

A.L.I.V.E.

Vida Artificial em Ambientes Virtuais: Uma plataforma experimental em realidade virtual para estudos dos seres vivos e da dinâmica da vida

Rogério Neves, Marcio Lobo Netto
Laboratório de Sistemas Integrados, Escola Politécnica,
Universidade de São Paulo
{rponeves, lobonett}@lsi.usp.br

RESUMO: Este trabalho descreve os estudos realizados sobre o tema Vida Artificial, que levaram à criação do projeto A.L.I.V.E. (*Artificial Life in Virtual Environments*) desenvolvido no Laboratório de Sistemas Integrados da Escola Politécnica da USP. O projeto tem como objetivo a aplicação de tecnologias de realidade virtual na visualização de experimentos em Vida Artificial. A plataforma implementada utiliza-se do paradigma de orientação a objetos, fazendo uso dos recursos disponíveis através da linguagem Java e do API Java3D, o que garante portabilidade e compatibilidade com diversos dispositivos, também possibilitando a visualização de experimentos em páginas interativas na Internet. O programa foi desenvolvido num contexto multi-agentes e prevê sua utilização em arquiteturas distribuídas e multi-processadas, fazendo uso da capacidade de *multi-threading* da linguagem Java.

ABSTRACT: This work describes the studies conducted under the theme Artificial Life, which led to the creation of the A.L.I.V.E. (*Artificial Life in Virtual Environments*) project, developed on the Laboratory of Integrated Systems of the Polytechnic School at USP. The project intends to apply virtual reality technologies to the visualization of Artificial Life experiments. The developed platform employs an object oriented paradigm, making use of resources available through Java language and the Java3D API, what grants portability and device compatibility, also making possible browser-based execution of experiments in interactive web pages. The program was developed in a multi-agent context, allowing the execution on distributed and multi-processed architectures, making use of the multi-threading capability of the Java language.

1. Introdução

Este trabalho apresenta os estudos realizados sobre o tema “Vida Artificial”, compreendendo teoria e aplicação, realizados durante o programa de mestrado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, descrevendo a especificação e desenvolvimento do projeto A.L.I.V.E. (*Artificial Life in Virtual Environments*). O projeto contemplou uma fase de pesquisa teórica, cujo objetivo foi relacionar muito do que já foi feito e está em atual desenvolvimento em pesquisa relacionada ao tema, e uma fase prática que descreve uma implementação computacional dos conceitos estudados, na forma de uma plataforma experimental de desenvolvimento de simulações.

Como parte do projeto, foi proposto o desenvolvimento de uma plataforma computacional para experimentação, cujo objetivo é tornar o processo de implementação de experimentos em “Vida Artificial” simples e rápido, fazendo uso do “estado de arte” dos sistemas de visualização disponíveis, como placas aceleradoras gráficas 3D e dispositivos de realidade virtual, deixando a interface aberta à possibilidade de aplicação de tecnologias vindouras, visando tornar a experiência realizada no “Ambiente Virtual” visualmente rica e interativa.

Técnicas de visualização científica são empregadas para ilustrar variáveis dinâmicas ou características genéticas através da coloração, transparência e textura, tornando a exibição da informação mais natural e reduzindo a quantidade de informação numérica, exibida regularmente através de tabelas ou gráficos. A plataforma desenvolvida também prevê sua utilização em dispositivos de Realidade Virtual, como monitores com visores estereoscópicos (*Shutter Glasses*), *Head Mounted Displays* (HMD) e salas de imersão tipo CAVE [CRUZ-NEIRA, 1992] [CAVERNA SITE]. O projeto também prevê sua execução em modo *Applet*, permitindo a execução de aplicativos em páginas interativas na Internet.

Experimentos foram desenvolvidos como prova de conceito utilizando o contexto da plataforma, visando demonstrar sua eficiência para rápida prototipação de experimentos em Vida Artificial. Os experimentos demonstram conceitos fundamentais de Vida Artificial e apresentam comportamentos que podem ser generalizados a fenômenos observados na natureza.

Fases do projeto:

- Parte teórica
 - Estudos relacionados
 - Levantamento sobre projetos atuais
 - Problemas abertos
- Parte prática
 - Desenvolvimento da plataforma
 - Desenvolvimento de experimentos

O texto completo da dissertação se encontra disponível *on-line* no sítio do projeto [ALIVE SITE] e nas bibliotecas da Escola Politécnica da USP.

2. Conceitos teóricos

“Vida Artificial”, ou Vida Artificial, é um campo de estudos relativamente recente e ainda pouco explorado. Historicamente o termo data de 1987, quando foi usado para descrever uma conferência realizada em Los Alamos, Novo México, sobre a “Síntese e simulação de sistemas vivos” [LANGTON, 1989].

