



Departamento de Engenharia Informática  
Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Universidade de Coimbra

Simulação Avançada

# Vida Artificial

**Autores**

Paulo José dos Santos Guilhoto  
Susana Patrícia Costa de Sousa Rosa

---

---

# Índice

---

<b>Evolução histórica .....</b>	<b>3</b>
Von Neumann .....	3
Conway.....	4
Langton .....	5
<b>A Vida Artificial e a sua contextualização .....</b>	<b>8</b>
Contexto biológico .....	8
A Mutação.....	8
Crossing Over.....	9
Evolução .....	9
Relacionamento entre Sistemas .....	9
Comunicação.....	9
Cooperação .....	9
Competição e Parasitas .....	9
Aprendizagem .....	10
Contexto da inteligência artificial .....	10
Abordagem "Bottom-Up".....	10
Comportamento emergente .....	10
Ferramentas da Inteligência Artificial .....	10
Contexto dos Sistemas Não-Lineares .....	12
A Matemática do Caos .....	12
A Geometria Fractal .....	13
<b>A Vida Artificial na prática.....</b>	<b>14</b>
Os boids .....	14
A Vida Artificial como Expressão Artística .....	15
Os Sistemas-L .....	15
Galápagos .....	15
Criaturas Virtuais .....	16
<b>Recursos .....</b>	<b>17</b>
Bibliográficos .....	17
Sítios na Internet.....	17

*“A Vida Artificial é o estudo dos sistemas artificiais que exibem algumas das características comportamentais dos sistemas vivos naturais. O objectivo desta busca é explicar a vida em todas as suas possíveis manifestações, sem exclusão dos exemplos particulares que evoluíram sobre a Terra. Abrange experiências biológicas e químicas, simulações em computadores e trabalhos estritamente teóricos. Submete à investigação os processos às escalas molecular, social e evolutiva. O seu objectivo último é extrair a forma lógica dos sistemas vivos.*

*Graças à tecnologia microelectrónica e à engenharia genética, novas formas de vida, tanto in silico como in vitro, poderão ser criadas em breve, confrontando-se então a humanidade com desafios técnicos, teóricos e éticos de profundas implicações como nunca antes.”*

*[CG Langton, em Setembro de 1987, Los Alamos,  
na abertura da primeira conferência sobre Vida Artificial,  
“Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems”]*

---

## Evolução histórica

---

### Von Neumann

---

Ao olhar para o legado do matemático húngaro John von Neumann no que se refere à teoria dos autómatos, não é difícil perceber o porquê de muitos o considerarem como o pai daquilo que viria a ser o domínio da Vida Artificial. É também sua a paternidade de uma construção mental conhecida pelo nome de autômato auto-reprodutor. Pela palavra “autómatos”, von Neumann designava as máquinas automáticas e, entre estas, em especial aquelas cujo comportamento podia definir-se em termos matemáticos inequívocos. Um autômato é uma máquina que processa informação, procede de modo lógico, passando inexoravelmente à etapa seguinte após a interpretação dos dados vindos do exterior, à luz do programa nela contido. Segundo ele, compreender os autómatos não significava apenas perceber melhor as máquinas, implicava compreender a vida. Já o conceito de auto-reprodução dizia respeito à capacidade de uma máquina artificial produzir uma cópia de si mesma, que por sua vez fosse capaz de criar novas cópias. Este era o factor determinante para se poder afirmar que se estava a *criar* vida.

Ao longo de quase toda a História, a tentativa de extensão da vida a domínios onde ela não existia foi uma questão mais mística do que racional. Os cientistas concebiam a vida como dependendo de certas qualidades das suas partes. A ideia de que alguém pudesse produzi-la duplicando a sua física, a sua matéria, era para eles absurda. Antes pelo contrário, exigia-se a substituição do que então se entendia por essência da vida, algo de sobrenatural, uma violação do divino.

Com a Revolução Industrial, as revelações da física newtoniana e as leis da termodinâmica, as fronteiras da ciência foram-se alargando. Os criadores de mecânica como Descartes e Leibniz começaram a acreditar que a vida poderia ser duplicada com a ajuda de dispositivos mecânicos que aparentemente se comportavam como os vivos.

A máquina auto-reprodutora de von Neumann era baseado em algo diferente da mecânica: a informação, a premissa da vida. No centro do seu ser estava uma matriz que, além do comportamento, ditava-lhe a actividade reprodutora. O trabalho de Alan Turing no domínio da lógica matemática, nomeadamente através do seu autômato finito Máquina de Turing, veio trazer a von Neumann a certeza de que a duplicação de formas de vida também poderia ser emulada, nem que para isso, fosse necessária uma fita muito longa para ser introduzida na máquina. Von Neumann também se apercebeu de que a biologia proporcionava de longe o mais poderoso sistema de processamento de informação disponível e de que na emulação dela estava a chave de potentes sistemas artificiais.

O primeiro autômato auto-reprodutor que von Neumann imaginou era uma variante de computador composto de interruptores, relés e outras componentes transmissoras de informação. Além dos elementos computacionais, o autômato teria que possuir cinco outros elementos: um elemento de manipulação (idêntico a uma mão), que recebesse ordens da parte computacional (controlo) da máquina; um elemento interruptor, capaz de desligar dois elementos quando recebessem ordem para tal; um elemento conector, capaz de ligar duas partes; um elemento sensor, capaz de reconhecer qualquer das partes e transmitir essa informação ao computador; “longarinas”, elementos estruturais rígidos que proporcionavam uma carroçaria para a criatura, além de constituírem meios de armazenamento de informação.

Inserido num meio ambiente composto por um reservatório semelhante a um lago, as partes do corpo da criatura distribuíam-se por quatro subsistemas. A componente A, também designada como fábrica, recolhia materiais do lago e manipulava-os de acordo com as instruções que as outras componentes lhe forneciam. A componente B funcionava como duplicador, lendo as instruções informáticas e copiando-as. A componente C representava o aparelho de controlo, o computador propriamente dito. A componente D representava as instruções, sobre a forma de cadeia, devendo ser lida como uma serpentina de papel.

Dava-se assim início à auto-reprodução. A componente C lia as instruções, alimentava com elas o duplicador (componente B) que as copiava e enviava o duplicado da instrução para a componente A, armazenando o original. Esta componente ao lê-las, navegava pelo reservatório avaliando cada pedaço à medida que iam passando. Estava incumbida de procurar um pedaço determinado, com o qual começaria a construir a sua descendência. Quando encontrava o par ideal, agarrava-o com a mão, segurando-o até encontrar o passo seguinte. Soldava então o segundo pedaço ao primeiro. Uma vez completa a construção, o autómato construía uma segunda fábrica, um duplicador e um computador. Restava o último passo: inserir a longa cadeia de “longarinas”, componente D, que se encontrava no primeiro duplicador, no descendente. Ao dotar a nova criatura de uma cópia das instruções reprodutoras, ela ficará “fértil”, apta a reproduzir o processo.

