



Universidade de Brasília
Instituto de Artes
Programa de Pós-Graduação em Artes

FRANCISCO DE PAULA BARRETTO

ARTelligent: Arte e Inteligência Artificial no contexto da emergência e
da autopoiese

Brasília – DF

2011

FRANCISCO DE PAULA BARRETTO

**ARTelligent:
arte e inteligência artificial no contexto da emergência e da
autopoiese**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Artes da Universidade de Brasília como requisito básico para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Professora Doutora Suzete Venturelli

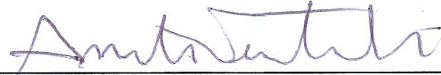
Área de Concentração: Arte Contemporânea

Linha de Pesquisa: Arte e Tecnologia

Brasília – DF

2011

**DISSERTAÇÃO E PRODUÇÃO IMAGÉTICA DE MESTRADO EM ARTE
APRESENTADA AOS PROFESSORES:**



Professora Dra. SUZETE VENTURELLI (VIS/UNB)
ORIENTADOR



Professor Dr. MILTON TERUMITSU SOGABE (UNESP)
MEMBRO EXTERNO



Professora Dra. ANA BEATRIZ PAIVA COSTA BARROSO (VIS/UNB)
MEMBRO EFETIVO

Professora Dra. MARIA DE FÁTIMA BORGES BURGOS (VIS/UNB)
SUPLENTE

Vista e permitida a impressão
Brasília, quinta-feira, 02 de fevereiro de 2012.

Coordenação de Pós-Graduação do Departamento de Artes Visuais do Instituto de Artes /
UnB.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de
Brasília. Acervo 997023.

B274a Barretto, Francisco de Paula.
ARTelligent : arte e inteligência artificial no contexto
da emergência e da autopoiese / Francisco de Paula
Barretto. -- 2011.
89 f. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília,
Instituto de Artes, Programa de Pós-Graduação em Artes,
2011.

Inclui bibliografia.

1. Inteligência artificial. 2. Arte e tecnologia.
I. Venturelli, Suzete. II. Título.

CDU 7:004

AGRADECIMENTOS

Em um trabalho como este não se faz absolutamente nada sozinho. Alguns colaboram de forma ativa no desenvolvimento da pesquisa, outros te ajudam a ter tempo para realizá-la e ainda há aqueles que motivam e incentivam. Este agradecimento se estende à todos que de uma forma direta ou indireta tiveram contato com este trabalho.

Ao João, meu maior tesouro e motivação. Aos meus pais Francisco e Emília Barreto por sempre acreditarem em mim. Agradeço também a Mariana Rauen, minha companheira, e aos meus irmãos: Pablo, Marília, Brunno e Alice.

À Suzete Venturelli, minha ilustre orientadora, por ter comprado a idéia da pesquisa. Aos professores Fátima Burgos, Ana Beatriz Barroso, Milton Terumitsu Sogabe. Um agradecimento mais que merecido para a equipe do Midialab – UnB, fundamental no desenvolvimento dessa pesquisa: Claudia Loch, Juliana Hilário, Leonardo Guilherme, Bruno Braga, Ronaldo Ribeiro, Victor Valentim, Hudson Bomfim, Ana Lemos e Breno Rocha. Agradeço ainda ao Prof. Dr. José Fornari da Unicamp, com quem desenvolvi o projeto EVOTwitter.

Aos amigos Aron Miranda, Benoit Espinola, Gabriel Gaudêncio, Gustavo Soares, Gustavo Pozzobon, Pedro Brito, Luana Neiva, Romy Rauen, Flávio Jatobá, João Faissal, Krisna Nóbrega, Isabella Arruda, Juliana Lundgren, Drica Soares, Henrique Rocha, Thiago “Fonseca”, Leandro Luna, Eric Luna, Beatriz Batista, Marta Carvalho, Hibys de Farias, Fábio Sacal, Maíra Rosas, Felipe Spencer, Camille Venturelli, Igor Excalibur, Carol Ribeiro, Samy Araújo, Vladimir Araújo, Mônica “Araújo”, Família Rauen e todo o pessoal da Imaginária Cooperativa.

Um salve aos companheiros do Coletivo Noções Unidas: Caetano Maia, Lauro Montana, Kadu Krawiec e Fernando Booyou.

Valeu Cecília, o dega e a Dona Canô!

RESUMO

Esta pesquisa prático-teórica aborda de forma transdisciplinar os panoramas de utilização de Inteligência Artificial (IA) na arte computacional considerando a obtenção de resultados emergentes. Estes sistemas inteligentes são capazes de reproduzir comportamento inteligente computacionalmente através da utilização de várias técnicas. Aqui são enfatizadas duas técnicas que tem forte embasamento na psicologia e na biologia: Redes Neurais Artificiais (RNA) e Algoritmos Genéticos (AG).

Na modelagem dos sistemas inteligentes, independente da técnica utilizada, se faz necessário pensar como representar o mundo, domínio onde o agente está inserido, a fim de possibilitar que o mesmo realize inferências e aprenda como melhorar as suas ações. A forma como se escolhe representar o mundo para o agente e as ferramentas que utilizamos para que ele realize tais inferências tem um papel fundamental não apenas no resultado estético do sistema como também no aparecimento do comportamento emergente, foco deste estudo.