Como disciplina, “Vida Artificial” está vinculada ao uso de modelos computacionais, envolvendo diretamente estudos de Engenharia de Sistemas, Ciência da Computação e Cibernética, sendo conceitualmente similar a um campo anterior de estudo chamado “Inteligência Artificial” que visa extrair a estrutura lógica elementar da inteligência, construindo programas de computador que “pensam”, mesmo que de maneira rudimentar. “Vida Artificial” por sua vez, espera criar programas de computador não mais espertos que uma abelha, porém tão vivos quanto em uma colméia.

“Vida Artificial” usa o computador como instrumento principal. Como foram os telescópios para a astronomia e os microscópios para a biologia, o computador visa tornar alguns aspectos espaço-temporais visíveis ao olho humano, possibilitando a

observação de eventos que ocorrem em escalas arbitrárias de espaço e tempo, tornando também visíveis aspectos abstratos, ou que excedem a capacidade de visualização humana. O computador torna possível a observação de milhões de anos de evolução em apenas alguns minutos de simulação, ou a condução da interação entre microorganismos pelo usuário, interativamente, em tempo real.

“Vida Artificial”, pode ser definido como “uma tentativa de abstrair a forma lógica da vida de sua manifestação material”. A idéia básica parece bem simples, porém, o estudo de Vida Artificial estende uma discussão muito mais abrangente que tem ocupado as mentes de cientistas e filósofos desde o início dos tempos: “O que é vida?” [SCHRÖDINGER, 1943] [MARGULIS, 1998] [DYSON, 1999].

Christoph Adami, pesquisador da Caltech e um dos pioneiros no estudo de Vida Artificial, em seu livro “Introduction to Artificial Life” [ADAMI, 1998] define “vida” num contexto termodinâmico como sendo:

“Vida é uma propriedade de uma amostra de unidades que compartilham informação codificada em um substrato físico e que, na presença de ruído, esforça-se para manter sua entropia significativamente abaixo da entropia máxima da amostra, em escalas de tempo que excedem a escala ‘normal’ de decaimento do substrato (que contém a informação) por muitas ordens de magnitude”.

O substrato em questão refere-se ao ambiente em que a vida se desenvolve e o tipo ‘físico’ foi, até muito recentemente, o único disponível para observação. Os estudos da origem da vida, até o momento, tem se concentrado no estudo desta manifestação específica da vida, que se desenvolveu num ambiente físico rico em carbono, nitrogênio e água, utilizando demais substâncias químicas presentes para se adaptar e reproduzir. No entanto, com o advento de novas tecnologias, sobretudo a de sistemas computacionais, temos a oportunidade de estudar a vida por outro ângulo, extraindo “características gerais” da vida como propriedade, tanto na forma em que é atualmente conhecida como na forma que poderia tomar caso se manifestasse em ambientes alternativos.

Atualmente, os computadores lançam luz no estudo de sistemas complexos e em novos princípios físicos como “Comportamento Emergente”, “Caos” e “Auto-Organização”, sendo largamente empregados em simulações abrangendo praticamente todas as áreas do conhecimento humano. Fazendo uso de sua dinâmica discreta, a implementação de regras simples muitas vezes leva a resultados extremamente complexos e até imprevisíveis.

A tese base da “Vida Artificial” é que a “Vida” é mais bem compreendida como um processo sistemático complexo, constituído de relações, regras e interações. Em suma, “Vida” é uma propriedade, mais que um fenômeno, e que, potencialmente, pode ser decomposta e separada das criaturas vivas atualmente conhecidas. “Vida” como processo possui propriedades como reprodução, variação genética, hereditariedade, comportamento, aprendizado, parâmetros como em um código genético e expressões que descrevem o caminho do código até o corpo físico final. Neste contexto, “Vida”, é então descrita pelo que ‘faz’, mais do que pelo que ‘é’. A Vida extrai energia do ambiente, cresce, se regenera, se reproduz, e este conjunto de processos descrito como ‘Vida’ pode ser considerado separadamente, para que possa ser estudado, modelado matematicamente, simulado com o uso de computadores e experimentado digitalmente sem o envolvimento de criaturas vivas. Nas palavras do cientista Christopher Langton,

“A coisa mais importante a se lembrar sobre Vida Artificial é que a parte artificial não é a vida, mas os materiais. Coisas reais acontecem. Fenômenos reais são observados. É vida real em uma mídia artificial”.

O aumento da complexidade, ou “auto-organização”, parece ser fenômeno físico natural. Como é observado na evolução da vida terrestre, tão bem quanto em experimentos de Vida Artificial, existe na natureza uma tendência inexorável à formação de organismos cada vez mais complexos, culminando talvez em formas de vida inteligentes, como defende Richard Dawkins, em seu livro “O Gene Egoísta” [DAWKINS, 1976], onde afirma ser essa escalada de complexidade a rota usual de toda e qualquer forma de vida, em âmbito universal.