Este primeiro autómato auto-reprodutor tornou-se conhecido como modelo cinemático. Apesar de ser válido do ponto de vista lógico, o modelo apresentava o problema de possuir demasiados elementos cujo funcionamento era desconhecido, tais como os “sensores”, cuja tecnologia iria surgir apenas algumas décadas depois. Volvidos alguns anos, von Neumann transformou o seu autómato auto-reprodutor naquilo que viria a ser conhecido como o primeiro autómato celular.

O modelo celular de von Neumann partiu de um tabuleiro de xadrez ilimitado em que cada casa, ou célula, estava num estado inactivo. Cobrindo cerca de duzentas mil células, von Neumann criou uma criatura em que os seus pormenores eram representados por vinte e nove estados possíveis. A combinação rigorosa destas células nos seus diferentes estados indicava à criatura como comportar-se, definindo-a. A caixa, com cerca de oitenta células de comprimento por quatrocentas de largura, continha suborganismos que replicavam as funções das componentes A, B e C do modelo cinemático. As restantes células situavam-se na cauda, na matriz, constituída por 150 000 mil células alinhadas, contendo as instruções para o corpo da criatura, e actuando como um computador, uma fábrica ou um duplicador. Houve mesmo quem considerasse que a cauda possuía um comportamento muito semelhante a um conjunto de cromossomas.

## **Conway**

---

John Horton Conway, um matemático na casa dos trinta, foi o responsável pela criação, nos finais dos 60, do exemplo mais famoso da invenção de von Neumann, o autómato celular. Conway estava convencido de que este autómato poderia ser muito mais simples do que um organismo com duzentas mil células em qualquer um de 29 estados possíveis, pelo que começou a construir o seu autómato sobre um simples tabuleiro de xadrez. Ele estava certo que não seria muito difícil chegar a algo que, obedecendo a um pequeno conjunto de regras pouco complicadas, produzisse resultados ilimitados, muito semelhantes aos produzidos por um computador universal.

A chave residia nas regras que ditam a sobrevivência, o nascimento e a morte e na sua afinação. Qualquer variação mínima poderia pôr no caos absoluto um sistema considerado estável. Por outro lado, a redução do número de estados possíveis para uma célula também era importante. Conway reconheceu que a existência de apenas dois estados era o ideal, tornando uma célula preenchida ou vaga, ligada ou desligada, viva ou morta.

Era assim o jogo Vida. Com apenas quatro regras, surgia assim uma grandiosa teoria unificada do Universo, uma teoria da vida:

- ❑ O Vida desenrola-se sobre um tabuleiro de xadrez virtual. As casas são designadas por células. Encontram-se num de dois estados: vivas ou mortas. Cada célula só pode ter oito vizinhas, as células que confinam com os seus lados ou a tocam nos cantos.
- ❑ Se uma célula sobre o tabuleiro está viva, ela sobreviverá no intervalo de tempo seguinte (ou geração) desde que haja duas ou três vizinhas igualmente vivas.

- ❑ Morrerá de sobrelotação se houver mais do que três vizinhas vivas, e de desprotecção se houver menos de duas.
- ❑ Se uma célula sobre o tabuleiro estiver morta, assim permanecerá na geração seguinte, a não ser que precisamente três das suas oito vizinhas estejam viva. Neste caso, a célula “nascerá” na geração seguinte.

Uma vez estabelecidas estas regras por Conway, as coisas começaram a acontecer muito rapidamente. Algumas configurações foram identificadas como estáveis, outras organizavam-se em variantes periódicas, alternando entre si. Umas outras configurações ainda eram mais interessantes, uma vez que utilizavam as regras do Vida para se deslocar pelo tabuleiro (ver figura 1). A estas, deu-se o nome de patinadores.

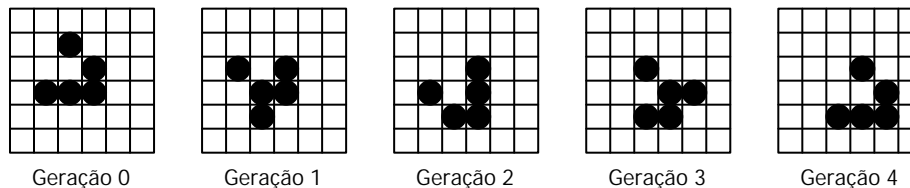


Figura 1 – Deslocamento de uma organização de células ao longo de 4 gerações

Mais tarde, Conway demonstrou mesmo que o Vida podia comportar a computação universal. Servindo-se de fluxos de patinadores para representar os bits, Conway pôde produzir equivalentes de portas AND, OR e NOT, bem como um análogo da memória do computador. A única frustração de Conway residia no facto de nenhuma configuração desse autómato ter dado origem a um animal auto-reprodutor num espaço relativamente pequeno.

## Langton

Se John von Neumann veio a ser conhecido como o pai da Vida Artificial, Christopher Gale Langton iria ser o seu parteiro. Organizador da primeira conferência sobre Vida Artificial da História em Los Alamos em Setembro de 1987, Langton começou por propor um modelo em computador da evolução, tendo em conta um fenómeno ocorrido numa população de borboletas no século XIX. Embora tivesse conseguido repetir o efeito, não lhe satisfaziam os resultados. O mecanismo por ele usado dependia, em última análise, do critério de capacidade de sobrevivência que artificialmente impusera à simulação. Não era realista, interminável, como a evolução natural, em que o meio ambiente, e não um programador externo, determina essa capacidade de sobrevivência. Prosseguiu a sua investigação e descobriu que já alguém tinha tentado o mesmo que ele: John von Neumann.

Langton criou então um universo em que o autómato celular vivia, com oito estados possíveis para cada célula. Rapidamente se apercebeu da complexidade envolvida, sobretudo devido à exigência de von Neumann de que a estrutura auto-reprodutora fosse também um computador universal, possuindo assim a capacidade de executar programas emuladores do funcionamento de qualquer outro computador ou máquina. Langton optou por desinteressar-se pela construção de um computador para fins genéricos, focando preferencialmente as suas atenções na construção de uma configuração mais simples, que pudesse reproduzir-se verdadeiramente pelos mesmos meios que os seres por nós considerados vivos.

