveis, quase inesperados. O impacto desse evento é que sua criação faz outros passos inevitáveis, exceto se principais mudanças ambientais acontecem. Não há uma estipulação de que um ambiente deve espelhar a vida real. Esses sistemas solucionam muitos problemas que são geralmente complexos para se resolver manualmente e muitas vezes levam muito tempo para acontecerem. É utilizado para definir informação, criar agentes de informação e automatizar eventos que mudam e não podem ser programados facilmente. Neste tipo de sistema de vida artificial as criaturas interagem com um ambiente em busca de recursos. Aqueles com melhor desempenho podem criar suas espécies. Os resultados são populações que quando vistas em movimento, move-se como se estivessem vivas.

Todas essas criaturas são criadas por programadores, mas logo encontram as mesmas formas que a natureza usa para alcançar suas metas. Nas palavras do pesquisador Karl Sims "As criaturas sugerem que deve ser

mais fácil de evoluir para entidades virtuais exibindo comportamento inteligente do que o homem projetar e construí-las".

Um dos problemas destes tipos de sistema é que não há uma adaptação de geração para geração de uma população de agentes. A variação é considerada importante para a sobrevivência de uma espécie. Uma espécie tem que sobreviver em um ambiente, e alguns ambientes são sempre instáveis. Se nenhuma criatura consegue aumentar suas chances de sobrevivência então o que se pode fazer é reproduzir-se, mas uma criatura não fértil não pode se reproduzir. Para uma espécie sobreviver ela tem que participar da corrida pelas armas evolucionárias. Para se manter uma espécie tem que evoluir para se adaptar, e adaptação só pode ocorrer através de alguma forma de alteração genética.

Esta alteração genética é considerada mutação em um sistema e pode ser do tipo assexuada permitindo à adaptação, mas pode também levar a grandes mutações consideradas sem sucessos. A seleção natural pode acabar como erros de análise de dados do sistema. Por melhor que este sistema o funcione pode ser tão aleatório que se torna ruim para a análise de um ambiente real e para que possam ser obtidos bons resultados é necessário analisar várias gerações de população.

A melhor solução é a recombinação das informações genéticas. A recombinação de conjuntos genéticos similares resulta em um DNA (*Desoxirribo Nucleic Acid*) que é combinação de partes que funcionam como um conjunto de instruções livres de erro.

Como este fenômeno ocorre na natureza, ocorrerá também para vida artificial.

Evolução e seleção natural se tornou uma ferramenta computacional muito poderosa e tem produzido resultados úteis e surpreendentes. Sistemas de evolução são utilizados atualmente na programação na área de IA conhecida como algoritmos genéticos. Estes são sistemas que são feitos para crescerem, se evoluírem.

## 1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é explorar os mecanismos de evolução através de evolução e seleção natural para otimizar comportamentos complexos de agentes inteligentes. Habitualmente, a definição da estratégia do agente passa por uma avaliação empírica do seu comportamento, detecção de ações inapropriadas e correção da respectiva estratégia. Este ciclo será repetido até que possa ser atingida uma estratégia de sucesso.

Esta técnica modela a estratégia do agente de acordo com o que o programador considera melhor, muitas vezes sem nenhum tipo de validação concreta. O que se pretende é que estes melhoramentos sejam determinados não por uma avaliação do programador, mas por provas dadas da qualidade da estratégia para seus comportamentos.

A seleção natural como mecanismos de evolução sempre foi admirada por pesquisadores pelos resultados obtidos: como a biodiversidade que existiu e existe. Mais fascinante ainda será à base deste mecanismo: a aleatoriedade. Algoritmos de geração e teste, com o seu fraco desempenho, sempre pesaram para a idéia de que a pesquisa aleatória não é um grande sucesso.

Os algoritmos genéticos e a sua ampla utilização provam que o conceito seleção natural tem várias aplicações no campo da otimização, embora esses algoritmos necessitam de uma função de avaliação da população a fim de escolher as soluções que passam para a próxima geração.