O comportamento emergente pode ser definido, segundo Peter Cariani (2009) como algo fundamentalmente novo que não poderia ser previsto antes de acontecer. Essa característica emergente do sistema pode ser vista como uma heurística para a obtenção da criatividade. Outro aspecto importante é a questão autopoietica dos sistemas, definida por Francisco Varela e Humberto Maturana (1997) no livro *De Máquinas e Seres Vivos: autopoiese, a organização do vivo*. Nesta obra são definidas várias características que definem um sistema vivo como uma máquina autopoietica, sendo a principal dela a capacidade dos seres vivos de produzirem e manterem a si próprios.

Além deste estudo das relações entre IA, arte computacional, emergência e autopoiese, são apresentados dois trabalhos artísticos onde pode-se encontrar os conceitos discutidos: EvoTwitter e Geopartitura

Palavras-chave: Arte Computacional, Inteligência Artificial, Emergência, Autopoiese, Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos e Cognição.

ABSTRACT

This practical-theoretical research addresses, in a transdisciplinary way, on the possible applications of Artificial Intelligence (AI) in computer art considering the achievement of emergent results. These intelligent systems are able to reproduce computationally intelligent behavior through the use of various techniques. Here we present two psychology and biology based techniques: Artificial Neural Networks (ANN) and Genetic Algorithms (GA).

In the intelligent systems modeling process, regardless the chosen technique, it is necessary to think how to represent the knowledge involved in the domain in which the agent is inserted so it might be able to perform inferences and learn during this process, improving its actions. The chosen way of representing this knowledge and the tools we provide for its inference process have a primary role not only on the aesthetic results but also on the emergent behavior, emphasized on this research.

The emergent behavior can be defined, according to Peter Cariani (2009) as something fundamentally new, that could not be predicted before it happened. This feature of the emerging system can be seen as a useful heuristic to move towards a creative behavior. Another important aspect in this research is the autopoietic system, defined by Humberto Maturana and Francisco Varela (1997) in their book *Machines and Living Beings: autopoiesis, the living organization*. In this book they enlist several characteristics that define a living system as an autopoietic machine, including its main ability to produce and maintain themselves.

In addition to this study of the relationship between AI, computer art, emergence and autopoiesis, two projects (EvoTwitter and Geopartitura) are presented so we might better understand some of these concepts.

Keywords: Computer Art, Artificial Intelligence, Emergency, Autopoiesis, Artificial Neural Networks, Genetic Algorithms and Cognition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1: Algumas definições de IA agrupadas em quatro grandes categorias (RUSSEL e NORVIG, 2003)..... | 18 |
| Figura 2: (a) <i>Is There Anyone There</i> , Stephen Wilson (1992) e (b) <i>Mutations of The White Doe</i> , Nicolas Reeves (1997)..... | 20 |
| Figura 3: Impermanence Agent (Wardrip-Fruin e Moss, 2002). | 22 |
| Figura 4: Formas emergentes da obra <i>Galápagos</i> , Karl Sims (1997)..... | 23 |
| Figura 5: Modelo genérico de um agente reativo simples capaz de interagir com o meio (Russel e Norvig, 2003). | 24 |
| Figura 6: Representação simplificada da estrutura morfológica de um neurônio..... | 28 |
| Figura 7: Topologia de uma Rede Neural Artificial totalmente conectada alimentada à frente..... | 29 |
| Figura 8: <i>La Funambule Virtuelle</i> , de Marie-Hélène Tramus e Michel Bret (2000-2007)..... | 31 |
| Figura 9: Veículos simples de Braitenberg: (a) veículo que busca a luz e (b) veículo que evita a luz (PFEIFER e BONGARD, 2007)..... | 41 |
| Figura 10: Escalas de tempo e emergência: “aqui e agora”, ontogenético e filogenético (PFEIFER e BONGARD, 2007). | 42 |
| Figura 11: Sequência de passos da esquerda para a direita considerando as regras do jogo da vida, segundo John Conway (apud. GARDNER, 1970). | 44 |
| Figura 12: Emergência combinatória versus emergência criativa (Cariani, 2009). | 46 |
| Figura 13: Resumo dos parâmetros utilizados na implementação do Gerador de Acordes..... | 47 |
| Figura 14: <i>The Bacterial Orchestra</i> no encontro de novas mídias em Norrköping (2006). | 50 |
| Figura 15: Três braços robóticos da obra <i>The Flock</i> que demonstram comportamento emergente de bando (Rinaldo, 1994). | 51 |
| Figura 16: O ciclo de auto-regulação de uma célula enquanto unidade autopoietica (LUISI, 2003). | 53 |
| Figura 17: Em destaque, um dos 15 braços robóticos da instalação <i>Autopoiesis</i> , do artista Ken Rinaldo (2000)..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 18: Esquema básico da interface da obra Audible Ecosystems (DI SCIPIO, 2003)..... | 59 |
| Figura 19: Representação gráfica do processo de co-emergência, segundo Luisi (2003). | 60 |
| Figura 20: Ciberintervenção Urbana realizada no Museu Nacional da República (2010). | 66 |
| Figura 21: Diagrama esquemático do modelo da siringe..... | 67 |
| Figura 22: Algoritmo da síntese da siringe em Pure Data..... | 68 |
| Figura 23: Representação das três regras básicas para simulação bando, definidas por Craig Reynolds (1987). | 73 |
| Figura 24: Exemplo de três pássaros virtuais, cujas asas são formadas pelo texto das respectivas mensagens (<i>tweets</i>). | 74 |
| Figura 25: Telesymphony, de Golan Levin (2001)..... | 75 |
| Figura 26: Geopartitura em exposição durante o 10º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia, Brasília. (2011)..... | 76 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 11 |
| SEÇÃO 1 Inteligência Artificial e Arte Computacional | 17 |
| 1.1 Inteligência Artificial no Contexto da Arte Computacional..... | 20 |
| 1.2 Cognição em Sistemas Inteligentes..... | 23 |
| 1.2.1. Representação de Conhecimento e Aprendizagem | 26 |
| SEÇÃO 2 Inteligência Artificial no Contexto da Autopoiese e Emergência | 37 |
| 2.1 IA e Emergência | 40 |
| 2.2 IA e Autopoiesis..... | 52 |
| SEÇÃO 3 ARTelligent: Arte + Inteligência Artificial | 62 |
| 3.1. EvoTwitter | 62 |
| 3.1.1 O Som da Siringe | 66 |
| 3.1.2 A Síntese Evolutiva | 68 |
| 3.1.3 A Paisagem Sonora e a Paisagem Visual..... | 71 |
| 3.2. Geopartitura..... | 74 |
| CONCLUSÃO..... | 80 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 83 |