Para satisfazer este requisito, Langton concebeu um conjunto daquilo a que chamou “argolas”. Colocada numa mar de células no estado zero, a argole de Langton parecia um quadrado com uma curta cauda, lembrando a letra Q. A forma quadrada era importante porque permitia a reutilização da informação responsável pela construção de um dos lados. As argolas de Langton compunham-se de três camadas. A camada exterior, o isolador, era constituída por uma cadeia de células no estado 2. O núcleo era constituído por células que conduziam a informação

necessária à reprodução. Em cada geração, as células da camada interior obedeciam a regras que afectavam o estado das células vizinhas e propagavam efectivamente sinais através do fluxo genético do núcleo.

Criar um universo à altura de suportar tal processo constituiu um importante desafio. Era necessário organizar na camada nuclear uma configuração apropriada de células em vários estados, para que tudo acontecesse no momento certo: dados em circulação, enrolamento da cauda, e a reposição da configuração inicial no momento preciso em que a argola filha recebe os sinais que lhe permitem atingir esse estado, e se dá a cisão. Claro que se punha a questão de saber se para tudo isto bastava este esquema relativamente simples.

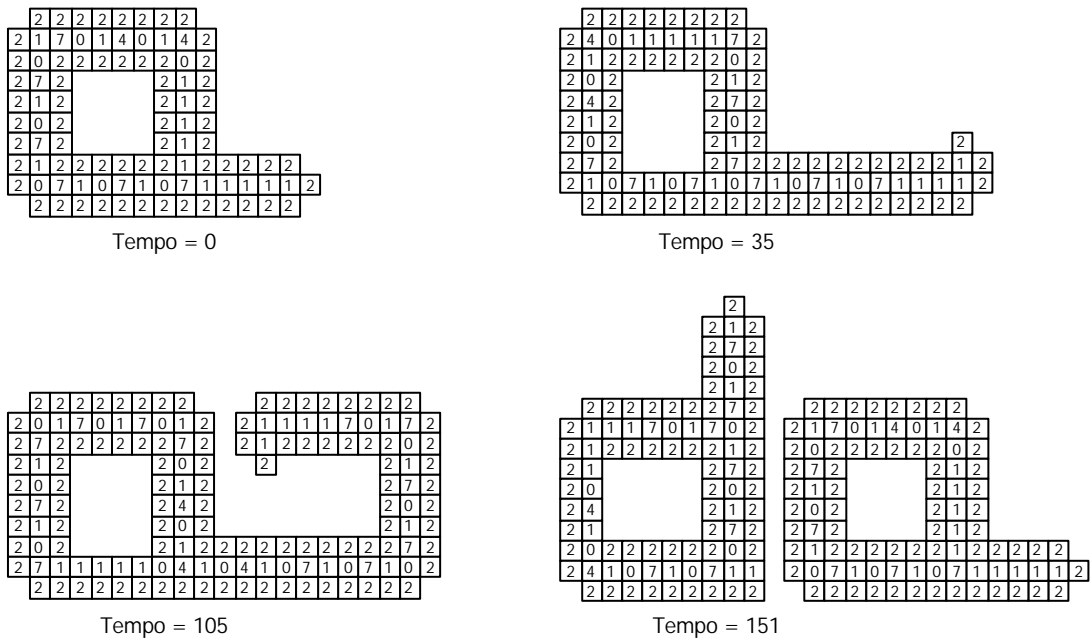


Figura 2 – As argolas auto-reprodutoras de Langton

Em Agosto de 1979, Langton começou a aperfeiçoar as suas argolas, tornando-as capazes de duplicar-se e assinalar o fim do processo reprodutivo. O sucesso não se fez esperar (ver figura 2).

O que é que Langton tinha criado? Os seus organismos não se pareciam com a vida tal como a conhecemos, eram apenas argolas complexas cujo conteúdo colorido representa estados de informação. Apesar das origens duvidosas da sua criação, Langton sentia-se confiante no que concerne a semelhança entre esse comportamento reprodutor e o das criaturas reais. Na reprodução das argolas havia um genótipo – um conjunto de células do núcleo que contém o código genético que é copiado para a geração seguinte e um fenótipo – um conjunto codificado de instruções que produz o novo organismo. Isto permitia a evolução: uma mutação ao genótipo que resulta num fenótipo aperfeiçoado cuja capacidade de disseminar os seus genes estaria beneficiada. O processo seria, literalmente, o mesmo que nos organismos reais, a evolução aqui não se tratava de um simulacro mas sim genuína.

Langton descobriu algo notável: uma ordem emergente. Tudo indicava que quando o ciclo vital da argola começava, as argolas novas e as suas progenitoras formavam aquilo que podia designar-se por uma colónia. Quando a primeira argola dava à luz, tanto a mãe como a filha iniciavam a reprodução, formando a uma descendência para norte e dando a segunda origem à terceira geração, para leste. Mas, à medida que iam sendo criadas novas argolas, algumas das

mais velhas, completamente rodeadas de descendentes, tornavam-se incapazes de prolongar as caudas a fim de reproduzir-se novamente. Estava-se perante um comportamento biológico, saído espontaneamente das regras simuladas nos autómatos celulares.



---

## A Vida Artificial e a sua contextualização

---

A Vida Artificial sofreu a influência de várias áreas científicas. Contudo, podemos afirmar que três destas foram determinantes para fazer evoluir este conceito ao longo dos tempos: a biologia, a inteligência artificial e os sistemas não lineares. Há mesmo quem considere que, das disciplinas responsáveis pelo surgimento da Vida Artificial, a inteligência artificial foi "o pai", a biologia "a mãe" e a matemática do caos, "o espírito".

---

### Contexto biológico

---

Inicialmente, a Vida Artificial trouxe consigo uma pergunta básica para todo o seu processo. O que é a vida? No passado, os gregos tinham a fala como elemento chave da vida. A partir dos séculos XVII e XVIII os cientistas colocaram como fenómeno determinante para a vida, a capacidade de movimento, e com isto, tentaram criar autómatos que pudessem mover-se ou "adquirir vida" da forma mais natural possível. Com os avanços das ciências computacionais e com a criação de uma comunidade de investigadores de inteligência artificial, o simples facto de existir é o factor determinante para a vida. Isto é, se com a criação da Vida Artificial seria possível criar seres com autonomia de ajuizar entre as questões quotidianas, e se o acto de pensar fosse uma faculdade apenas humana, a vida encontraria expressão através da própria existência positiva de uma criatura (independente de sua natureza) assim a frase, "Penso, logo existo" deveria ser substituída por "Existo, logo vivo".

Tecnicamente e do ponto de vista informático, a Vida Artificial é colocada como uma simulação de um processo biológico, e para se elaborar programas ou sistemas automatizados de simulação, é necessário que se tenha conhecimento dos mecanismos e procedimentos naturais. Logicamente, a Biologia e todos os seus processos é uma das ciências que maior influência tem na Vida Artificial.