A motivação é criar um ambiente que reproduza o mecanismo de seleção natural como ele realmente acontece na natureza. As populações mais aptas transmitem as suas características através de genes à descendência, sendo essa aptidão demonstrada não por avaliação intrínseca das suas capacidades, mas pela qualidade da interação com o ambiente (o detalhe de uma interação de qualidade é aquela que permite a criatura reproduzir-se e sobreviver).

Assim, as espécies desta simulação vivem num ambiente hostil, em que todas as outras criaturas são potenciais agentes inteligentes competitivos, e todos competem por os mesmos recursos limitados. A sua aptidão é demonstrada pela sua capacidade de sobreviver.



Do ponto de vista conceitual, o que difere os agentes é a sua estratégia de ação. A simulação deverá ser observada e analisada como uma competição de estratégias, em vez de uma competição de criaturas. As criaturas transmitem suas estratégias aos descendentes.

Através desta simulação espera-se que exista uma evolução. Para tal, é necessária que nessa transmissão ocorram mutações, e que a estrutura de dados da mutação tenha significado para quem vai interpretá-la.

Assim a proposta é construir um agente com um conjunto estratégico, e depois alterá-la de modo a que suportasse “possíveis melhoras” definidas através dos genes. Os melhores genes serão passados para a descendência e sucessivamente melhorados. Assim espera-se encontrar uma relação entre as variáveis do ambiente e o sucesso necessário à estratégia.

### 1.3 Organização do Trabalho

Após o esclarecimento inicial sobre da importância da realização deste trabalho e dos objetivos a serem alcançados, os capítulos a seguir irão apresentar, de forma mais detalhada, o seu desenvolvimento.

Logo a seguir, o segundo capítulo Embasamento Teórico, apresenta os temas e estudos realizados durante a elaboração deste trabalho. Iniciando com uma definição mais específica da área de atuação, o capítulo aborda breve histórico e conceitos da área de pesquisa de Inteligência Artificial, detalhando logo a seguir sobre uma especialização da área que é classificada como o ramo de Computação Evolutiva. Após esta classificação, o segundo capítulo aborda com maiores detalhes os Algoritmos Genéticos, sobre sua definição e modo operacional.

Finalizando o capítulo, um estudo detalhado do Algoritmo Genético é apresentado, comentando cada uma das atividades requeridas no algoritmo a ser implementado.

O terceiro capítulo já inicia a descrição das atividades práticas realizadas para o desenvolvimento do projeto. Continuando o processo de organização da informação, as variáveis consideradas são apresentadas, possibilitando deixar

como referência o tipo de formação que os elementos (conjuntos de regras) irão possuir. Finalmente, na primeira seção do terceiro capítulo, é dada uma breve descrição dos recursos utilizados.

Como desenvolvimento do trabalho, o terceiro capítulo continua e descreve a modelagem proposta para fornecer suporte e prover uma solução completa voltada à modelagem genética.

Encerrando o terceiro capítulo, o tópico de implementação fornece maiores detalhes sobre o desenvolvimento do sistema, com exemplificação do código-fonte desenvolvido.

O quarto capítulo é iniciado através da demonstração do sistema e seus respectivos resultados.

O último capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado definindo também próximos passos para continuação da pesquisa, sendo seguido pela bibliografia utilizada

## Capítulo 2

### Embasamento Teórico

#### 2.1 Inteligência Artificial

Desde os primeiros cientistas da computação, como os conhecidos Alan Turing, John Von Neumann dentre outros, a idéia de se obter uma máquina dotada de certa inteligência era um objetivo principal. Neste sentido, as principais metodologias se baseavam em princípios naturais, buscando aplicar os processos naturais às máquinas, levando os cientistas a campos de pesquisa além da computação tais como a filosofia, psicologia e biologia. BUCHANAN (2003) define uma linha do tempo da área de Inteligência Artificial que remonta da era de Aristóteles.