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa recorre à metodologia transdisciplinar pois visa o trabalho construtivo, que se desenvolve a partir de várias áreas de conhecimento. A transdisciplinaridade neste projeto potencializa a ideia de caminhar, de ultrapassar as fronteiras das disciplinas e de ousar transitar por elas. A transdisciplinaridade, como método, vai ao encontro da proposta de Basarab Nicolescu (NICOLESCU, 2006), no movimento que se estabelece "entre", "através" e para "além" das disciplinas cuja dinâmica consolida-se na "coerência", na "legitimidade" e na "articulação" de saberes que desdobram-se de seu difícil exercício e complexidade. O método de trabalho em laboratório, neste caso o espaço do Midialab-UnB, para construir software artístico tenta ultrapassar o pensamento clássico para abarcar os vários níveis de realidade tomando por base a lógica da complexidade, que envolve o trabalho coletivo e colaborativo, como sustentáculo da sua metodologia de pesquisa.

A comunidade artística há muito discorre sobre os panoramas de utilização de Inteligências Artificiais (IA), ou agentes¹, poeticamente representados no cinema pelo computador Hal, em *2001: Uma Odisséia no Espaço*, os replicantes de *Blade Runner*, baseado no romance de Philip K. Dick “*Do Androids Dream of Electronic Sheeps*”, ou pelo próprio Wintermute criado por William Gibson no romance intitulado *Neuromancer* (KUBRICK e CLARCKE, 1968; DICK, 1982; GIBSON, 2003). No entanto, há uma enorme diferença entre os agentes imaginários retratados nestas obras e os agentes inteligentes com os quais convivemos no mundo “real”, como aqueles que agendam passagens ou triam os nossos e-mails.

Neste sentido, o conceito geral de agente remonta aos anos 50 quando John McCarthy, considerado por muitos como um dos pais da IA ao lado de Marvin Misky e vários outros, desenvolveu o *software* Advice Talker. No entanto, o termo “agente”

¹ Segundo Russel e Norvig (2003), um agente pode ser entendido como um sistema capaz de perceber o ambiente em que está inserido e interagir com o mesmo.

² **Midialab** (www.midialab.unb.br) é coordenado pela Prof. Dr. Suzete Venturelli. Foi criado em 1986 com o nome de Laboratório de Imagem e Som, em 2000 passou a ser denominado de Laboratório de Pesquisa em Arte e realidade Virtual e atualmente, em função da abrangência das pesquisas realizadas intitula-se Laboratório de Pesquisa em

só caiu em uso nas discussões *high tech* por volta de 1989, quando a Apple lançou um vídeo intitulado *The Knowledge Navigator* onde exibia um mordomo trajando um belo smoking que obedecia prontamente aos comandos de um interator frente ao computador (JOHNSON, 1997).

Nas primeiras discussões científicas acerca da definição conceitual de IA abordou-se, entre outros, o ponto de vista da busca pela compreensão do funcionamento da inteligência humana que, por sua vez, está ligada diretamente à capacidade que temos de compreender o mundo através das nossas habilidades cognitivas. Dentre estas habilidades, pode-se destacar a relevância da concepção artística no contexto da expressão desta inteligência através do uso do nosso sistema conotativo (LUGER, 2004).

A representação do conhecimento acerca das relações que dominam a expressão criativa do artista fica mais evidente ao se trabalhar com música, posto que ela possui gramática e regras próprias capazes de serem descritas em forma de algoritmo (ROADS, 1996). A composição algorítmica tem sido desenvolvida há décadas como forma de prover uma composição assistida pelo computador ou, inclusive, a realização de uma obra composta apenas pelo computador.

Sendo a inteligência artificial uma espécie de automação de comportamento inteligente, segundo a definição de Luger e Stubblefield (LUGER, 2004), e a Arte uma expressão de comportamento inteligente inerente ao nosso sistema cognitivo e conotativo (FERNANDES, 2003), pode-se estudar a relação do comportamento de expressão criativa através da aplicação de técnicas de IA sob dois paradigmas composicionais: composição assistida pelo computador e composição pelo computador (ROADS, 1996; POHLMANN, 2002).

No primeiro paradigma, a composição artística é realizada por um usuário através do auxílio do computador. Neste caso, o computador pode facilmente auxiliar usuários inexperientes no processo composicional. A segunda abordagem diz respeito à composição totalmente realizada por um computador, sendo bem mais promissor para o estudo do ponto de vista da inteligência artificial (ROADS, 1996).