Os biólogos elaboraram os nove princípios biológicos da vida. Assim, todo o organismo vivo tem que:

- Existir tanto no tempo quanto no espaço;
- Apresentar auto-reprodução ou reproduzir-se num outro organismo;
- Armazenar informações sobre si próprio;
- Alternar-se por metabolismo (ser capaz de transformar matéria em energia);
- Agir no seu próprio ambiente;
- Conter partes inter-independentes;
- Manter a estabilidade durante as mudanças das condições ambientais;
- Evoluir;
- Crescer ou expandir.

A partir destes princípios, os cientistas puderam criar paralelos entre a vida natural e os métodos para construção de sistemas de Vida Artificial. Foi só com a transformação do conceito de vida em regras, que se conseguiu delinear os programas e as teorias que a simulassem.

### A Mutação

A análise de sistemas estuda a relação e troca de informações entre sistemas independentes ou interdependentes e, nos sistemas biológicos, os sistemas organizam-se da mesma forma. O código genético, por exemplo, nada mais é do que um enorme banco de dados que fornece informação para outros sistemas. Portanto, as mutações podem ser consideradas como erros (ou ruídos) na transmissão das mensagens entre sistemas, conduzindo a uma nova estrutura dentro do seu ambiente.

Um exemplo de mutação ocorre quando o DNA é copiado de uma célula para outra, e uma de suas bases é alterada acidentalmente, formando um novo composto. Pode ocorrer também quando uma sequência é copiada várias vezes ou simplesmente é excluída da cadeia.

Nos sistemas da Vida Artificial, a mutação ocorre devido à substituição, exclusão ou cópia múltipla de um bit. Assim, a mutação ocorre quando um 0 se torna 1 ou vice-versa.

### **Crossing Over**

O cruzamento é a troca de informações na reprodução de sistemas. Com isso, o sistema resultado do cruzamento consegue evoluir e sobrepor-se aos outros sistemas da sua espécie (selecção), já que surge da combinação de características dos seus pais. Na Vida Artificial existe também a possibilidade do cruzamento de informações (*bytes* ou palavras) semelhante ao cruzamento genético.

### **Evolução**

No século XIX o inglês Charles Darwin, propôs a teoria de que as espécies evoluíam através da selecção natural, isto é, as espécies que conseguiam adaptar-se e sobreviver, reproduzir-iam-se criando descendentes cada vez mais desenvolvidos. Porém, nesta época Darwin não tinha conhecimentos de genética e dos conceitos de mutação, pois estes apenas surgiram várias décadas depois, quando Gregor Mendel desenvolveu as leis da genética, possibilitando a incorporação destes novos conceitos. Surgiu assim o Neo-Darwinismo (teoria sintética).

Nos sistemas de Vida Artificial, a evolução ocorre principalmente com a mutação (alteração de bits aleatórios de forma aleatória) e com o cruzamento de bits, *bytes* e palavras entre sistemas. As modificações estabelecidas através da re-combinação (mutação ou cruzamento) pode ser testada no ambiente em que o sistema se insere, de modo a saber se esta nova combinação oferece vantagens para a sobrevivência ou desenvolvimento do mesmo.

### **Relacionamento entre Sistemas**

Num sistema biológico, existe uma relação entre os vários elementos membros do sistema. Em sistemas organizacionais, como as colmeias e os enxames, cada elemento é responsável por tarefas específicas, e é este tipo de comportamento que está intimamente ligado aos projectos de Vida Artificial. Estes tentam entender ou simular os processos naturais, como por exemplo, saber a melhor distância entre dois pontos através de um trajecto de formigas, ou a resolução de um problema através da divisão da solução em tarefas distribuídas independentes.

### **Comunicação**

A comunicação é o meio pelo qual duas entidades (no sentido mais genérico possível) conseguem expressar fome, medo, raiva, disponibilidade para reprodução e muitas outras informações. Obviamente que a comunicação não se propaga apenas por via oral (fala ou ruído), propagando-se também através de características físicas (a maioria das aves expressam agressividade através dos pelos eriçados, e os cães expressam ansiedade através do rabo) e químicas (as formigas comunicam através de feromonas que estas depositam nos alimentos encontrados, que ao evaporar permite que outras formigas a acompanhem e encontrem o alimento).

### **Cooperação**

A cooperação, juntamente com a comunicação, são características intrínsecas dos sistemas naturais. Principalmente quando os indivíduos ou uma população inteira, juntam-se para realizar uma função específica, como por exemplo, encontrar alimento. Na maioria das vezes, a cooperação faz-se a partir do interesse metabólico mútuo entre dois indivíduos, ou seja, "Eu tenho uma coisa que tu queres, e eu quero uma coisa que tu tens".

### **Competição e Parasitas**

O exemplo natural clássico de competição que se pode encontrar na natureza é a luta pela obtenção de um parceiro sexual (este tipo de comportamento está intimamente ligado com a selecção natural).

Por outro lado, os parasitas caracterizam-se por viverem dentro de outro elemento, denominado hospedeiro, retirando-lhe alimento (dados ou energia). Muitos dos cientistas da dedicados à Vida Artificial consideram os vírus de computador como animais cibernéticos parasitas.

## **Aprendizagem**

A aprendizagem é a base do desenvolvimento, e conseqüentemente, da evolução. Existem várias formas de aprendizagem, desde a observação, aquisição de novas informações (instruções, indicações e exemplos) ou mesmo pela tentativa e erro.

Nos sistemas artificiais, o objectivo da aprendizagem é permitir o aperfeiçoamento da selecção de comportamentos. Neste caso, esta fortalece os comportamentos confiáveis e enfraquece os não confiáveis. A partir daí, os comportamentos são rotulados como "hábito", acelerando a selecção dos comportamentos subseqüentes.

## **Contexto da inteligência artificial**

---

A Vida Artificial é uma ciência que, embora ainda não percebida fisicamente, representa uma tendência comportamental, um padrão, que todas as disciplinas já mantinham. Não obstante, os cientistas notaram que a própria natureza também seguia um padrão matemático de comportamento que acabou por ser denominado por Teoria do Caos. A partir daqui, todas as disciplinas e sistemas militantes desta teoria, foram conhecidos como sistemas não lineares, já que em suma não conseguiam mais ser colocadas em prática pela matemática Euclidiana clássica.

Na realidade, os comportamentos e as miseráveis regras é que geram as estruturas complexas. Na Vida Artificial, o comportamento de um sistema é estipulado a partir das características e dos comportamentos de cada indivíduo. Na maioria das vezes, o comportamento global, torna-se também auto organizado, já que ao contrário o sistema desintegrar-se-ia.

