

MODELAGEM DE SISTEMAS DE VIDA ARTIFICIAL¹

MODELING ARTIFICIAL LIFE SYSTEMS

José Ronaldo Fonseca Júnior²
Andre Zanki Cordenonsi³

RESUMO

No presente trabalho, o objetivo é o estudo de modelos e sistemas de Vida Artificial - Alife, bem como compreender suas principais características e definições. Esta área de pesquisa tem como principal meta tentar reproduzir em mídias artificiais comportamentos e características semelhantes a sistemas naturais. Neste trabalho apresenta-se um estudo dos modelos de vida artificial, buscando compreender as formas como isto pode influenciar as pesquisas na área da Ciência da Computação.

Palavras-chave: sistemas artificiais, vida artificial.

ABSTRACT

The present work aims at studying models and systems of Artificial Life - Alife, as well as understanding its main features and definitions. This research field has the main goal of trying to reproduce behaviors and features similar to natural systems in artificial medias. The article presents a study about artificial life models, seeking to understand the ways in which this may influence the research in the field of Computer Science.

Key words: artificial environments, artificial life.

INTRODUÇÃO

O termo "Vida Artificial" foi citado pela primeira vez pelo pesquisador Christopher Langton, na década de 80, a fim de especificar uma nova ciência emergente (LANGTON, 1995). Langton coloca em discussão conceitos que eram tidos como explicados pela ciência, isto é, conceitos físicos e biológicos acerca da vida e todas as suas etapas. Tradicionalmente, o conceito de vida tem sido identificado por uma coleção de materiais que observam certas listas de propriedades, tais como: metabolismo, adaptação, autonomia, crescimento, auto-suficiência, replicabilidade, reatividade (irritabilidade) e evolução. A maioria dos organismos vivos segue estas regras. No entanto, al-

¹Trabalho Final de Graduação.

²Curso de Sistemas de Informação - UNIFRA.

³Orientador - UNIFRA.

guns outros sistemas obedecem a subconjuntos destas regras, como os vírus, a própria Terra e alguns tipos de robôs. A abordagem científica tradicional tem reduzido o estudo dos sistemas vivos numa busca por respostas sobre a bioquímica dos organismos. Esta alternativa vê a vida como nada mais que uma série complexa de fenômenos físicos e químicos.

Na prática, a Biologia centra seu estudo científica de vida na terra baseada em carbono, usando esta como única forma de vida disponível para estudo. A Vida Artificial, ou simplesmente Alife, tem por objetivo estudar a vida natural tentando reproduzi-la por meios artificiais. Ao contrário da Biologia que individualiza os organismos para ver como estes funcionam, a Alife tenta agrupar sistemas que se comportem como organismos vivos, e que são capazes de contribuir com a Biologia mudando sua visão de "a vida como ela é" para uma visão mais abrangente da "vida como ela poderia ser".

"A última meta do estudo de Vida Artificial seria criar "vida" em algum outro meio, idealmente um meio virtual onde a essência de vida foi suprimida dos detalhes de sua implementação em qualquer modelo particular. Nós gostaríamos de construir modelos que são tão parecidos com a vida, que eles deixam de se tornar modelos de vida e passam a se tornarem exemplos de vida" (Langton *apud* RIZZO. 1997).

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de estudar e definir sistemas de Vida Artificial em suas principais características, traçando paralelos com as disciplinas que influenciaram na criação desta área de estudo, a qual atualmente já se autodenomina não apenas como área de estudo, mas sim, como uma ciência que estuda sistemas artificiais e suas relações com sistemas naturais. Desta forma, busca-se compreender os meios pelo qual esta nova área pode contribuir para a ciência da computação.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, foram realizadas pesquisas acerca dos modelos e sistemas de vida artificial existentes, partindo dos primórdios desta ciência, que se confunde com a própria criação do computador moderno, ambos originários dos trabalhos fundamentais de John Von Neumann. Coletado o material inicial, foi realizada uma categorização dos modelos existentes, apresentada no decorrer deste texto, de forma a identificar os principais pontos em comum entre os sistemas implementados.