3. Características da plataforma

A especificação inicial do projeto visava empregar técnicas de visualização científica a experimentos de Vida Artificial, fazendo uso das tecnologias de computação gráfica e realidade virtual disponíveis. A princípio, o projeto visava utilizar os recursos do Núcleo Realidade Virtual do Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da USP, especificamente os equipamentos que compõe a CAVERNA digital, uma sala cúbica com cinco telas retro-projetadas cuja função é dar uma sensação de imersão total no ambiente virtual exibido. Sua operação é feita por seis computadores IBM-PC interconectados em um aglomerado (cluster), ou por uma estação Silicon Graphics.

A plataforma experimental proposta tinha então como objetivo disponibilizar uma interface de aplicação que simplificasse o processo de implementação de experimentos em um ambiente de desenvolvimento de fácil utilização, portátil, com suporte a dispositivos gráficos variados em um contexto multi-agentes. Também se previa a utilização de sistemas multi-processados, como o do projeto SPADE, ou de arquiteturas distribuídas, como o cluster integrado à CAVERNA digital, para se obter ganhos de desempenho. Desde a primeira versão funcional do programa, foram adicionadas funcionalidades como uma interface de usuário, aprimoramento gráfico da visualização e a possibilidade de executar os experimentos em modo *Applet*, permitindo a visualização de experimentos pela Internet, em qualquer *browser* com suporte a Java e Java3D. A filosofia de código aberto permite que usuários ao redor do mundo contribuam para o aprimoramento da plataforma, continuando seu desenvolvimento de forma colaborativa.

Tratando-se de uma simulação de agentes em um ambiente físico, que envolve comunicação entre entidades e alguma independência entre as diversas instâncias, a adoção do paradigma de POO permitiu a definição de uma arquitetura de software em uma linguagem natural, com direta analogia à estrutura observada no mundo real. Pelos motivos apresentados até agora, a escolha da linguagem JavaTM da Sun Microsystems, disponibiliza a versatilidade e robustez necessárias ao projeto, além de apresentar vantagens adicionais, como disponibilidade de material e suporte de grupos de utilizadores através da Internet.

Algumas das características propostas para o projeto são:

- Paradigma de programação orientada a objetos;
- Compatibilidade com diversas plataformas computacionais;
- Ambiente simulado tri-dimensional com dinâmica vetorial;
- Visualização em 3D (estéreo) com suporte a diversos dispositivos gráficos;

- Possibilidade de visualização em dispositivos de realidade virtual e em ambientes imersivos (CAVERNA);
- Possibilidade de execução concorrente em sistemas multi-processados, num contexto multi-agentes;
- Possibilidade de utilização de sistemas distribuídos em cluster, para otimização da performance na computação e apresentação gráfica;
- Possibilidade de execução em modo Applet, para visualização na Internet.

Para implementar muitas das características citadas, o projeto conta com o poder da linguagem Java™ e do API Java3D™, desenvolvidos pela Sun Microsystems [SUN SITE]. A plataforma disponibilizada apresenta sete classes principais e uma classe auxiliar, sendo três delas chamadas de Superclasses ou classes base para o desenvolvimento de experimentos. São elas: **Environment**, **Agent** e **Actor**. Os experimentos desenvolvidos deverão estender estas superclasses e utilizar suas variáveis e métodos públicos para construir o comportamento dos agentes e a física ambiental do experimento implementado. A Figura 1 apresenta o diagrama de classes de um experimento desenvolvido no contexto da plataforma.