### **Abordagem "Bottom-Up"**

A arquitectura dos sistemas 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 depois (abordagem "Top-Down"). A eficácia desta arquitectura é indiscutível, mas parte do princípio de que se conhece a solução do problema, ou pelo menos onde se quer chegar, algo que não acontece nos sistemas naturais. Nestes últimos, a solução final é imprevisível e surge da combinação do comportamento de vários módulos. É aqui que surge a verdadeira vantagem do uso de técnicas de inteligência artificial, onde, a partir de regras básicas de um problema, o próprio programa acha as soluções.

### **Comportamento emergente**

É a característica que os sistemas naturais e artificiais têm ao agir de forma organizada, vencendo a desordem. Falou-se pela primeira vez em comportamento emergente quando Christopher Langton criou um simulador para uma população de formigas. Este programa, formado por uma grelha colorida onde algumas células representavam formigas, estipulava regras para as formigas presentes nas células. Como resultado destas regras, houve inicialmente uma confusão geral entre as formigas, mas lentamente elas começaram a posicionar-se umas atrás das outras, tal como na natureza. Este comportamento complexo, dito emergente, não foi previamente estipulado e surgiu de regras simples.

### **Ferramentas da Inteligência Artificial**

#### Processamento Paralelo (Redes Neurais)

A partir dos estudos feitos sobre a arquitectura e o funcionamento do cérebro, foram desenvolvidas novas terminologias de redes e níveis paralelos de processamento e banco de dados. Com isto, surgiram termos como redes neurais para identificar a arquitectura que funciona através do paralelismo dos seus nós, que simulam neurónios. Estes recebem e enviam sinais para vários outros nós.

Como sistema de Vida Artificial, uma rede neuronal pode ser "treinada" para produzir um resultado correcto ou o esperado, com um grau de velocidade de resposta razoável. Para isso, "recompensam-se" os nós que produzem os melhores resultados aumentando o seu peso e diminuindo o peso dos nós que não funcionam eficientemente ou que fornecem informações insatisfatórias.

### Robótica

Até agora, a Vida Artificial foi colocada como uma proposta na simulação de problemas de ordem lógica. Porém, "para toda alma tem de haver um corpo", e a robótica é a ciência que estuda a maneira pela qual as máquinas inteligentes poderão interagir (fisicamente) com o mundo real. Nos sistemas de Vida Artificial, o desenvolvimento da robótica fez-se a partir da busca de uma geração capaz de tomar decisões de acordo com as circunstâncias, ou em poucas palavras, a tentativa de transformar o automático em autónomo.

### Arquitectura "Fuzzy"

As entradas recebidas do meio ambiente são normalmente incertas e inesperadas. Assim, a criação de uma arquitectura de processamento de informações padronizada, para tratar destes dados extremamente complexos, tornou-se indispensável. A lógica Fuzzy, criada por Lofti Zadeh, veio responder a estas necessidades. Formada por um conjunto de regras de avaliação para uma determinada entidade, a variável avaliada é colocada dentro de uma escala com mais ou menos incerteza.

Nos sistemas de Vida Artificial, esta arquitectura pode ajudar no reconhecimento variado de padrões ambientais, e na maior eficácia da tomada de decisões em reacção a um impulso ambiental.

### Arquitectura de Aceitação

A variável ambiente é de extrema importância para qualquer arquitectura que pretenda interagir com o mundo. A arquitectura de aceitação criada por Rodney Brooks procura definir camadas de comportamentos para a decisão final da acção do autómato. Uma camada representa a capacidade de expressar um comportamento ("vontade") e cada camada engloba as outras camadas abaixo dela. Por exemplo, "andar" é um comportamento (com as suas características definidas) e "evitar o encontro com objectos" é outra camada que incorpora a camada "andar" e todas as suas propriedades. Até que apareça uma outra camada que englobe esta última, esta continuará a aprender e a adaptar-se, já que é a camada mais externa.

### Competição de Comportamentos

Na tomada de decisões, é necessário o planeamento da acção. Porém, nos sistemas de Vida Artificial, o planeamento inicial não pode ser absoluto, uma vez que em determinado ponto pode haver mudanças. Nestas circunstâncias, as informações estão chegando ou sendo actualizadas do ambiente, e é necessário que a criatura tome alguma atitude. É nestes momentos que o conceito de competição de comportamentos se torna fundamental. Os comportamentos possuem uma escala de valores para cada momento, por exemplo, "andar" é o comportamento emergente no caso de um reconhecimento de ambiente, porém, em caso de um estímulo repentino (como a presença de um predador) o comportamento "fugir" deve prevalecer sobre o comportamento "andar" e tornar-se assim verdadeiro.

### Algoritmos Genéticos

Os algoritmos genéticos foram criados por John Holland em 1975 e constituem o principal representante dos algoritmos evolutivos. Podem ser definidos como processos que usam a abordagem "Bottom-Up" para combinação da sobrevivência com a adaptação de estruturas de dados. Baseando-se em métodos naturais, os algoritmos genéticos implementam técnicas de mutação, crossing-over e reprodução, processando combinações de bits das estruturas "genéticas" de uma criatura. À medida que as gerações se vão desenvolvendo, só as melhores combinações continuam sobrevivendo e reproduzindo. Este tipo de lógica recai principalmente sob a óptica Darwiniana, ou seja, este processo artificial do algoritmo genético simula o processo de selecção natural. Num sistema artificial ele é utilizado como forma de obter solução, ou pelo menos a melhor resposta para qualquer tipo de problemática.

### Sistemas Qualitativos

Os sistemas qualitativos foram criados como uma extensão dos algoritmos genéticos. Basicamente, a sua arquitectura permite que haja uma classificação das regras de forma a eliminar as regras mais fracas, aquelas que não se adaptaram ao problema proposto, e fortalecer as regras mais fortes, que continuam a competir entre si. Posteriormente, ao

descobrir as melhores regras, o sistema qualitativo (ou de classificação) cria novas regras (através de mutação e/ou crossing-over) e coloca-as no lugar das regras que foram eliminadas. A partir daí, é reiniciada uma nova re-combinação entre as regras fortes e as regras novas, simulando o processo da evolução.