Os pesquisadores da área de IA buscam, através do desenvolvimento de técnicas e modelos específicos, soluções para alguns problemas da área: aprendizado de máquina, sistemas artificiais, visão computacional, criatividade computacional, etc. Alguns dos modelos apresentados neste trabalho, como as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos, possibilitam ao artista diversas aplicações que permeiam os

conceitos de emergência e autopoiese. O primeiro, definido, segundo Peter Cariani (2009) como o surgimento de novas entidades que, em um sentido ou em outro, não poderiam ter sido previstas com base naquilo que as precedeu, enquanto a autopoiesis, ou autopoiese, (do grego *auto* "próprio", *poiesis* "criação") descreve os sistemas autônomos, capazes de autoproduzir e autorregular, mantendo interações com o meio. Por sua vez, o meio pode desencadear, apenas de forma indireta, mudanças nos processos ou estrutura internas do sistema autopoietico (MATURANA e VARELA, 1997).

A utilização de computadores e dispositivos digitais, especificamente no processo de composição ou de produção artística, tem criado um vínculo único entre os domínios científico e artístico. Esta relação se estabelece na música, por exemplo, à medida em que todo o processo de produção musical vem se tornando cada vez mais dependente dos meios tecnológicos (ROADS, 1996). No entanto, esta dependência é recíproca, posto que alguns problemas de cunho primariamente artísticos podem vir a propor novos desafios para a comunidade científica. Vários exemplos desta dependência recíproca podem ser percebidas nos trabalhos aqui apresentados e nos trabalhos desenvolvidos no Midialab². Todas essas características definem uma relação estreita entre os domínios da ciência e da arte. Esta forte interação é capaz de gerar outros campos de estudo onde se torna difícil definir os limites de cada área, como na arte eletrônica, criatividade computacional, sistemas emergentes e autopoieticos.

A importância da tecnologia no processo composicional e mais especificamente na produção musical vem aumentando de forma diretamente proporcional ao desenvolvimento das tecnologias ligadas à computação e à eletrônica. Este aperfeiçoamento dos computadores e suas linguagens de programação têm permitido o desenvolvimento de ferramentas para várias áreas, inclusive para a arte. A programação de alto nível, analogamente à composição musical, exige um processo mental de extrema atenção aos detalhes. Portanto, não é surpresa que os músicos

² **Midialab** (www.midialab.unb.br) é coordenado pela Prof. Dr. Suzete Venturelli. Foi criado em 1986 com o nome de Laboratório de Imagem e Som, em 2000 passou a ser denominado de Laboratório de Pesquisa em Arte e realidade Virtual e atualmente, em função da abrangência das pesquisas realizadas intitula-se Laboratório de Pesquisa em Arte Computacional.

tenham sido, segundo Curtis Roads (1996), os primeiros artistas a se utilizarem do uso massivo dos computadores.

A habilidade de programar em qualquer linguagem, por sua vez, dá ao artista a possibilidade de entender melhor o funcionamento do computador, permitindo que ele possa ser capaz de manipulá-lo com mais precisão, desenvolvendo e moldando seus próprios algoritmos, imprimindo, assim, aspectos importantes de sua criatividade a fim de atingir o resultado desejado. Segundo John Chowning, a linguagem de programação não é simplesmente uma ferramenta para se atingir um objetivo ou realizar uma tarefa, mas uma base estruturada extensa com a qual a imaginação pode interagir (apud. ROADS, 1996).

Muitos estudos podem ser desenvolvidos envolvendo o conceito de criatividade, consciência, emergência e autopoiese no sentido de criar, ou simular, através da IA, estes atributos inerentes à existência humana. Esta simulação pode se dar através do desenvolvimento de sistemas artísticos inteligentes que sejam capazes de se expressar de forma autônoma em termos artísticos, através de música ou imagem. Assim, alguns trabalhos, resultados de pesquisas e obras que utilizam diferentes técnicas de IA, serão aqui apresentados a fim de demonstrar o delineamento das intersecções entre os diferentes conceitos.

Na primeira seção aqui apresentada, será abordada a relação entre a área da IA e da arte computacional, apresentando um breve histórico da área a fim de introduzir ao leitor os conceitos fundamentais da IA e a forma como eles foram construídos ao longo do tempo. Serão privilegiados os aspectos relacionados à cognição em sistemas inteligentes englobando a representação de conhecimento, aprendizagem e expressão. Para qualquer estudo que permeie a IA, a identificação e codificação dos dados de forma a constituir e representar conhecimento de modo que a “máquina” seja capaz de compreendê-lo, processá-lo e, então, agir é fundamental para a estruturação cognitiva de um sistema inteligente. Uma vez estruturado o conhecimento, dada a possibilidade de compreensão do mesmo, é possível que o sistema aprenda através da avaliação heurística dos resultados obtidos através da aplicação de um método de “raciocínio”. Ao ser capaz de inferir, baseado em uma heurística, a “distância” entre o resultado esperado e o resultado obtido é possível guiar as ações ou “decisões” do sistema na direção de um determinado objetivo que se quer atingir. Neste estudo, o objetivo é compreensão do papel da autopoiese e da emergência nestes sistemas no que diz respeito à formação do processo cognitivo no agente.