Entretanto, o termo “Inteligência Artificial” foi utilizado em 1956 por John McCarthy. Desde então, a área de Inteligência Artificial permanece em grande crescimento e inicia o aumento da área em uma seqüência de novos campos como redes neurais, aprendizado de máquinas e também o campo da computação evolucionária.

#### 2.2 Computação Evolutiva

Segundo MICHELL (1998), a idéia de aplicar um método evolucionário para solucionar problemas de engenharia já era estudada de forma independente por vários cientistas da computação nas décadas de 1960 e 1970.

A idéia principal desses estudos era evoluir uma população de possíveis soluções a um problema, utilizando operadores inspirados na variação genética e na seleção natural. Ainda conforme MICHELL (1998), no campo da computação evolucionária, surgiram três vertentes mais específicas no modo de se resolver problemas. Estratégias Evolutivas, por Rechenberg em 1965 e 1973, Programação Evolutiva, desenvolvida por Fogel, Owens e Walsh em 1966 e Algoritmos Genéticos, apresentados por John H. Holland em 1975.

## 2.3 Algoritmos Genéticos

Algoritmos Genéticos fazem parte do ramo de Computação Evolucionária, pertencente à área de Inteligência Artificial. Inicialmente desenvolvidos na década de 60 por John H. Holland, os algoritmos genéticos baseiam-se em um processo evolutivo onde novos conjuntos de soluções são criados até que certas condições sejam atingidas, em outros termos, procuram-se soluções melhor adaptadas a uma situação. Conforme HOLLAND, adaptação, em qualquer contexto, envolve uma modificação progressiva de alguma estrutura ou estruturas. Sugere que, em um processo de adaptação existem os modificadores das estruturas, responsável por criar novas estrutura possivelmente melhor adaptada a uma situação. Esta situação é denominada por ele como “the environment of the system undergoing adaptation - o ambiente do sistema submetido à adaptação” (HOLLAND, 1992).

A ação dos modificadores nas estruturas corresponde ao plano adaptativo que, segundo HOLLAND (1992), determina quais estruturas aparecem em resposta ao ambiente, e o conjunto de estruturas alcançável, e, aplicando todas as seqüências possíveis de operadores, define os limites do domínio de ação do plano adaptativo.

Uma medida de aptidão, definida por HOLLAND (1992), identificará, a cada estágio do plano adaptativo, as estruturas mais adaptadas ao ambiente e que terão maior influência nas estruturas do próximo estágio do plano adaptativo. Estes conceitos abordados pelos algoritmos genéticos são uma representação de processos naturais de adaptação das espécies. Considerando esta abordagem, os principais modificadores que estariam atuando sobre as estruturas são, na maioria das vezes, simulações dos processos de sobrevivência, reprodução, mutação e extinção dos indivíduos de uma população.

## Capítulo 3

### Desenvolvimento

#### 3.1 Metodologia do Algoritmo Genético

##### 3.1.1 Criar uma População Inicial de Indivíduos

O conjunto inicial de informações genéticas contendo pontos de existência e/ou existência da espécie em estudo, de forma referenciada é utilizada como ponto de partida da identificação de uma população inicial de indivíduos. Estes indivíduos são estruturas formadas por regras que regem as condições nas quais a espécie em estudo teve a existência ou inexistência comprovada.

Para elaboração das regras, as informações relativas a condições ambientais e topográficas são recuperadas de acordo com a referência DNA e temporal de cada registro apresentado nas informações genéticas.

Este conjunto de indivíduos pode ser estabelecido de forma específica ou mesmo recuperado de forma randômica, dentro do universo de dados informados. A quantidade de indivíduos que esta população estará abrigando é estabelecida no início do processamento do algoritmo.