#### Programação Evolutiva

Este método caracteriza-se pela orientação para um objectivo. Por outras palavras, selecciona a melhor saída para um objectivo pré-determinado, através de uma abordagem "Top-Down". Neste processo, o algoritmo selecciona os filhos (que foram gerados através de reprodução e sobretudo repetitivas mutações) com melhor desempenho e compara-os com os seus "pais". Se o filho for "superior" ao pai, este último é substituído. Caso contrário, o filho é eliminado e o processo é repetido. Posteriormente, o filho que se revelou "superior" ao pai é comparado com o melhor indivíduo da população e, caso este obtenha um desempenho melhor ou igual ao melhor indivíduo, uma nova geração forte é criada, e as suas informações genéticas são armazenadas para que distorções ambientais inesperadas não o modifiquem. Todas estas avaliações significam, obviamente, adequação ao ambiente em que se insere a população, e é desta forma que os algoritmos de programação evolutiva conseguem adaptar-se a uma situação, ou escolher a melhor solução para um dado problema.

#### Estratégias de Evolução

Semelhante à programação evolutiva, as estratégias de evolução também utilizam componentes de mutação e selecção orientada a objectivos. Através destes conceitos biológicos, seleccionam-se os melhores indivíduos para criar próximas gerações com níveis de adaptação ao ambiente cada vez maiores.

## **Contexto dos Sistemas Não-Lineares**

---

Segundo a 2ª Lei da Termodinâmica: "Quanto maior a desordem de um sistema, maior a sua entropia". Neste caso, imaginemos uma nuvem na forma de uma mensagem de fumaça. A sua entropia é baixa pois o seu nível de organização e complexidade é alto, porém, com o tempo, o fumo deforma-se e a mensagem que ele representa acaba ilegível. Pode-se dizer então, que a sua entropia aumentou. Este exemplo mostra que a entropia, em termos de comunicação, nada mais é do que o contrário da informação. A estrutura de um sistema biológico tenta sempre "andar contra" a entropia, pois os sistemas evoluem em sistemas cada vez mais complexos e organizados. Podemos dizer que a morte ocorre quando o grau de entropia chega a um nível considerável, irreversível.

Através do contexto biológico dos sistemas, é possível perceber que a mutação de um sistema (artificial ou não) é a falha na transmissão de uma mensagem, neste caso do gene, surgindo um novo composto. Assim, a desordem da informação em pequena escala ajuda também na evolução dos sistemas. Daqui surge a Teoria do Caos, influenciando de certa forma a Vida Artificial, pois demonstra a criação da ordem vinda do caos, criando comportamentos complexos através de regras simples.

Os sistemas não-lineares surgem a partir da Teoria do Caos numa tentativa de fornecer uma explicação lógica, através das suas fórmulas e equações, aos fenómenos naturais tais como populações, turbulências, movimento de fluidos, nuvens, etc.

### **A Matemática do Caos**

A ciência do caos estuda os fenómenos aparentemente imprevisíveis, na busca de padrões escondidos e de leis simples que regem os comportamentos complexos. Contudo, este estudo só se tornou efectivamente plausível a partir da década de 60, quando os computadores começaram a possuir capacidade gráfica e de processamento razoáveis, dando aos físicos e matemáticos o poder de descobrir respostas para questões fundamentais da ciência, que ainda se encontravam envolvidas num manto vago.

Convencionaram-se assim dois padrões de sistemas físicos. O primeiro representa os sistemas lineares, caracterizados por equações que tentam definir um sistema físico-matemático dentro

de certos limites, ou deixando de lado alguns factores de influência complexos, obtendo apenas uma pseudo-realidade. O segundo padrão de sistemas é o chamado não-linear, padrão onde a simples álgebra convencional não consegue dar respostas exactas, uma vez que as variáveis de influência, além de existirem em maior número, não respondem de forma organizada às suas variações.

Para além dos sistemas naturais serem sistemas não-lineares, é evidente que os sistemas de Vida Artificial, e os métodos computacionais que geram estes sistemas artificiais, sofrem grande influência das equações e fórmulas matemáticas da ciência do caos.

### **A Geometria Fractal**

Na década de 60, um matemático que trabalhava na IBM, acreditava que certos comportamentos quotidianos imprevisíveis, como oscilações da bolsa de valores e *bugs* na comunicação de computadores podiam ser traduzidos em fórmulas matemáticas, e com elas podia traçar uma representação gráfica do comportamento destes sistemas. Este matemático, Benoit Mandelbrot, que deu o nome de "fractal" para a representação gráfica do caos, percebeu que os sistemas ditos caóticos possuíam padrões simples de resposta, que além de repetitivos, continham a lógica de que através de uma parte da "fractal", podia-se gerar um todo. A esta lógica foi dada o nome de auto-semelhança.

Outros matemáticos como Gaston Julia e Pierre Fatou, o americano John Hubbard e Michael Barnsley, começaram a esboçar fórmulas matemáticas de expressões com números complexos, obtendo fractais. Este último escolheu um ramo diferente dentro do estudo das fractais, pesquisando imagens da própria natureza, ou seja, padrões gerados por organismos vivos. Para isso, trabalhou com fractais de outros matemáticos procurando novas alternativas, chegando ao ponto de aplicar métodos aleatórios para criar novos modelos. Este método criado por Barnsley, denominado de "construção global de fractais por meio de sistemas de funções iteradas", ou vulgarmente "jogo do caos", consistia num programa de computador com capacidade gráfica, que gerava números aleatórios. Para cada valor gerado, uma regra previamente estipulada era activada e, com o passar do tempo, produzia não um campo aleatório de pontos, mas uma forma que se tornava cada vez mais nítida. No jogo do caos, o acaso era usado apenas como mera ferramenta, pois os resultados obtidos mostravam-se deterministas e previsíveis.

John Hubbard também se questionou acerca da semelhança entre os fractais de Mandelbrot e a codificação biológica das informações. Porém ele rejeitava qualquer insinuação de que este processo dependesse do acaso, chegando mesmo a afirmar que "Não há aleatoriedade no conjunto de Mandelbrot (...) Também não acho que a possibilidade de aleatoriedade tenha qualquer relevância directa para a biologia. Na biologia, a aleatoriedade é morte, o caos é morte. Tudo é muito estruturado (...) Os conjuntos de Mandelbrot obedecem a um esquema extraordinariamente preciso, nada deixando ao acaso. Desconfio muito que, no dia em que alguém descobrir como o cérebro é organizado, eles descobrirão, para seu espanto, que há um esquema de codificação para construir o cérebro que é de uma precisão extraordinária. A ideia da aleatoriedade em biologia é apenas um reflexo".