VIDA ARTIFICIAL

Vida Artificial (LANGTON, 1995), ou Artificial Life - Alife, é uma área de pesquisa resultante da convergência entre biólogos, físicos, cientistas políticos, cientistas, engenheiros da computação e, mais recentemente, economistas e sociólogos, em estudos de sistemas complexos, dinâmicos e adaptativos. Christopher Langton é uma das pessoas da corrente continuista, responsável pelas maiores evoluções em Vida Artificial. Segundo LANGTON(1985), existe um nível ótimo para a troca de informações dentro de um sistema vivo, o que permite a própria existência da vida.

Vida é um sistema complexo, é um equilíbrio dinâmico que pode continuar mudar e evoluir durante muito tempo sem morrer nem desaparecer. Ocorreu a LANGTON(1995) que este nível ótimo de informação poderia ser medido, por meio do parâmetro λ que era a quantidade de informação sendo trocada em um sistema. Variando o parâmetro λ , ele descobriu que valores muito baixos resultam em coisas que se congelam e que valores muito altos resultam em um estado caótico que torna a estabilidade muito difícil. No meio há um estado, um tipo de sistema, que se tornou conhecido como sistema complexo. Na natureza, isso pode ser demonstrado pela vida que se forma em torno do mar de lavas de um vulcão. Em torno desses pequenos oásis de calor, miniecosistemas evoluíram.

A Vida Artificial busca “compreender a biologia pela construção de fenômenos biológicos utilizando componentes artificiais” (RAY, 1994). Os elementos interativos aqui investigados são das mais diversas naturezas: moléculas auto-replicas, como proteínas e DNA/RNA, simulações de animais em software ou hardware, inimigos de guerra e parceiros comerciais.

Segundo RAY (1995), é possível sugerir uma síntese de software em Alife dividida em duas espécies: simulação e instanciação de processos. simulação em Vida Artificial apresenta modelos biológicos baseados em aproximação bottom-up, que tem sido possível graças ao grande aumento de tecnologia computacional disponível. A mais antiga forma conhecida de abordar modelos que apresentassem tanto fenômenos ecológicos como fenômenos evolucionários eram em sistemas de equações diferenciais, montados com o intuito de expressar relacionamentos entre entidades (genes, indivíduos ou espécies) em populações ou comunidades. por meio desta aproximação bottom-up, tornou-se possível criar uma população representada por uma estrutura de dados, em que cada instância de dados estruturados corresponde a uma única entidade. Estas estruturas possuem variáveis que são responsáveis por definirem o estado de cada indivíduo. Regras são definidas para que os indivíduos interajam entre si e com o ambiente. Conforme a simulação ocorre, populações destas estruturas de dados interagem

de acordo com regras locais, imergindo nestas interações comportamentos globais dentro do sistema.

A segunda aproximação desta síntese de software sugerida por RAY (1994) diz respeito à Instanciação, na qual seu principal objetivo em Alife é de introduzir formas e processos de vida natural em sistemas artificiais, apresentando resultados como formas de vida artificiais em meios que não sejam os da química do carbono ou modelos de formas de vida orgânica. A aproximação, neste caso, envolve introduções a processos de evolução, por seleção natural, em meios computacionais, visto que RAY (1994) considera a evolução como um processo fundamental da vida, assim como, um gerador de vida. Vários problemas em aberto, oriundos da biologia, tais como a origem da vida e dos sistemas auto-sustentáveis, a evolução cultural, as origens e finalidades do sexo, a genética de populações, a estrutura e dinâmica de ecossistemas e o surgimento da mente na natureza são possíveis de investigação sob a ótica de Vida Artificial (TAYLOR & JEFFERSON, 1995).