##### 3.1.2 Avaliar a Adaptabilidade dos Indivíduos

Em uma população, sempre existirão os indivíduos mais representativos e mais aptos a determinadas situações.

Neste conceito, cada indivíduo formado por um conjunto de regras, tem sua aplicabilidade testada com base no conjunto de pontos de existência e/ou inexistência informada inicialmente.

Para isto, as regras de cada indivíduo são aplicadas ao conjunto de dados e a medida de adaptabilidade do indivíduo corresponde à respectiva porcentagem de dados que atendem àquele conjunto de regras.

Deste processo é possível obter uma classificação que represente quais indivíduos ou, conjunto de regras, são mais representativos na definição de existência ou ausência da espécie em estudo.

### 3.1.3 Armazenar os Melhores Indivíduos

Nesta atividade, o conjunto representando os melhores indivíduos é armazenado para referência posterior na possível definição de solução. Corresponde ao histórico das populações geradas que poderá ser utilizado para verificar o índice de alteração entre duas populações.

### 3.1.4 Verificar Critério de Aceitação do Resultado

Após a avaliação e armazenagem dos melhores indivíduos, uma verificação ocorre visando identificar o nível de alteração entre os melhores indivíduos da população obtida em uma iteração anterior e os melhores indivíduos da população atual. Este nível de alteração, em conjunto com um parâmetro inicial do algoritmo, define o grau de convergência aceitável como resultado no processamento do algoritmo. Caso este grau seja atingido, o processamento é encerrado e o conjunto armazenado é apresentado como solução.

### 3.1.5 Aplicar Modificadores de Estruturas à População

Após a constatação que o nível de alteração e/ou adaptabilidade dos indivíduos não corresponde com a precisão desejada, a população será utilizada na criação de uma nova população, após a aplicação de diversos modificadores.

Estes modificadores, também chamados de operadores heurísticos (STOCKWELL; PAYNE, 2003), são responsáveis por alterar o espaço de busca do algoritmo e convergir a uma solução mais adequada. Os operadores mais aplicados são a união, o cruzamento e a mutação.

A partir do conjunto de indivíduos mais adaptados, conforme classificado pelo passo anterior, os primeiros indivíduos serão persistidos na nova população e realizarão cruzamentos e uniões entre eles.

O operador de união, quando aplicado, cria a partir de dois indivíduos, um novo indivíduo contendo a união dos conjuntos de regras dos indivíduos originais. No processo de cruzamento, dois indivíduos são utilizados e um ponto de corte comum a eles é estabelecido aleatoriamente. A partir deste ponto de corte, as regras são trocadas entre os indivíduos, obtendo indivíduos com nova organização de regras.

O processo de mutação age alterando uma regra de um indivíduo para novos valores definidos aleatoriamente. Ao agir sobre um indivíduo, uma de suas regras será escolhida para sofrer mutação, que pode afetar tanto a variável que define a regra, como o operador da regra (igualdade, desigualdade, etc.) ou constante valorada. Este processo é importante no quesito de encontrar novas áreas de busca que, possivelmente, poderiam trazer resultados mais aptos à solução desejada.

### 3.1.6 – Processo de Recombinação

A recombinação é utilizada durante a reprodução e irá atuar nos cromossomos dos dois agentes-pai, gerando dois novos agentes-filho. O número de regras do agente-filho gerado será igual à média do número de regras dos seus pais. A recombinação embaralha as regras do agente-pai, para que possa atuar de duas formas distintas através da recombinação externa e recombinação interna. Na recombinação externa, as regras são trocadas entre o agente-pai, ou seja, não há uma modificação nas regras, apenas um embaralhamento das mesmas na geração do agente-filho. Como pode ser visto no exemplo da figura 1.

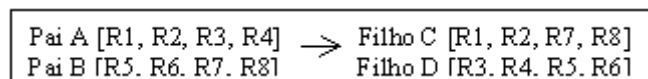


Figura 1. Exemplo de Recombinação Externa.