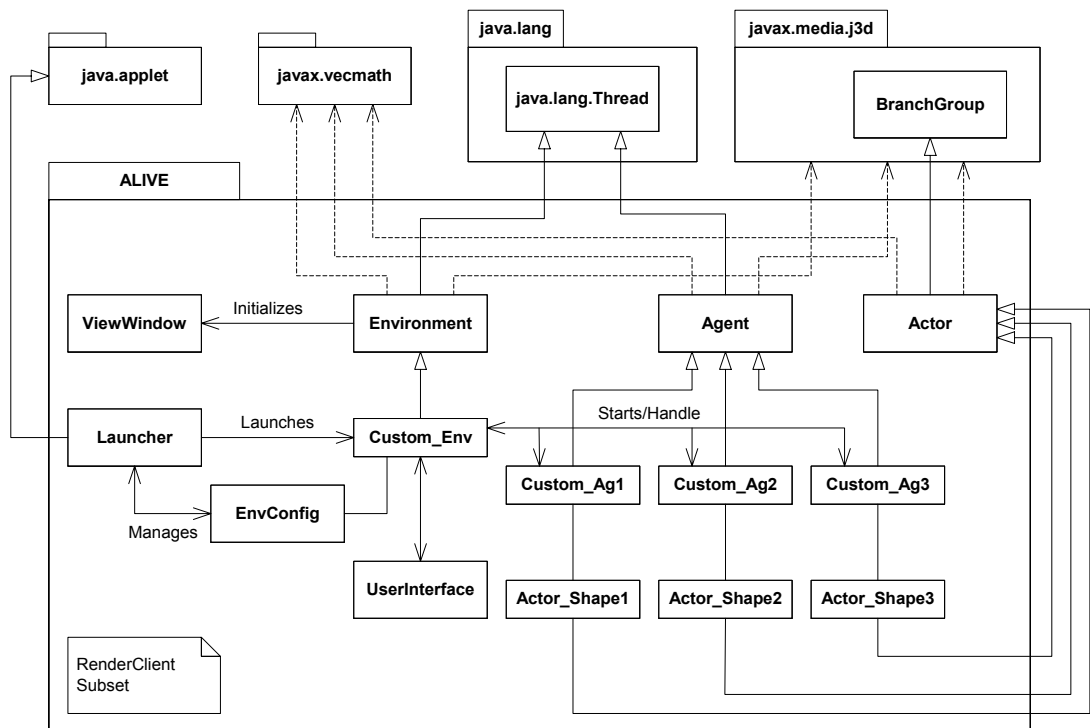


Figura 1. Diagrama de classes do pacote do projeto.

Além das classes principais, o pacote apresenta um subconjunto do cliente de síntese, formado pela classe **RenderClient** e suas dependências. Este é um segundo aplicativo contido no pacote que não se conecta diretamente a nenhuma classe do experimento em execução. Este aplicativo é iniciado em uma máquina remota cuja função é servir como estação de visualização do experimento, sendo executado em um servidor ligado na rede. O cliente de síntese de imagens pode servir tanto para reduzir a carga computacional no computador que realiza o experimento (servidor), realizando o processo de síntese em outro computador conectado na mesma rede, quanto para exibição em dispositivos com múltiplas saídas visuais, onde as saídas podem ser

controladas por computadores independentes conectados em rede, como no caso da CAVERNA digital, onde um aglomerado (cluster) com cinco computadores interconectados geram as saídas para os cinco projetores, que projetam imagens em cinco paredes dispostas na forma de um cubo (quatro lados e o chão).

4. Utilização da plataforma

Para se implementar um experimento utilizando-se as superclasses é necessário algum conhecimento de programação [DEITEL, 2002] [ECKEL, 2002] [SUN SITE], uma vez que o usuário deverá escrever o código em Java implementando as funcionalidades necessárias a seus agentes e ambientes. O usuário fará uso dos métodos e variáveis fornecidos pelas superclasses, descrevendo a dinâmica do sistema simulado através de um código intermediário ou pseudocódigo de agente e ambiente. A Figura 2 apresenta os níveis de dificuldade envolvidos no processo de criação das partes do projeto.

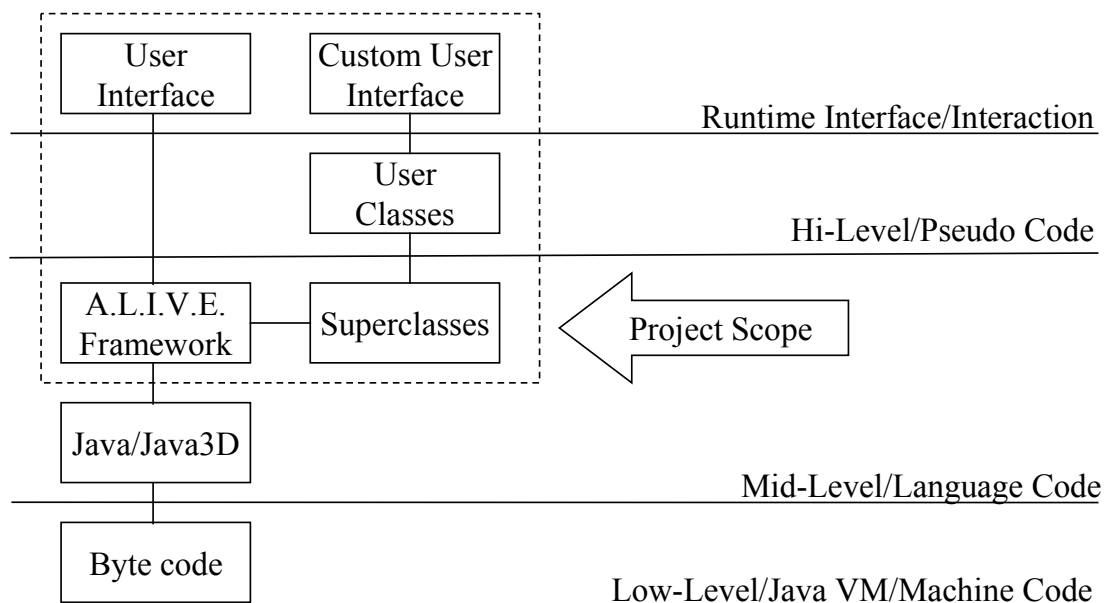


Figura 2. Escopo do projeto.