EMERGÊNCIA DE COMPLEXIDADE

A pedra fundamental da vida artificial é a emergência de complexidade (HOLLAND, 1998), um fenômeno inicialmente investigado em física e biologia, mas que é comum a qualquer sistema dinâmico formado por muitos elementos autônomos, sejam eles físicos, biológicos, computacionais ou sociais. A emergência de complexidade consiste no surgimento de dinâmicas imprevisíveis e persistentes sobre o "todo" de um sistema interativo, como decorrência da atuação de regras simples sobre cada um dos elementos primitivos que formam este sistema. A melhor forma de se explicar uma propriedade emergente é quando um fenômeno de alto nível surge das interações em níveis mais baixos. Sistemas de Vida Artificial consistem de uma enorme coleção de unidades simples e básicas cuja principal característica é a emergência de comportamentos de alto nível. Alguns exemplos de fenômenos emergentes são:

- Vórtices (redemoinhos) ou turbulências no interior de um fluxo de líquidos ou gases. Embora o vórtice ou turbulência possa ser consistentemente reproduzido no nível macroscópico, não existe forma de se deduzir, analiticamente, tal comportamento a partir das características isoladas de seus elementos constituintes (átomos e moléculas). Há que se realizar a experiência com o todo (escoamento do líquido ou gás) para se observar o fenômeno. Eventuais simulações do sistema conseguem reproduzir o mesmo efeito de uma forma construtiva, mas não de uma forma dedutiva ou analítica. O fenômeno ou propriedade emergente pode ser então utilizado como um "novo" axioma, válido apenas na teoria que constitui o macrosistema, mas não capaz de ser

deduzido a partir da teoria dos constituintes elementares (HOLLAND, 1998);

- *Cognição distribuída em organismos primitivos.* Colônias de insetos, como formigas e abelhas apresentam um comportamento coletivo aparentemente intencional, como se formassem um único indivíduo (supra-indivíduo). Isto se observa na busca de alimentos, por exemplo. Diversos estudos de comportamento animal demonstram claramente que tal comportamento coletivo, “aparentemente inteligente”, é basicamente consequência da aplicação individual de um pequeno conjunto de regras primitivas por parte dos diversos elementos que formam a colônia. Os indivíduos da colônia, isoladamente, desprovidos de inteligência, interagem de modo a criarem processos cognitivos mais complexos (agem em coletividade como se “soubessem” da localização do alimento, como se “previssem” que vai chover no dia seguinte, etc.), que emergiram a partir de um processo iterativo, evolutivo, social e historicamente construído.

Segundo Steels, 1994 apud CORDENONSI (2000), um comportamento do sistema é dito emergente se ele é definido utilizando categorias descritivas que não são necessárias para descrever o comportamento dos componentes que fazem parte do sistema. A natureza mostra dezenas de exemplos em que ações simples, de interação local entre seus componentes que acabam dando origem a comportamentos globais altamente organizados. Um exemplo de propriedade emergente comum nos seres humanos é o pensamento, confiável em quase todas as células que formam o cérebro. Todas as células juntas podem pensar, mas em compensação uma célula sozinha, sem a interação com as outras, não pode fazer muito. Para ser mais preciso, uma célula isolada, geralmente, não tem conceito algum. A célula trabalha a partir de suas regras internas. Em combinação com outras células podem produzir resultados complexos.

Fenômenos emergentes são, muitas vezes, chamados de cingéticos, significando que o todo é maior que as partes. Uma propriedade de fundamental importância e aplicação dos fenômenos emergentes é que, uma vez descoberto, o fenômeno emergente atua de modo persistente, “a despeito da contínua substituição dos constituintes primitivos que formam o padrão” (HOLLAND, 1998, p.7). Teoricamente, esta propriedade possibilita, por exemplo, o uso de fenômenos emergentes na criação de processos (computacionais) paralelos tolerantes a falhas. Logo, comportamento emergente pode ser definido como uma característica que os sistemas naturais e artificiais apresentam, a fim de agir de forma organizada, vencendo a “desordem”.