Este objetivo é explicitado na segunda seção, onde são delineadas as intersecções entre IA, emergência e autopoiese. A criatividade computacional pode ser simulada através de uma série de algoritmos sendo alguns deles aplicáveis ou possivelmente encontrados nas técnicas de IA. Uma outra abordagem possível pode ser a identificação da criatividade em sistemas inteligentes cujo objetivo não era, necessariamente, a simulação da criatividade. A identificação dos sistemas criativos pode ser detectada através da obtenção de resultados emergentes posto que uma das características da criatividade, assim como na emergência, é o surgimento de novas informações ou criação de novas formas que não existiam antes. Estes sistemas inteligentes, que demonstram características emergentes, podem também ser identificados como autopoieticos, ou seja, se mantêm e se autorregulam, como no caso das Redes Neurais.

Por fim, na terceira seção são apresentados e analisados dois trabalhos artísticos, resultados da pesquisa prático-teórica realizada na área da inteligência artificial, mais especificamente na simulação de sistemas autopoieticos capazes de produzir resultados emergentes. O primeiro deles é o EvoTwitter onde uma ecologia de Algoritmos Genéticos (AG), baseados em dados oriundos do *microblog* Twitter, evolui e interage gerando uma paisagem sonora emergente. *Tweet* é uma palavra da língua inglesa que significa “silvo”, ou seja, a sucessão de pequenos sons emitidos pelos pássaros. Neste trabalho, o Twitter fornece o canal de inserção de novo material genético para a síntese evolutiva do AG. Cada modelo de canto de pássaro é visto como um indivíduo na população do AG gerando um sistema autopoietico cuja interação com o “meio” se dá através do *microblog*, gerando uma paisagem sonora e visual completamente emergente.

O segundo trabalho apresentado na terceira seção, denominado Geopartitura, aponta para questões emergentes envolvendo a música, a geografia e dispositivos móveis, como celulares, para permitir a criação coletiva georreferenciada de um concerto multimídia em tempo real. O sistema autopoietico composto por software e dispositivos móveis permite a apresentação de um concerto multimídia cuja composição é realizada ao vivo, em tempo real, por pessoas conectadas ao sistema pelos seus celulares. O geoposicionamento de cada celular permitirá ao sistema conectar cada aparelho aos demais, dentro de um raio de "descoberta", criando para cada conexão estabelecida uma corda virtual que vibra e soa de acordo com a distância entre os pontos.

SEÇÃO 1 | Inteligência Artificial e Arte Computacional

Várias áreas contribuíram para a construção, ainda que inacabada, do conceito de inteligência artificial, sendo a primeira delas a filosofia. Desde meados do século IV A.C. já havia um questionamento acerca da possibilidade da formação de regras para obtenção de conclusões lógicas válidas, como o silogismo. Para Luger (2004), esta tentativa de formular regras que pudessem simular a manipulação de premissas lógicas de forma a gerar novos fatos, que pudessem ser automaticamente considerados como verdadeiros simboliza o início da tentativa de desenvolver métodos que pudessem reproduzir raciocínio humano.

Apesar de ser permeada por diversas áreas como matemática, economia, neurociência, psicologia, cibernética e linguística, por exemplo, o desenvolvimento da inteligência artificial tal qual conhecemos hoje começou por volta de 1943, com o primeiro trabalho largamente reconhecido como IA, desenvolvido por Warren McCulloch e Walter Pitts (1943). Eles propunham um modelo artificial de neurônios onde cada neurônio poderia ser caracterizado como “ligado” ou “desligado”. A mudança para “ligado” ocorreria ao neurônio quando sofresse estímulo suficiente através de seus vizinhos (RUSSEL e NORVIG, 2003).

Apesar de já haverem estudos há algum tempo nesta área, a tentativa de definir o conceito de IA continua pouco concisa, pois é difícil encontrar uma definição unificada não-ambígua acerca do sujeito (LUGER, 2004). Segundo Russel e Norvig (2003), as diversas definições de IA podem ser divididas em quatro grandes categorias conforme figura 1 abaixo.

| Sistemas que pensam como humanos | Sistemas que pensam racionalmente |
|---|--|
| “O excitante novo esforço para fazer computadores pensarem ... máquinas com mentes, no sentido literal e completo.” (Haugeland, 1985) | “O estudo de faculdades mentais por meio do uso de modelos computacionais.” (Charniak e McDermott, 1985) |
| “[A automação de] atividades que nós associamos com pensamento humano, atividades tais como tomada de decisão, resolução de problemas, aprendizagem...” (Bellman, 1978) | “O estudo de computações que fazem possível perceber, raciocinar e agir.” (Winston, 1992) |
| Sistemas que agem como humanos | Sistemas que agem racionalmente |
| “A arte de criar máquinas que realizam funções que requerem inteligência quando realizadas por pessoas.” (Kurzweil, 1990) | “Inteligência Computacional é o estudo do projeto de agentes inteligentes.” (Poole et al., 1998) |
| “O estudo de como fazer computadores realizarem coisas em que, no momento, pessoas são melhores.” (Rick e Knight, 1991) | “IA ...é preocupada comportamento inteligente em artefatos.” (Nilsson, 1998) |

Figura 1: Algumas definições de IA agrupadas em quatro grandes categorias (RUSSEL e NORVIG, 2003)

Cada uma destas categorias define IA sob um paradigma diferente. Os sistemas que pensam humanamente enfatizam a abordagem a partir do modelo cognitivo, ou seja, baseiam-se na forma como a mente humana funciona. Para que isso seja possível, se faz necessário entender como os processos cognitivos são desencadeados na mente humana e, segundo Russel, isto só é possível através de basicamente duas formas: introspecção (através da análise dos nossos pensamentos na medida em que eles acontecem) ou experimentos psicológicos. O campo interdisciplinar das ciências cognitivas congrega modelos computacionais de IA e técnicas experimentais de psicologia a fim de construir teorias precisas a respeito do funcionamento da mente humana (RUSSEL e NORVIG, 2003).