O pacote distribuído na página do projeto [ALIVE SITE] contém alguns experimentos desenvolvidos e modelos de classes (*Templates*), fornecidos juntamente com o pacote, para demonstrar a utilização dos métodos padrões nas classes base para comunicar, orientar e mover os agentes e atores no ambiente virtual. As classes modelo implementam tipos simples de agentes e de ambiente que desempenham funções elementares.

As classes modelo podem ser utilizadas para iniciar novos experimentos, uma vez que possuem as referências necessárias para elaboração do código pelo usuário, como os métodos abstratos e comentários sobre seu funcionamento. Para tanto, o usuário deve copiar todo o conteúdo de texto da classe modelo para classe recém criada (*user_Environment.class*, *user_Agent.class*), modificando no código o nome da classe e do método construtor para coincidir com o nome do arquivo. Posteriormente, deve-se introduzir nos métodos padrão o comportamento (*behavior*) desejado para os agentes simulados e a dinâmica específica para o ambiente.

5. Experimentos desenvolvidos

Alguns “estudos de caso” foram desenvolvidos para ilustrar a aplicação da plataforma para realização de experimentos em Vida Artificial, demonstrando conceitos e sugerindo estudos a serem realizados com o uso da plataforma desenvolvida. Os experimentos envolvem tanto pesquisas contidas no âmbito do próprio projeto ALIVE, cujos resultados foram submetidos para congressos e simpósios, quanto pesquisas correlatas de membros do grupo de vida artificial para demonstrar o uso da plataforma para implementação da prova de conceito em suas pesquisas.

Além dos testes da plataforma, alguns dos experimentos realizados são:

- Sistema Presa-predador: Visando o estudo da dinâmica populacional de um ecossistema envolvendo diversas espécies;
- Algas: Demonstra a eficiência dos mecanismos evolutivos na adaptação das espécies às condições ambientais variantes;
- Cardume de peixes: Estuda a relação entre adaptação evolutiva e cognitiva, comparativamente;
- Aglomeração ou *Flocking*: Demonstra como comportamentos complexos observados na natureza podem ser obtidos através de regras simples;
- Demonstrações em biologia: Algumas demonstrações de processos biológicos, como mitose, crescimento de fungos e infecções por vírus.

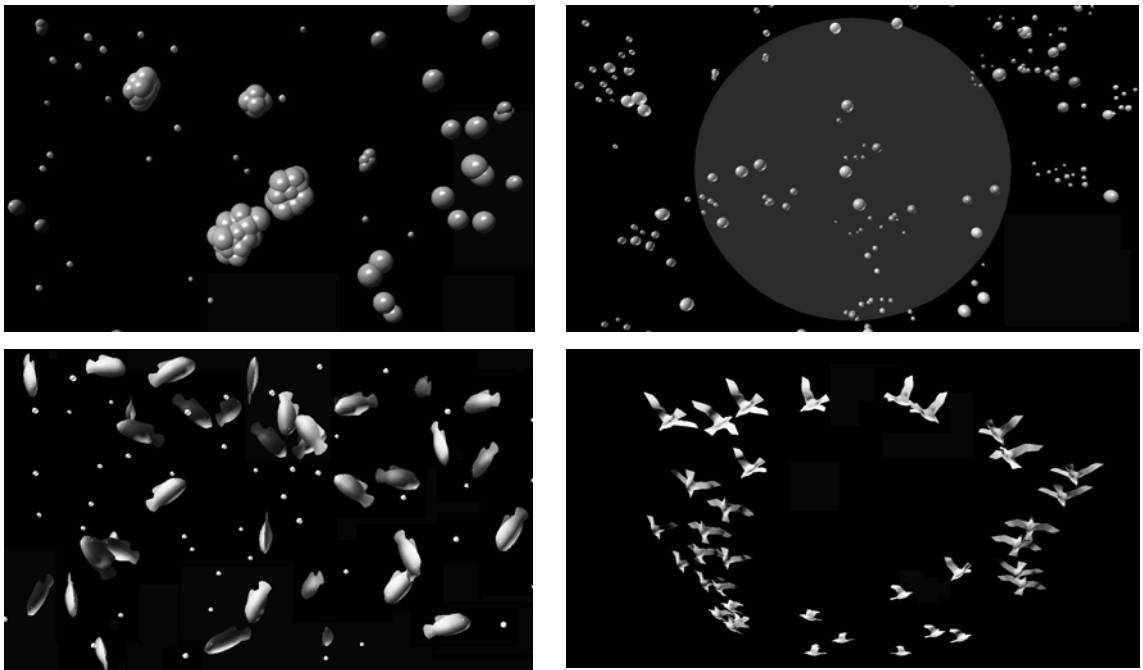


Figura 3. Saída visual dos experimentos: Sistema Presa-predador, Alga, Cardume de Peixes, e Aglomeração, respectivamente.