Quando recombinação interna é utilizada, deve haver uma troca de elementos de regras entre o agente-pai, gerando regras novas para os agentes-filho. Como exemplificado na figura 2.

R1[Pai A] = Expr. X AND Expr. Y	→	R1[Filho C] = Expr. X AND Expr. W
R2[Pai B] = Expr. Z OR Expr. W		R2[Filho D] = Expr. Z OR Expr. Y

Figura 2. Exemplo de Recombinação Interna.

### 3.1.7 - Mutação

A mutação Consiste na modificação do cromossomo do agente-filho, para que possa alterar o conjunto de regras de comportamentos deste agente após a recombinação. Este método executa durante a reprodução dos agentes de duas formas: modificação de uma regra específica e número de regras. A primeira forma consiste na estrutura de todas as regras do agente-filho, após a realização da recombinação. Para cada elemento da regra de comportamento, é aplicada uma regra da roleta na qual irá definir se o operador de mutação deve ou não ser aplicado neste elemento. Se houver indicação positiva, o operador troca o elemento por um outro elemento do mesmo valor, como visto na figura abaixo.

SE Percebe Agente(ANT) AND Tempo Vida<10 THEN Executa Ação(Fuga)
↓
SE Percebe Agente(ANT) OR Tempo Vida<10 THEN Executa Ação(Fuga)

Figura 3. Exemplo de Mutação.

A segunda maneira consiste em o número de regras a ser utilizada por cada agente. Esta mutação acaba por gerar indivíduos com diferentes números de regras, o que aumenta a probabilidade do espaço de busca. Através da regra da roleta, são sorteados dois números: no qual o primeiro indica a confirmação da alteração ou não do número de regras e o segundo indica a quantidade de regras que devem ser acrescentadas ou deletadas.

### 3.1.8 Reiniciar Iteração



Finalizando, o processo retorna ao passo anterior para uma avaliação da adaptabilidade de cada indivíduo desta nova população. Como critério de parada, também pode ser utilizado um contador de gerações que será incrementado após cada iteração.

### 3.1.9 Conjunto de Parâmetros

O sistema apresenta um conjunto de parâmetros de configuração do algoritmo relacionados à inicialização e critérios de parada de processamento. As configurações de inicialização são as seguintes:

- Taxa de aplicação do operador de cruzamento representa a probabilidade de ocorrer um cruzamento no momento de aplicação de operador heurístico.
- Taxa de aplicação do operador de união representa a probabilidade de ocorrer uma união no momento de aplicação de operador heurístico.
- Taxa de aplicação do operador de mutação representa a probabilidade de ocorrer uma mutação no momento de aplicação de operador heurístico.
- Tamanho da população define a quantidade de indivíduos que cada população poderá ter.
- Taxa de mortalidade representa o índice de mortalidade em cada geração. Esta taxa define a porção renovável de indivíduos a cada nova geração.

Uma vez iniciado o processamento, o sistema entra em laço de execução até que pelo menos uma das condições de parada seja encontrada. Estas condições de parada são as seguintes:

- Quantidade máxima de gerações esta condição de parada restringe a quantidade máxima de novas populações geradas.
- Índice de adaptabilidade representa o índice mínimo aceitável de adaptabilidade de um indivíduo como solução do modelo. Esta

configuração será sempre utilizada em conjunto com a Taxa de análise de adaptabilidade.

- Taxa de análise de adaptabilidade representa o percentual de indivíduos que deverão atender à configuração de Índice de adaptabilidade para serem considerados aceitáveis

## **Capítulo 4**

### **Resultados**

O Sistema de Vida Artificial resulta em um sistema em JAVA de simulação de diferentes espécies exemplificadas através de desenhos geométricos especificando vários tipos de populações com características genéticas. O sistema se inicia com um número de espécies e no decorrer do

tempo essas espécies vão perdendo vitalidade no que prejudica para que possam sobreviver e se reproduzirem a fim de garantir a sobrevivência de sua espécie e permitir a troca de suas informações genéticas através do recurso fenótipo e genótipo com a reprodução, permitindo a criação de novas espécies ocorrendo uma determinada mutação.