Os sistemas que pensam racionalmente tiveram com Aristóteles (384-322 A.C.) as primeiras tentativas de realização de um sistema informal de silogismos (abordagem lógica) a definir um conjunto preciso de regras que representariam um processo racional irrefutável da mente. Este conjunto de regras permitia que algumas conclusões fossem geradas de forma mecânica baseadas em premissas iniciais (RUSSEL e NORVIG, 2003).

Pensava-se que essas leis que regiam o pensamento deveriam, também, governar a operação da mente, culminando assim no surgimento do campo da lógica. Na visão lógica, qualquer problema é solucionável uma vez expresso através de uma relação lógica, em uma notação específica. Nesta abordagem residem dois

problemas principais: a dificuldade de expressar conhecimento informal em termos formais e o fato de que qualquer problema com algumas dezenas de sentenças pode sobrecarregar a capacidade de processamento do computador, caso não haja um guia sobre qual possibilidade tentar primeiro.

O teste formulado por Alan Turing, descrito em 1950 no artigo *Computing Machinery and Intelligence*, nos dá uma noção operacional de inteligência, ou seja, um comportamento seria inteligente dado um contexto singular de questões medindo o desempenho de uma máquina “inteligente” através do comparativo com o desempenho humano (LUGER, 2004). Uma versão deste teste consiste em colocar em salas separadas uma máquina e um correspondente humano, interrogador, que deverá distinguir através da realização de uma série de perguntas e respostas qual o interlocutor humano e qual é a máquina (TURING, 1950). Esta abordagem é baseada no comportamento humano e, portanto, aplicável para sistemas que agem como humanos. Contudo, este tipo de comportamento descrito no teste de Turing requisita do computador algumas habilidades como, por exemplo, a capacidade de processar linguagem natural e formalizar representações de conhecimento e aprendizagem de máquina limitando-se ao desenvolvimento de sistemas que atuam como humanos. (RUSSEL e NORVIG, 2003).

Os sistemas que agem racionalmente têm como objetivo o desenvolvimento de agentes racionais capazes de atingir o melhor resultado possível ou, quando incapazes de distinguir, atingir o melhor resultado esperado. Neste caso, as decisões são baseadas em inferências que devem ser corretas, pois, através destas inferências, pode-se julgar uma determinada ação como forma de atingir o objetivo. Entretanto, existem situações onde ainda não há um objetivo concreto ou um resultado esperado e, ainda assim, as decisões devem ser tomadas, portanto, a ação racional não deve se basear apenas nas inferências realizadas, mas, também, segundo Peter Norvig (2003), na adaptabilidade do sistema a diversos contextos.

O estudo da inteligência artificial é, portanto, um dos campos da tecnologia cujos limites de pesquisa vão bem além da análise técnica. A princípio ela pode servir também para investigar a natureza do ser humano e da inteligência humana, os limites da máquina e nossos próprios limites como construtores de artefatos “inteligentes” (WILSON, 1995).

A concepção e desenvolvimento de obras de arte, sejam elas instalações, performances ou sistemas, utilizando inteligência artificial tem sido estudada por

alguns artistas como, por exemplo na figura 2, Stephen Wilson em *Is There Anyone There* (1992), quando através de uma cabine telefônica o interagente pode estabelecer contato com personagens artificiais, e Nicolas Reeves que utiliza em *Mutations of The White Doe* (1997) autômatos celulares, algoritmos genéticos e redes neurais para simulação de sistemas de vida artificial.

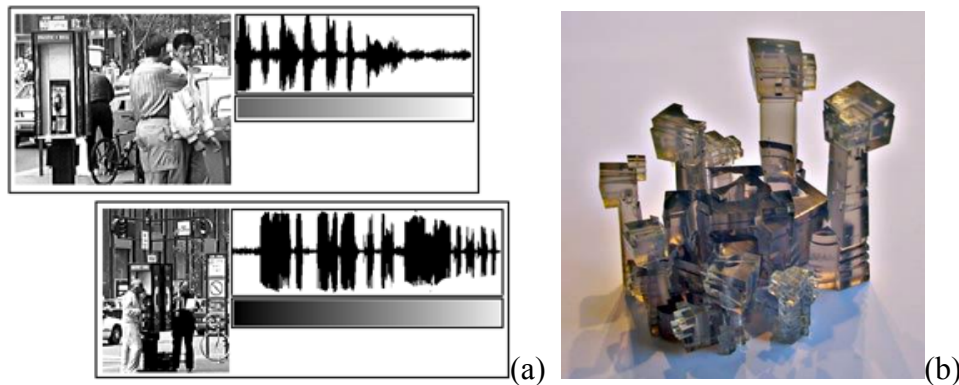


Figura 2: (a) *Is There Anyone There*, Stephen Wilson (1992) e (b) *Mutations of The White Doe*, Nicolas Reeves (1997).