A Figura 3 apresenta algumas saídas visuais dos experimentos desenvolvidos. Os experimentos podem ser acessados *on-line* pela Internet no sítio do projeto [ALIVE SITE], ou obtidos através de sua distribuição pelo serviço *SourceForge.net*. Uma explicação detalhada da utilização acompanha os experimentos e seu funcionamento é descrito em detalhes no texto da dissertação.

6. Conclusões

Durante a implementação do projeto, este sofreu diversas modificações. Porém, as idéias iniciais foram basicamente mantidas. As modificações sofridas visavam tanto melhoras na arquitetura, quanto aumento da flexibilidade do programa. Espera-se que tais mudanças continuem ocorrendo, enquanto a plataforma experimental continuar em desenvolvimento. Também, a filosofia de código aberto permite que o projeto receba contribuições externas ao laboratório onde foi inicialmente criado.

Além do uso para estudos científicos, espera-se que o projeto sirva como ferramenta de divulgação para trabalhos em Vida Artificial, através da disponibilidade na Internet de experimentos, juntamente com o código fonte, permitindo transformar qualquer computador pessoal em um laboratório de estudos em Vida Artificial.

A seguir são feitas algumas considerações sobre as contribuições e aplicações do projeto desenvolvido, bem como algumas sugestões para trabalhos futuros a serem desenvolvidos com base na pesquisa atual.

6.1. Contribuições

Entre as contribuições realizadas pelo projeto, vale citar o reforço ao vínculo entre Vida Artificial e Realidade Virtual, vínculo, este, ainda pouco explorado por programas de Vida Artificial e computação gráfica. O uso de tecnologias de imersão total em ambientes virtuais ainda reforça a aplicação de Realidade Virtual para visualização de experimentos científicos e exibição de massa de dados utilizando-se, para tanto, artifícios visuais comuns à área de computação gráfica, como texturas, transparência, coloração e movimento.

O desenvolvimento da plataforma como foi apresentada, ainda fornece uma ferramenta de rápida prototipação, não só para experimentos de Vida Artificial, mas, também, para programas de computação gráfica, que venham a utilizar o contexto multi-agentes para manipulação de objetos em Realidade Virtual.

6.2. Aplicações

Experimentos em Vida Artificial, especialmente num contexto multi-agentes, podem ser aplicados a uma larga gama de áreas das ciências exatas e biológicas, entendendo desde simulações didáticas, visando a ilustração de conceitos básicos de fenômenos biológicos até soluções de problemas em robótica e engenharia, como demonstrado em [NEVES, 2002].

Os conceitos estudados aqui poderão ainda ter relevância em estudos futuros, envolvendo áreas como nanotecnologia, onde se pode desejar que nano-robôs, constituídos de poucos átomos e que realizam um conjunto de regras simples, desempenhem em conjunto, tarefas pré-definidas de maior complexidade. Tais robôs podem evoluir em um ambiente simulado, até que atinjam uma operabilidade aceitável, para que sejam, posteriormente, construídos.

Simulações envolvendo sistemas genéticos e busca evolutiva podem ser igualmente beneficiadas, uma vez que computadores de alta-performance podem realizar, em minutos, interações que levariam milhares de anos. O exemplo de evolução de algas demonstra bem esta capacidade.

Exemplos didáticos foram desenvolvidos demonstrando fenômenos celulares como mitose e fagocitose. Ainda há exemplos interativos, que permitem a um aluno

mais interessado modificar parâmetros dos experimentos, ou mesmo criar novos experimentos, combinando agentes pré-definidos e observando suas interações. O exemplo de agentes patogênicos ilustra bem essa possibilidade, onde células comuns podem ser misturadas a agentes nocivos em um experimento, observando-se a evolução da infecção de maneira análoga a experimentos *in vitro*.

O programa disponibilizado na Página do Projeto [ALIVE SITE] possibilita o acesso remoto e execução de *Applets* através de páginas interativas, permitindo que estudantes e entusiastas experimentem em casa simulações em Vida Artificial, bastando para isso possuir instalado o suporte à linguagem Java e ao API Java3D.

O aplicativo desenvolvido possibilita a visualização de experimentos em imersão total no ambiente virtual, suportando desde óculos 3D até a CAVERNA [CAVERNA SITE] entre outros, suportando, também, dispositivos de rastreamento (*tracking*), que permitem ao usuário interagir com o experimento em tempo de execução, alterando parâmetros dos agentes simulados.

Futuramente, agentes complexos poderão desempenhar tarefas de alto nível nos ambientes virtuais, como a construção de cenários, crescimento de vegetação ou até construção de arquiteturas baseadas em um conjunto de regras pré-estabelecidas (como colméias, formigueiros, casas ou outras obras baseadas em engenharia evolutiva).