Um fator importantíssimo no estudo de comportamentos emergentes diz respeito à abordagem “Bottom-up”, em que a base do sistema é formada por uma coleção de inúmeras e pequenas unidades que interagem entre si por meio de regras simples bem definidas (CORDE-

NONSI, 2000). A partir dessas interações, ocorre o surgimento de um comportamento global, comportamento este que não havia sido previamente estabelecido pelas regras. A arquitetura dos programas de Vida Artificial segue a metodologia do comportamento natural. Nos programas convencionais, quando se tem um problema complexo, o que se faz é dividi-lo em pequenos módulos, analisando o problema parte a parte (Arquitetura "Top-Down"). A eficácia desta arquitetura é indiscutível, mas ela parte do princípio de que se conhece o resultado (solução) final do problema, ou pelo menos aonde se quer chegar, o que não acontece nos sistemas naturais, em que a solução final imprevisível surge da combinação dos comportamentos de seus módulos. Só, recentemente, a característica de emergência de complexidade, presente em todos os sistemas autônomos e interativos, começou a ser elucidada e aplicada em várias outras áreas de conhecimento (KELLY, 1994), como Economia, Sociologia, Ciência Política (AXELROD, 1997) e Computação Distribuída.

MODELAGEM DE SISTEMAS DE VIDA ARTIFICIAL

BOIDS

Em 1986, o animador gráfico Craig Reynolds (REYNOLDS, 1987) pesquisava uma forma de construir uma animação gráfica sobre o voo de bandos de pássaros, e para isso, ficou dias observando pássaros em revoada, concluindo que, na verdade, não havia um "líder", mas cada pássaro seguia algumas regras básicas individualmente. Destas regras simples, ele concluiu inicialmente três:

- separação: cada elemento do bando evita aglomerar-se a outro;
- alinhamento: cada pássaro tenta ficar no centro de um grupo;
- coesão: o bando se mantém unido.

Mais tarde, em cooperação de outros profissionais da Symbolics Graphics Division (Califórnia), na qual trabalhava, Craig Reynolds criou um programa que gerava cenas tridimensionais para simular os movimentos dos pássaros a partir destas regras simples, chamando-o de boids (REYNOLDS, 1987), contração de birds (pássaros) e oids (andróides).

Cada pássaro foi colocado numa posição aleatória, mas lentamente, eles se aproximavam, aumentando ou diminuindo a sua velocidade, distância, e formavam uma revoada. Os boids, na verdade, possuíam comportamentos

emergentes a partir das regras simples preestabelecidas o que convenceu muitos ornitologistas a usarem os boids como ferramenta de pesquisa a favor da Biologia. Reynolds também aplicou obstáculos no ambiente e, de forma surpreendente, o bando de pássaros ao se aproximar das colunas se desviavam em várias direções e depois se reagrupavam na formação original, conforme ilustra a figura 1.

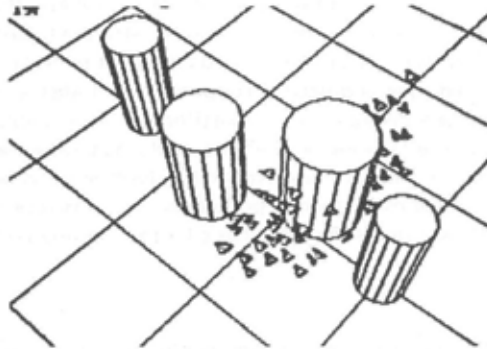


Figura 1 - Exemplo de Boids atuando num espaço tridimensional (Reynolds apud CORDENONSI, 2000).

Isto aconteceu porque Reynolds acrescentou novas regras como “evitar obstáculos” que tinham prioridade sobre as outras (competição de comportamentos). Em 1987, Craig Reynolds foi convidado por Chris Langton a apresentar os seus “boids” na Artificial Life Workshop, pois se encaixavam perfeitamente nos princípios da Vida Artificial: “comportamento global complexo gerado a partir de regras simples locais”.

Até hoje os biólogos questionam se os pássaros seguem realmente estas regras para voar, embora o computador tenha representado perfeitamente o comportamento natural.