1.1 Inteligência Artificial no Contexto da Arte Computacional

As máquinas extremamente sofisticadas ou os sistemas de inteligência artificial cujo nível de inteligência se equiparam ao humano ou se assemelham ao computador Hal 9000, do filme *2001: Uma Odisséia no Espaço*, só existem no domínio da ficção científica. Lidamos, portanto, no nosso cotidiano com sistemas inteligentes capazes de realizar tarefas como a nossa triagem de e-mails, sugestão de produtos baseado no histórico de compras ou o gerenciamento dos arquivos do nosso computador.

Para Stephen Wilson, em seu livro *Information Arts* (2002), o desenvolvimento de algoritmos e heurísticas capazes de permitir que os computadores realizem análises sofisticadas ou demonstrem um comportamento complexo, como produzir arte, constam entre os grandes desafios da pesquisa científica contemporânea. Este desafio deriva não apenas do desenvolvimento de novas tecnologias capazes de suportar a demanda computacional de tais algoritmos, mas também, da necessidade de se entender o fenômeno da inteligência através de novas perspectivas e abordagens capazes de levantar novos questionamentos filosóficos acerca do assunto. Silvia Laurentiz aponta que um destes questionamentos levantados pelo estudo dos sistemas e agentes inteligentes no computador é exatamente sobre os próprios termos utilizados na área, como a palavra inteligência, por exemplo (LAURENTIZ, 2007).

Não é surpresa que os artistas passassem, portanto, a explorar o vasto campo da IA como forma de produzir trabalhos interativos mais sofisticados que vão além das simples janelas e menus que tanto caracterizam a multimídia. Alguns artistas acreditam que os campos da vida artificial e da inteligência artificial oferecem várias abordagens para o desenvolvimento destes trabalhos: sistemas especialistas (ES), processamento de linguagem natural, algoritmos genéticos (AG), redes neurais artificiais (RNA), entre outras (WILSON, 2002).

Alguns artistas buscaram criar e desenvolver trabalhos artísticos sobre a forma de verdadeiros programas de agentes de forma mais metafórica. O projeto *Impermanence Agent* (1998-2003), figura 3, desenvolvido para Internet por Wardrip-Fruin, Chapman, Moss e Whitehurst (MOSS e WARDRIP-FRUIN, 2002), estende as funcionalidades do *browser* do internauta e constrói uma representação de acordo com o histórico dos sítios visitados. Uma vez instalado o programa, a obra toma a forma de uma janela do navegador que permanece aberta onde o agente, com o passar do tempo, se integra aos hábitos do internauta e se utiliza do caráter fugaz da Web para construir uma narrativa pessoal nesta janela, utilizando fragmentos dos sítios visitados enquanto, para Christiane Paul (2002), questiona a natureza da hipermídia.

Agent before alteration



Agent after 1 alteration



Agent after 3 alterations



Figura 3: Impermanence Agent (Wardrip-Fruin e Moss, 2002).

Entre os projetos que trabalham o tema da evolução das espécies estão as obras do Karl Sims: *Genetic Images* (1993), *Evolved Creatures* (1994) e *Galápagos* (1997) (apud. PAUL, 2008). Ambos permitem que o interagente influencie em uma evolução simulada onde os organismos/indivíduos da população são escolhidos através do parâmetro estético. Em *Galápagos*, figura 4, são exibidos organismos abstratos em várias telas dispostas em círculo onde o interagente pode escolher as que considera mais sedutoras. Os organismos escolhidos reagem mutando ou reproduzindo-se a fim de substituir os indivíduos menos preteridos e, portanto, menos adaptados. Esta evolução simulada é fruto de uma interação entre o homem e a máquina onde o interagente exerce um controle criativo direto ao tomar uma decisão de ordem estética.

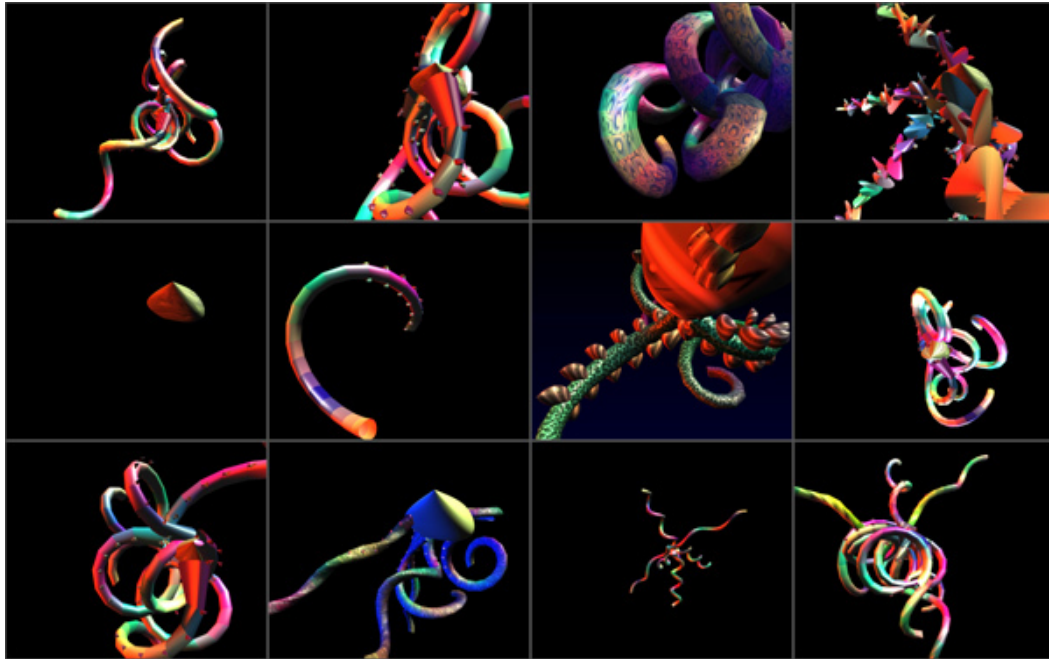


Figura 4: Formas emergentes da obra Galápagos, Karl Sims (1997)