Agentes “inteligentes” podem efetuar buscas no espaço virtual, com auxílio do usuário. Para tanto, vetores de um espaço de busca podem ser mapeados nas coordenadas x, y, z e em atributos visuais, nos quais os agentes possam basear sua busca, recebendo dicas do usuário, que observa sua evolução.

Visando explorar a interação com os seres humanos, agentes cognitivos com características humanas podem ser implementados, aplicando uma série de técnicas de Vida Artificial e IA. Pesquisas envolvendo agentes cognitivos e com características humanas estão atualmente sendo desenvolvidas utilizando o contexto da plataforma e já apresentam alguns resultados [CAVALHIERI SITE].

6.3. Propostas para trabalhos futuros

Aqui são descritos alguns aprimoramentos e funcionalidades que podem ser implementadas futuramente no projeto, bem como experimentos que podem ser realizados utilizando-se, para sua implementação, o contexto desenvolvido.

Entre os aprimoramentos a serem desenvolvidos, consta um ajuste no sistema de manipulação de agentes no universo virtual, especialmente em sistemas imersivos, como a CAVERNA, permitindo a movimentação de agentes utilizando-se dispositivos apontadores.

As funcionalidades de acesso a arquivo, que envolvem leitura e gravação de experimentos, agentes e configurações, não foram implementadas por implicarem em limitações no funcionamento do programa em modo *Applet*. *Applets* apresentam uma série de limitações relativas à segurança. Uma, em especial, impede que *Applets* e scripts executando em navegadores tenham acesso à leitura e gravação no disco do usuário. É sugerido que, futuramente, o projeto seja dividido em dois módulos independentes, sendo um voltado à exibição e divulgação na Internet, em modo *Applet*, e um para uso como aplicativo, apresentando uma série de ferramentas adicionais, entre elas, métodos para armazenamento e recuperação de informação em disco.

Entre os experimentos a serem desenvolvidos, é sugerido o desenvolvimento de uma demonstração envolvendo sistemas com morfologia variável, para observar como o aspecto físico é influenciado pela evolução e regras de encaixe (*fitness*). O genoma,

neste caso, representaria um programa contendo códigos simples que coordenariam as ramificações, informando os comprimentos e ângulos, garantindo uma variedade na obtenção de formas construídas por suas variações. Uma função de satisfação é definida permitindo escolher qual critério será considerado como vantajoso no processo evolutivo, como: maior volume, maior área de superfície, maior comprimento, relação entre altura e largura, ou uma combinação entre estes e outros. O experimento permitiria observar como as formas variam através da evolução, dependendo das regras e critério definidos (função de encaixe, satisfação ou *fitness*).

7. Referências bibliográficas

[ADAMI, 1998] **ADAMI, CHRISTOPH**, “*An Introduction to Artificial Life*”, Springer Verlag / Telos (1998), ISBN: 0-387-94646-2

[ALIVE SITE] **NEVES, ROGÉRIO P. O.**, *Página oficial do projeto A.L.I.V.E.*, Disponível em: < <http://www.lsi.usp.br/~alive/> >, acesso em 1/9/2003, Pagina do responsável pelo projeto, Disponível em: < <http://www.lsi.usp.br/~rponeves/research> >, acesso em 1/9/2003

[ALIFEVIII SITE] **ARTIFICIAL LIFE VIII WEB SITE**, *The 8th International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems*, Disponível em: < <http://parallel.hpc.unsw.edu.au/complex/alife8/> >, acesso em 15/8/2003

[ARTLIFE SITE] **NETTO, MARCIO**, *Página do grupo de vida artificial*, Disponível em: < <http://www.lsi.usp.br/~artlife> >, acesso em 1/9/2003, *Página Pessoal*, Disponível em: < <http://www.lsi.usp.br/~lobonett> >, acesso em 1/9/2003

[BEDAU, 2000] **BEDAU ET AL.**, “*Open Problems in Artificial Life*”, *Artificial Life 6*, MA, 363-376 (2000), Também disponível em: < <http://mitpress.mit.edu/journals/ARTL/Bedau.pdf> >, acesso em 15/8/2003

[BENTLEY, 1999] **BENTLEY, PETER J.** (Editor), “*Evolutionary Design by Computers*”, Morgan Kauffmann (1999), ISBN: 1-55860-605-X

[CAVALHIERI SITE] **CAVALHIERI, MARCOS**, *Projeto com humanos virtuais*, Disponível em: < <http://www.lsi.usp.br/~mac/> >, acesso em 1/9/2003

[CAVERNA SITE] **NÚCLEO DE REALIDADE VIRTUAL DO LSI-USP**, *Página da CAVERNA digital*, Disponível em: < <http://www.lsi.usp.br/~rv/> >, acesso em 1/9/2003