A execução do sistema de vida artificial permitiu constatar a convergência que existe na implementação do método algoritmo genético na obtenção de conjuntos de regras que possuem alto índice de adaptabilidade.

Baseado em um conjunto de dados de espécies gerados manualmente de forma aleatória, o sistema foi executado com os seguintes critérios de inicialização e parada de simulação de diferentes espécies:

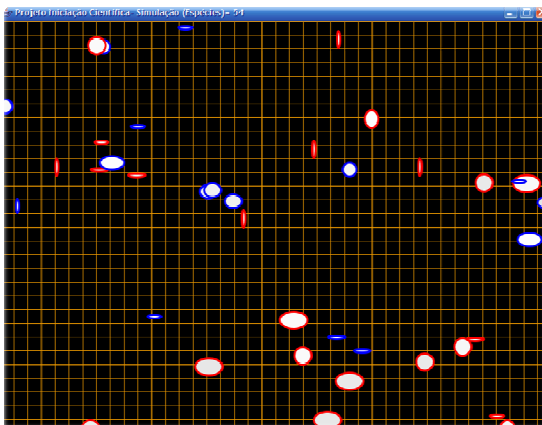


Figura 4 – Simulação 54 Espécies  
Estado Inicial

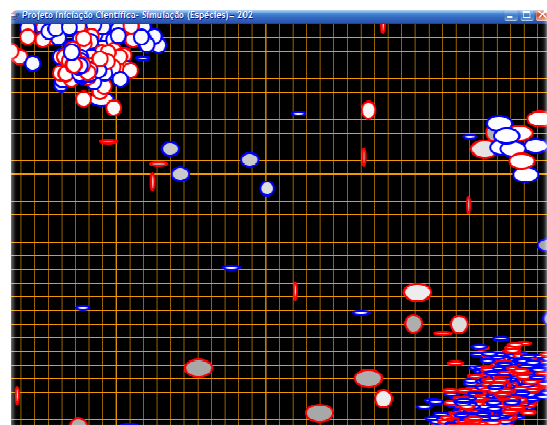


Figura 5 – Simulação 212 espécies  
Ambas as Espécies Adaptadas

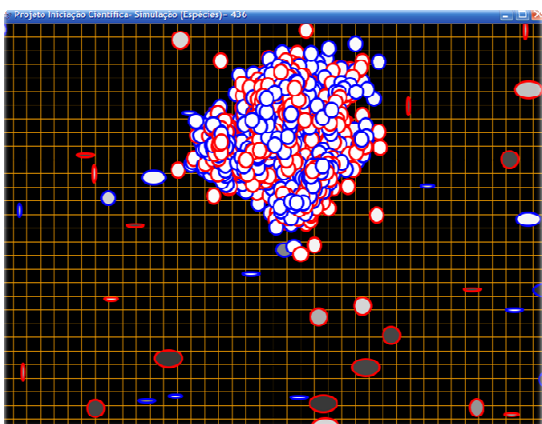


Figura 6 – Simulação 436 Espécies  
Adaptação da 1ª Espécie

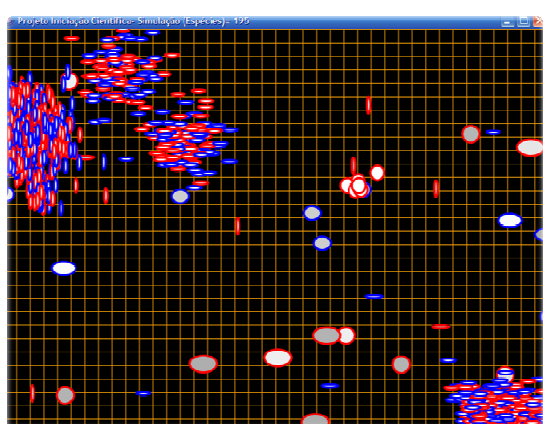


Figura 7 – Simulação 195 espécies  
Adaptação da 2ª Espécie



## **Capítulo 5**

### **Conclusão**

O sistema virtual tem como objetivo fornecer um sistema de construção de simulações de Vida Artificial baseado em comportamentos de agentes complexos.