AUTÔMATOS CELULARES

O pai do autômato celular é John Von Neumann. Ele foi o primeiro a propor um sistema para se reproduzir vida como resultado de regras simples. Seu objetivo era a auto-reprodução; uma máquina John Von Neumann é capaz de auto-reproduzir-se. Um autômato celular é uma cadeia de células que interagem com suas células vizinhas. Estas cadeias podem alcançar qualquer dimensão. Cada célula tem seu próprio estado que pode ser uma variável, propriedade ou outra informação. Recebendo entradas de células

conectadas ou mensagens gerais, a célula usa seu próprio conjunto de regras para determinar qual seria sua reação. Esta reação é uma mudança de estado e pode ser também um gatilho para enviar sua própria mensagem. Essas mensagens são passadas para as outras células, que atuam de acordo com seus estados internos (NEUMANN & MORGESTERN, 1949).

O autômato celular artificial é geralmente bem mais simples, mas podem imitar muitos modelos comportamentais de sistema biológicos naturais. Em *Tierra*, de Tom Ray (RAY, 1994), cada criatura poderia ser vista como uma célula que tem que competir e cooperar com todas as outras células que usam os recursos disponíveis compartilhados. O exemplo mais famoso de autômato celular é “*Corway’s Life*”, no qual a vida é baseada em teorias de Von Neumann, o pai da Vida Artificial. Este autômato é uma grade bidimensional em que cada quadro pode estar em dois estados, ligados ou desligados. Todas as células são idênticas e têm as mesmas regras. As regras são:

- uma célula viva, com zero ou um vizinho vivo, morre por isolamento;
- uma célula viva, com quatro ou mais vizinhos vivos, morre por sufocamento;
- uma célula morta, com exatamente três vizinhos vivos, torna-se viva;
- todas as outras células mantêm seu estado.

Essas regras são aplicadas a todas as células simultaneamente. O processo de recalcular toda a grade é chamado de geração. Como o programa roda com múltiplas gerações, a grade pode ser vista se modificando de uma forma estranha, não aleatória. A partir de qualquer ponto inicial pouco complexo, diferentes padrões comportamentais vão emergir. Um dos mais comuns são grupos de células chamadas piscantes. Estas são blocos que alternam constantemente entre dois estados de acordo com as regras que, se deixadas intocadas, irão piscar para sempre. Este é chamado sistema periódico. Em outro padrão, todas as células podem morrer. Estes são sistemas instáveis. Poucos sistemas instáveis podem ser vistos na natureza porque eles não duram muito. Outro tipo de grupo de células bastante comum é chamado de sistemas “gliders”. Padrões mais complicados usados como ponto de partida, mais cedo ou mais tarde, se tornam “gliders”. Estes deslizam pela tela e continuam fazendo isto até que esbarrem em algo. O autômato celular é um subconjunto de vida artificial e, como muitas das criaturas, pode ser dito como sendo móvel ou um autômato celular cinético. Em computação gráfica, existe um ramo de modelagem chamada física de partícula. Na física de partícula, em termos de computação gráfica, cada partícula é um polígono ou criatura animada. Cada uma interage com o

meio geral obedecendo às leis da física (ou qualquer outras regras que o criador ache que sirvam). Os resultados são tão diversos quanto simulação de quedas de água e explosões. Um outro exemplo do uso de autômato celular é na simulação da propagação de um incêndio em uma floresta. Dados diferentes tipos de paisagem e somadas informações como horário da atividade do fogo em cada quadro, padrões associados com a propagação do fogo logo emergem. Mesmo com pontos iniciais aleatórios, estes padrões irão surgir.

VÍRUS

Os vírus de computador foram criados com o intuito de apresentar características similares ao comportamento dos vírus biológicos. As infecções biológicas expandem-se quando o vírus, um pequeno material genético, consegue injetar-se numa grande célula do corpo. A célula infectada é convertida numa fábrica biológica para a replicação do próprio vírus. Logo, os populares vírus de computador passaram a apresentar quesitos básicos para serem considerados criaturas com vida artificial. Um vírus de computador é um segmento de código de máquina que, quando ativado, é capaz de replicar seu código e um ou mais programas hospedeiros. À medida que estes programas forem executados na máquina, o código viral também é executado, expandindo a infecção (CORDENONSI, 2000).