[CRUZ-NEIRA, 1992] **CRUZ-NEIRA, C. ET AL.**, “*The CAVE Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment*”, *Communication of the ACM*, 35(6):64-72, June 1992

[DAWKINS, 1976] **DAWKINS, RICHARD**, “*O Gene Egoísta*”, Editora Gradiva (1976), ISBN: 972-662-127-5

[DEITEL, 2002] **DEITEL, HARVEY M.; DEITEL, PAUL J.**, “*Java, como programar*”, Bookman Companhia Ed., 4ª Edição (2002), ISBN: 853-630-123-6

[DYSON, 1999] **DYSON, FREEMAN**, “*Origins of Life*”, Cambridge University Press (1999), ISBN: 0-521-62668-4

[ECKEL, 2002] **ECKEL, BRUCE**, “*Thinking in Java*”, Pentice Hall (2002), ISBN: 013-100-287-2, Também disponível em: < <http://www.mindview.net/Books/TIJ/> >, acesso em 15/8/2003

[FRANKLIN, 1997] **FRANKLIN, STAN**, “*Artificial Minds*”, MIT Press (1997), ISBN: 0-262-56109-3

[HAYKIN, 1998] **HAYKIN, SIMON S.**, “*Neural Networks: A Comprehensive Foundation*”, Prentice Hall; 2nd edition (July 6, 1998), ISBN: 0-132-73350-1

[KAPLAN, 1995] **KAPLAN, DANIEL; GLASS, LEON**, “*Understanding Nonlinear Dynamics*”, Springer (1995), ISBN: 0-387-94440-0

[KREYSZIG, 1998] **KREYSZIG, ERWIN**, “*Advanced Engineering Mathematics*”, John Wiley & Sons; 8th edition (January 1999), ISBN: 0-471-15496-2

[LANGTON, 1989], **LANGTON, G. C.** (Editor), “*Artificial life: The proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*”, Held September, 1987, in Los Alamos, New Mexico, Addison-Wesley Pub. Co., Advanced Book Program (Redwood City, Calif.) (1989), ASIN: 0201093561

[LANGTON, 1995] **LANGTON, G. C.**, “*Artificial Life: An Overview (Complex Adaptive Systems)*”, MIT Press; Reprint edition (January, 1997), ISBN: 0-262-62112-6

[LEA, 1999] **LEA, DOUG**, “*Concurrent Programming in Java™: Design Principles and Pattern*”, Addison-Wesley Pub Co; 2nd edition (November 5, 1999), ISBN: 0-201-31009-0

[LEE, 1990a] **LEE, CHUEN CHIEN**, “*Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I*”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol 20, nº 2, March/April 1990.

[LEE, 1990b] **LEE, CHUEN CHIEN**, “*Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part II*”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol 20, nº 2, March / April 1990.

[MARGULIS, 1998] **MARGULIS, LYNN; SAGAN, DORION**, “*What is Life?*”, University of California Press (1998), ISBN: 85-7110-641-X

[MICHALEWIC, 1996] **MICHALEWIC, ZBIGNIEW**, “*Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*”, Springer Verlag (1996), ISBN: 3-540-60676-9

[MITCHELL, 1997] **MITCHELL, MELANIE**, “*An Introduction to Genetic Algorithms*”, MIT Press (1997), ISBN: 0-262-13316-4

[NEVES, 2002] **NEVES, ROGÉRIO P. O.; NETTO, MARCIO L.**, “*Evolutionary Search for Optimization of Fuzzy Logic Controllers*”, 1st International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Volume I, on Hybrid Systems and Applications I (2002), ISBN: 981-04-7520-9, Também disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~rponeves/work/fuzzy/>>, acesso em 1/9/2003

[RASBAND, 1990] **RASBAND, S. NEIL**, “*Chaotic Dynamics of Nonlinear Systems*”, A Wiley-Interscience publication, John Wiley & Sons (1990), ISBN: 0-471-63418-2

[SCHRÖDINGER, 1943] **SCHRÖDINGER, ERWIN**, “*O que é Vida?*”, Editora Unesp (1943), ISBN: 8571391610

[SHLOAM, 1998] **SHLOAM, Y.**, “*Agent-Oriented Programming*”, Readings in Agents - editado por M.N. Huhns e M.P. Singh pags. 329-349 - Morgan & Kaufmann, S. Francisco (1998)

[SUN SITE] **SUN MICROSYSTEMS SOFTWARE GROUP**, “*Sun’s Java Site*”, “*Java Online Manual*” Disponível em: <<http://java.sun.com/>>, acesso em 1/9/2003, “*The Java3D Introduction*”, “*Java3D API Specification*”, *on-line material*, Disponível em: <<http://java.sun.com/products/java-media/3D/collateral/>>, acesso em 1/9/2003

[ZADEH, 1973] **ZADEH, LOTFI ASKER**, “*Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes*”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol SMC3, nº 1, January 1973.