## A Vida Artificial na prática

### Os boids

Desde os tempos em que Craig Reynolds andava na escola, sempre pensou ser possível criar programas de computador com regras simples, a fim de simular os complexos movimentos dos animais. Em 1986, quando este pesquisava uma forma de construir uma animação gráfica sobre o voo de bandos de pássaros, as necessidades levaram a que ficasse dias observando bandos de melros em revoada num cemitério. Reynolds estava em crer não existir qualquer pássaro a dar instruções aos outros, e que o fenómeno da formação de bandos era uma actividade descentralizada em que cada ave obedecia a umas regras simples. Só então emergia o comportamento do grupo numa actividade colectiva. No relato de Reynolds, “O deslocar de um bando de aves é [...] simples no conceito, embora visualmente tão complexo que parece nascer do acaso, e está magnificamente sincronizado. Ainda mais espantoso, é a forte impressão que nos fica de haver um controlo centralizado intencional. Apesar das evidências sugerirem que o bando resulta da acção conjugada de animais isolados, cada um deles age separadamente com base na sua percepção local do mundo”.

Se de facto a teoria de Reynolds correspondesse à verdade, a formação de bandos poderia ser moldada permitindo a cada animal simulado aplicar um conjunto de regras simples. Destas regras, ele destacou três:

- ❑ Coesão: o bando mantém-se unido;
- ❑ Separação: pois cada elemento do bando evita aglomerar-se a outro, mantendo uma certa distância;
- ❑ Alinhamento: cada pássaro tenta ficar no centro de um grupo de indivíduos.

Mais tarde, em cooperação com outros profissionais da Symbolics Graphics Division (Califórnia), onde trabalhava, Reynolds empenhou-se na criação de um programa que gerava cenas tridimensionais para simular os movimentos dos pássaros a partir destas regras simples, chamando-os de *boids*, contracção de *birds* (pássaros) e *oids* (andróides). As observações e os modos de agir deles era estritamente locais. À medida que voavam, os *boids* registavam o procedimento dos vizinhos – como se fossem células num autómato celular – e aplicavam essa informação a si, nos movimentos do instante subsequente. Por exemplo, cada *boïd* detectaria o centro de gravidade no seu raio de acção e mover-se-ia direito a ele. Se houvesse outros *boids* à esquerda, por exemplo, ele mover-se-ia para a esquerda. Tentaria acertar a sua velocidade pela dos *boids* próximos, a não ser que fosse necessário desacelerar ou acelerar para se manter no bando. Se um *boïd* se aproximasse demasiado do vizinho, voltaria a afastar-se para evitar a potencial colisão.

Reynolds experimentou depois fazer o bando deparar com obstáculos, mais propriamente cilindros estreitos parecidos com colunas. Os *boids* não apresentaram qualquer dificuldade em dividir-se ao passar pela coluna, começando a afastar-se ainda antes de encontrarem o obstáculo, o que não deixava de parecer curioso, uma vez que não tinham sido programados para tal. Após o seu contorno, o bando voltava a unir-se (ver figura 3).

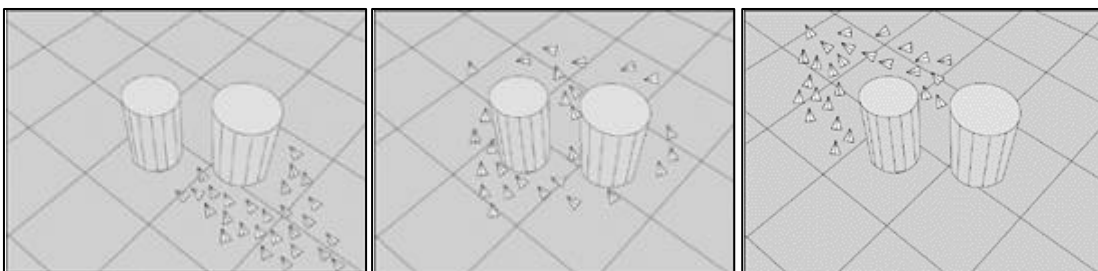


Figura 3 – Separação do bando de *boids* de Craig Reynolds perante um obstáculo

Os *boids*, na verdade, possuíam comportamentos emergentes a partir das regras simples pré-estabelecidas. Com esta simulação, Reynolds tentou convencer muitos ornitologistas a usar os *boids* como ferramenta de pesquisa a favor da Biologia, embora esta tarefa se tenha revelado complicada, dada a relutância dos investigadores da área em trocar o ambiente físico e a natureza por um terminal de computador.

Em 1987, Craig Reynolds foi convidado por Chris Langton a apresentar os seus "boids" na Artificial Life Workshop, uma vez que se encaixava 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.

## **A Vida Artificial como Expressão Artística**

---

A nível artístico, o sucesso dos *boids* de Reynolds conseguiu influenciar criadores de efeitos visuais como Andy Kopra que, para criar a sequência de morcegos no filme "Batman – O Regresso", seguiu os princípios da Vida Artificial e o próprio programa de Reynolds. Segundo Reynolds, um artista gráfico perde muito tempo para animar animais com relações independentes e, mesmo com programas de animação sofisticados, o comportamento global gerado não parece real. Ora, como a Vida Artificial simula os processos naturais, a própria beleza artística da natureza pode ser produzida com maior fidelidade por meios artificiais.

### **Os Sistemas-L**

Há alguns anos atrás, mais precisamente em 1968, dois matemáticos pesquisavam uma maneira de traduzir o crescimento das plantas em fórmulas matemáticas, de modo a que o processo pudesse ser capturado por um computador. Para isto, os dois matemáticos, Aristid Lindenmayer e Przemyslaw Prusenkiewicz, incorporaram teorias que iam desde a teoria gramatical de Noam Chomsky, passando pela matemática dos autómatos de Stephen Wolfram, até aos fractais de Benoit Mandelbrot, surgindo os Sistemas-L. A grande semelhança deste processo artístico com a Vida Artificial é que os resultados são obtidos através de um processo matemático simples que eles chamaram de regravação. O método da regravação consiste basicamente num algoritmo constituído por um ciclo, em que a cada iteração é feita a substituição de um símbolo por outro. Nos Sistemas-L, estes símbolos transformam-se em representações gráficas simulando o crescimento das plantas. Cada vez mais complexo, um galho possui outros ramos que possui outros pequenos ramos, etc.

### **Galápagos**

O conceito de arte evolucionária surgiu no início dos anos 90 através de Karl Sims, antigo estudante do MIT Media Lab. e do MIT. Karl Sims ficou conhecido pelo desenvolvimento de um fabuloso programa onde os humanos são intervenientes na criação de imagens geradas por um processo evolutivo aberto. As imagens são desenhadas a partir de genomas digitais, equivalentes ao DNA biológico, que são interpretados e posteriormente compostos numa imagem. Sims armazenou os genomas digitais em estruturas complexas escritas na linguagem LISP, que descrevem como desenhar a imagem. Através da utilização da computação paralela, é possível o desenho de fantásticas imagens com elevada complexidade, muito rapidamente.