Um paralelo entre as características apresentadas pelos vírus biológicos e os vírus artificiais é descrito a seguir:

- reprodução: os vírus de computador se reproduzem a partir da sucessiva cópia de seu código, ao ser executado, o vírus é capaz de replicar-se para um ou mais programas escolhidos aleatoriamente;
- crossing-over: capacidade que alguns vírus de computador possuem de recombinar características entre si para produzir novos tipos de vírus;
- latência: características que alguns vírus e bactérias naturais possuem de permanecer inativos, normalmente em fase de incubação, durante um período indeterminado dentro de seu hospedeiro (LOPES, 1994). Logo, alguns vírus de computador possuem também esta capacidade de permanecer inertes até que as condições ambientais lhe sejam favoráveis;
- alimentação: característica que os vírus de computador apresentam de retirar energia e informações do hospedeiro;
- mimetismo: vírus de computador conhecidos como vírus furtivos capazes de evitar sua detecção forjando informações, fazendo com que

o sistema fique com a mesma aparência antes da detecção. Característica visível em fenômenos biológicos que alguns animais adquirem por seleção natural, possuindo características como forma e cor iguais, e com isto, protegem-se de seus hospedeiros (LOPES, 1994).

- mutação: Muitos vírus de computador se modificam cada vez que duplicam. Modificação esta que pode acontecer sem que seja de forma intencional, como por exemplo, quando um vírus é transferido de um computador para outro, algumas de suas partes podem sofrer transformações, característica relevante em Vida Artificial.

MINHOCAS

Minhocas de computador (worms) foram desenvolvidos por volta dos anos 70. Os worms possuem a capacidade de autoduplicação assim como os vírus. Por serem entidades autônomas, não necessitam anexar-se a um programa ou arquivo hospedeiros, fator este que as diferenciam dos vírus. Outro fator importante em relação aos worms é que eles podem residir, circular e se multiplicar em sistemas multitarefa. Apesar do caráter pejorativo do nome, os primeiros worms desenvolvidos para rede eram usados como mecanismos legítimos para o gerenciamento e execução de tarefas em sistemas de recursos distribuídos.

Os worms rodam independentemente e viajam de máquina para máquina por meio das conexões de rede; os worms podem ter porções espalhadas rodando em diversas máquinas e, usualmente, não modificam outros programas. Apesar disso, eles podem carregar outros códigos que infectam o sistema. Os worms necessitam um ambiente de rede e um autor que esteja familiarizado com os serviços e facilidades da rede, assim como as operações necessárias para suportar o seu transporte de uma máquina para outra (CORDENONSI, 2000). Em 1999 surgiu um tipo mais preocupante de worm, o Bubbleboy que se disseminava por e-mails escritos em html capazes de infectar o computador no momento em que a mensagem é aberta na tela, não necessitando de arquivos anexados para se disseminar. Atualmente a Internet é a grande distribuidora desse tipo de programa.

ECOSISTEMAS ARTIFICIAIS

Também chamados de sociedades artificiais ou modelos baseados em agentes, constituem-se, normalmente, de simulações de ambientes interativos em software (LINDGREN & NORDAHL, 1995), nos quais uma grande quantidade de agentes autônomos interage durante vários ciclos ou gerações, normalmente ao compartilhar, combater e trocar recursos com os outros

agentes. O ecossistema é definido por um conjunto de elementos autônomos (simulados em software) que competem por recursos fluindo em ambiente dinâmico e em relativo isolamento. O comportamento individual de cada agente é descrito por um esquema de regras bastante simples, como uma relação do tipo (estado + ação) \rightarrow (reação).