Para tanto, diversas pesquisas e métodos de estudos em Vida Artificial e, em segundo plano, dos Algoritmos Genéticos e Evolutivos, foram estudados para uma melhor compreensão e implementação do sistema evolucionário artificial. Novos operadores genéticos foram definidos, testados e implementados ao algoritmo desenvolvido, com o fim de melhorar a

compreensão da própria evolução genética, e resolução de problemas do mundo real.

A aplicação de Algoritmos Genéticos a este domínio de modelagem ambiental surge como alternativa a outros algoritmos de busca que poderiam inviabilizar a criação de um modelo de predição. Esta inviabilidade pode ocorrer devido à grande quantidade de variáveis necessárias para a criação dos modelos e também à falta de informações no campo de atuação definido. Com a utilização de algoritmos genéticos, esta falta de informações não impossibilita a busca por uma solução.

Outro aspecto resultante de algoritmos de busca alternativos é a possibilidade dos resultados se restringirem a mínimos e máximos locais, não tendo então uma melhor representação da realidade. Este problema é mais bem coberto pelo algoritmo genético através da criação de novas frentes de buscas após a aplicação dos modificadores de estruturas.

A implementação do modelo estruturado e sugerido permite disponibilizar serviços de criação de modelos de nichos ecológicos com um melhor aproveitamento dos dados, possibilitando avanços importantes nas pesquisas em Biodiversidade.

Uma futura linha de pesquisa pode surgir com a implementação deste modelo em conjunto com técnicas de processamento paralelo para agilizar e permitir buscas mais extensas com melhor grau de precisão.

## **Referências Bibliográficas**

Livros:

- [1]RUSSELL S.; NORVIG. P. Inteligência Artificial. Tradução da segunda edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- [2]BITTENCOURT, G. Inteligência Artificial Ferramentas e Teorias. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.
- [3]MICHELL, M. An Introduction to Genetic Algorithms (Complex Adaptive Systems). MIT Press., 1998.
- [4]HOLLAND, J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Cambridge, Massachusetts: University of Michigan Press. MIT Press., 1992.

**Citações:**

Para Karl Sims(1994) "As criaturas sugerem que deve ser mais fácil de se evoluir para entidades virtuais exibindo comportamento inteligente do que o homem projetar e construí-las".

**Artigos da Internet:**

"Evolving Virtual Creatures" K.Sims, Computer Graphics (Siggraph '94 Proceedings), July 1994, pp.15-22.

Disponível em <<http://www.genarts.com/karl/papers/siggraph94.pdf> >  
Acesso em : Fevereiro 2007

"Evolving 3D Morphology and Behavior by Competition" K.Sims, Artificial Life IV Proceedings, ed.by Brooks & Maes, MIT Press, 1994, pp.28-39.

Disponível em: <<http://www.genarts.com/karl/papers/alife94.pdf>>  
Acesso em : Abril 2007

"American Association for Artificial Intelligence. **History of AI**" BUCHANAN, B.G.

Disponível em: < <http://www.aaai.org/AITopics/bbhist.html>>  
Acesso em: Maio 2007.

"Genetic algorithms for species distribution modeling" STOCKWELL, D.R.B

Disponível em: <<http://biodi.sdsc.edu/~davids/Project/SGER/GAS/outline.html>>  
Acesso em: Maio 2007.