Foi este processo que foi usado para a criação da exposição Galápagos em 1997. Galápagos é uma evolução darwiniana virtual de organismos, interactiva, onde 12 computadores que simulam o crescimento e o comportamento de uma população abstracta, exibem nos ecrãs dispostos num arco, as formas evolutivas do organismo. Os visitantes podem participar nesta exposição ao seleccionar os organismos mais interessante a nível estético. Os organismos seleccionados sobrevivem, sofrem mutação e reproduzem-se. Os que não são seleccionados, são removidos e substituídos por uma nova vaga de sobreviventes. A nova geração é composta por cópias e combinações dos seus ascendentes, em que os seus genes são alterados por mutações aleatórias, gerando organismos por vezes mais interessantes que os seus pais. À



medida que este ciclo evolucionário de reprodução e selecção continua, mais interessantes são os organismos que podem surgir.

O processo intrínseco desta exposição advém de uma colaboração entre o Homem e a máquina. Os visitantes fornecem informação sobre a beleza estética ao seleccionar as formas de organismos mais interessantes e os computadores fornecem a habilidade de simular o crescimento, o comportamento e a genética de organismos virtuais.

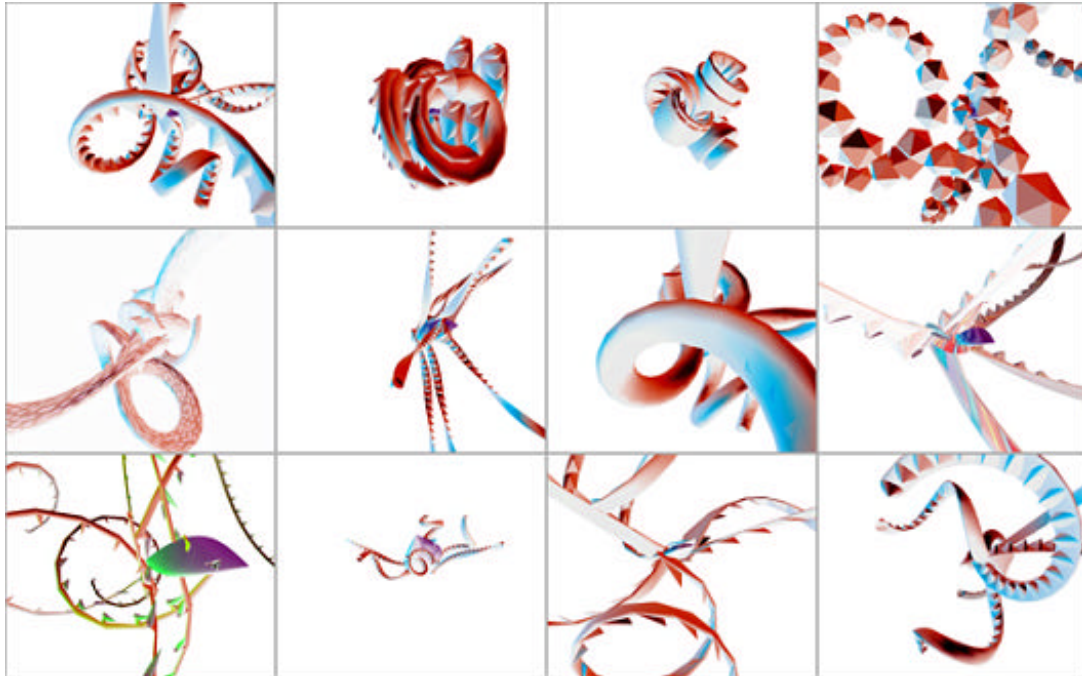


Figura 4 – Evolução, crescimento e comportamento de um organismo seleccionado

### Criaturas Virtuais

As Criaturas Virtuais (*Evolved Virtual Creatures*) foram criadas em 1994 por Karl Sims. Através de um sistema genético flexível, criaturas constituídas por um conjunto de blocos foram introduzidas em ambientes físicos reais, tais como o ambiente aquático ou terrestre. As criaturas eram seleccionadas pela sua capacidade de sobrevivência e desempenho em diferentes tarefas, tais como, nadar, saltar ou andar, produzindo um conjunto de criaturas extremamente fascinante.

Algumas são familiares, tais como as cobras nadadoras. Outras são muito eficientes nas suas tarefas, mesmo acompanhadas de padrões completamente desconhecidos de movimentos e formas. A essência do trabalho destas criaturas virtuais é comparada com os algoritmos genéticos, embora os seu genótipos sejam baseados em grafos em vez de *strings* ou estruturas em árvores.

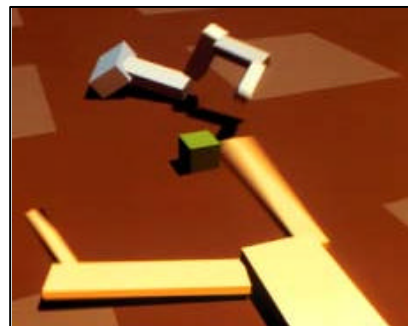
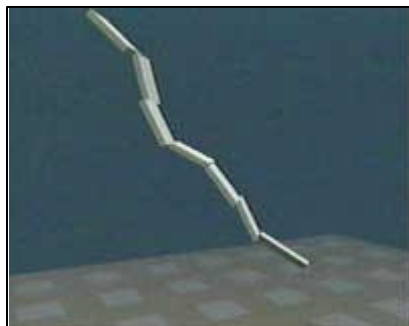


Figura 5 – Criatura em movimento (à esq.) e duas criaturas em competição (à dir.)

---

## Recursos

---

### Bibliográficos

---

- ❑ Levy, Steven – Vida Artificial, em demanda de uma nova criação – Publicações Dom Quixote - 1993

### Sítios na Internet

---

- ❑ <http://www.alife.org/> - ISAL – International Society for Artificial Life
- ❑ <http://alife.fusebox.com/> - The Temple of Alife
- ❑ <http://www.sciam.com/2000/1100issue/1100amsci.html> - Scientific American: Feature Article: ARTIFICIAL LIFE: Boids of a Feather Flock Together: November 2000
- ❑ <http://www.red3d.com/cwr/boids/applet/> - Flock Applet: Boids in Java
- ❑ <http://www.geocities.com/chamonate/hormigas/antfarm/> - Simulador AntFarm
- ❑ <http://biota.org/ksims/> - Karl Sims Retrospective
- ❑ <http://www.decordova.org/decordova/exhibit/compart/works.html> - Interactive Computer Art
- ❑ <http://www.genarts.com> - GenArts, Inc.
- ❑ <http://www.cambrianart.com> - CambrianArt.com