As propriedades analisadas em um ecossistema podem ser, eventualmente extrapoladas, para contextos mais abrangentes (ou especializados, dependendo do ponto de vista) se for considerado que qualquer sistema econômico, ou sistemas sociais em um escopo mais amplo, também apresentam as mesmas características básicas de um ecossistema natural: agentes autônomos, ao interagirem (competirem e colaborarem), na busca por recursos que fluem constantemente. Uma descoberta relevante desta linha de investigação é o grande potencial de aplicações do dilema do prisioneiro na simulação de diversas propriedades de ecossistemas. O dilema do prisioneiro, primeiramente caracterizado em 1965, é um jogo de estratégia simples, baseado na Teoria dos Jogos (NEUMANN & MORGESTERN, 1949). A versão iterada do dilema do prisioneiro é capaz de suportar o estudo de diversos modelos de comportamento individual, no qual a emergência de cooperação e competição pode ser observada de forma surpreendentemente rica. Pelo uso de algoritmos genéticos com o dilema do prisioneiro iterado, torna-se possível detectar a emergência de fenômenos complexos como cooperação entre parentes, estruturas de oligopólios, manutenção de minorias genéticas e comportamento altruísta. Segundo (AXELROD, 1997), existem diversas aplicações das variações do dilema do prisioneiro iterado na modelagem do surgimento de normas e leis, na escolha de parceiros durante uma guerra, na criação e adoção de padrões comerciais, no comportamento de políticos e na disseminação de cultura.

CONCLUSÕES

Os Sistemas de Vida Artificial - *Alife* concentram-se no estudo de vida natural tentando reproduzi-la em outras mídias que não as naturais. Uma das principais características em *Alife* com a condução à emergência, está na evolução, ou seja, na capacidade de uma população de indivíduos se adaptar ao ambiente em que vive. Esta capacidade é, usualmente, alcançada por meio da utilização de algoritmos genéticos ou algoritmos evolutivos.

A ciência da vida artificial é, indiscutivelmente, a ciência da mudança de paradigmas. É difícil prever, hoje, o futuro desta ciência, pois talvez, não se tenha carga de conhecimentos suficiente para avaliar como determinada máquina simulará determinado comportamento natural. Os próximos dez a vinte anos, possivelmente, serão marcados pela emergência de novas indústrias ligadas à fabricação de sistemas, organismos sintéticos e digitais

com capacidade adaptativa e vida autônoma. Robôs de novo tipo, agentes inteligentes, clones humanos virtuais e implantes povoarão a economia do futuro próximo. Perceber que não se trata de ficção, mas sim, de uma nova disciplina científica que vai modificar radicalmente a economia e a sociedade no século XXI, é a principal contribuição deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AXELROD, R. 1997. **The Complexity of Cooperation: agent based models of competition and cooperation**. USA: Princeton University Press.

CORDENONSI, A.Z. 2000. **Um ambiente de evolução de comportamentos para sistemas multiagentes reativos**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Computação UFRGS. Porto Alegre.

HOLLAND, J. 1998. **Emergence: from chaos to order**. Reading, Mass: Addison-Wesley.

KELLY, K. 1994. **Out of control: the new biology of machines, social systems and the economic world**. Reading, USA: Addison-Wesley.

LANGTON, C. 1995 **Artificial life: an overview**. USA: MIT Press.

LINDGREN, K.; NORDAHL, M. 1995. **Cooperation and community structure in artificial ecosystems**. USA: MIT Press.

LOPES, S.G.B.C. 1994. **Bio1: Introdução a Biologia e Origem da Vida**. Rio de Janeiro: Saraiva.

NEUMANN, V., MORGESTERN, O. 1949. **The Theory of Games and Economic Behavior**. USA: Princeton Univ. Press.

RAY, T. S. 1994. **An approach to the synthesis of life**. In: Artificial Life II, Addison-Wesley, Redwood City, CA., vol. X do SFI Studies in the Sciences of Complexity.

RAY, T. S. 1995. **An evolutionary approach to synthetic biology: Zen and the art of creating life**. USA : MIT Press.

RIZZO, I. G. 1997. **Introdução à Vida Artificial**, Universidade do Estado de São Paulo - UNESP. Disponível em: http://www.coolnet.pt/computadores_e_internet/vida_artificial

REYNOLDS, C. W. 1987. **Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model**. In: SIGGRAPH '87, p. 25-34. New York : ACM SIGGRAPH.

TAYLOR, C.; JEFFERSON, D. 1995. **Artificial life as a tool for biological inquiry**. USA : Mite Press.