Para Laurentiz (2007), a obra *Evolved Creatures* (1994) de Karl Sims explora as consequências de se trabalhar de forma conjunta com diferentes conceitos como os algoritmos simples que controlam a morfologia do indivíduo, as redes neurais e sensores responsáveis pelo controle das reações dos indivíduos no ambiente e aprendizado, além de outras funções como, por exemplo, a que é implementada de forma a estimular a competição entre os indivíduos orientados por um propósito comum.

1.2 Cognição em Sistemas Inteligentes

Segundo Negroponte (1995), o conceito de “agente” é incorporado ao fato de ajudarmos-nos uns aos outros, frequentemente. É um conceito onde a especialização encontra-se mesclada ao conhecimento do agente sobre o interator humano. Além disso, Minsky, já em 1987, apontava que o desenvolvimento de agentes de interface é normalmente encarado como uma máquina central e onisciente, muito embora o mais provável é que o agente se componha por uma série de programas de computador e aplicativos móveis, sendo executados distribuidamente em computadores ou dispositivos móveis (como celulares, por exemplo), onde cada programa é especialista em alguma coisa e eficiente em matéria de intercomunicação (apud. NEGROPONTE, 1995).

Segundo Russel e Norvig (2003), um agente pode ser entendido como aquele capaz de perceber o ambiente em que está inserido através de sensores e interagir com o mesmo através de atuadores, conforme ilustrado na figura 5.

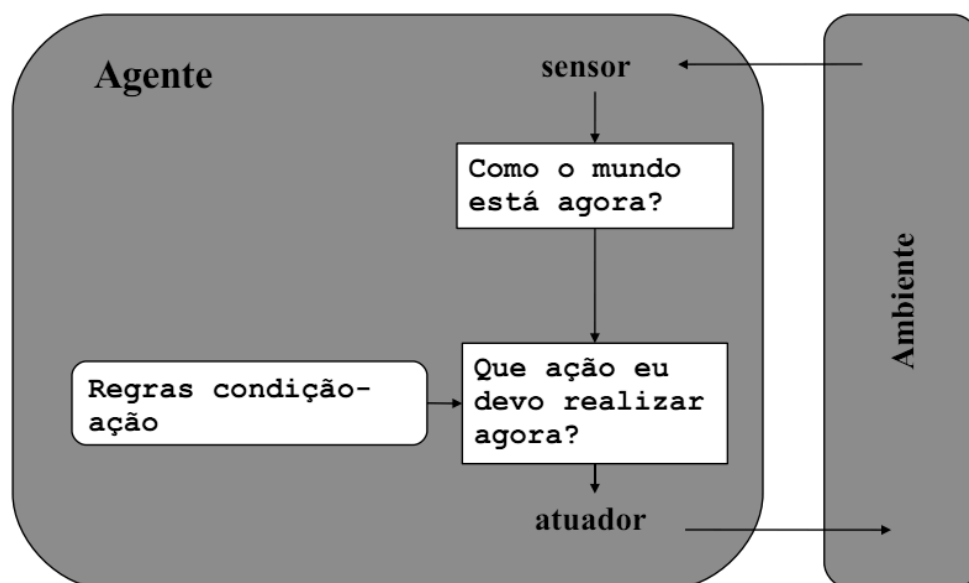


Figura 5: Modelo genérico de um agente reativo simples capaz de interagir com o meio (Russel e Norvig, 2003).

Um agente humano possui olhos, ouvidos entre outros órgãos capazes de sentir o mundo, além de mãos, pernas entre outras partes capazes de atuar sobre o meio. De mesmo, um agente deve ter formas de sentir e interagir com o meio físico ou virtual para que possa desenvolver sua cognição. Esta capacidade cognitiva do agente, por sua vez, pode ser representada através de agentes inteligentes expressando-se de diversas formas distintas como a música, a pintura e a poesia, por exemplo.

Geoffrey Jefferson (1949) define a necessidade de dotar a máquina de capacidade cognitiva a fim de produzir artefatos como sonetos e concertos para que pudessem ser comparadas à mente humana. Para Jefferson, enquanto a máquina não for capaz de compor um concerto, motivada pelos pensamentos e “emoções” que sente e não pelo mero acaso, não poderemos dizer que a máquina se equipara ao cérebro. Isto significa dizer que a máquina não só deve ser capaz de produzir tais artefatos como também ter consciência de que o fez.

Segundo Robert Rowe, a área da cognição musical, mais especificamente, ocupa uma posição intermediária entre a teoria musical, as ciências cognitivas e a

inteligência artificial. Neste sentido, a inteligência artificial se aplica à simulação do raciocínio humano em sistemas computacionais enquanto as ciências cognitivas se interessam em estudar a viabilidade dos modelos de processos mentais propostos através da implementação dos mesmos (ROWE, 2001).

O termo percepção é utilizado para referir-se aos *inputs* perceptuais do agente em um dado momento. Em geral, pode-se dizer que a ação a ser executada, escolhida pelo agente em um dado momento deve depender da avaliação de todo o histórico de “percepções” do agente até o momento presente. Matematicamente falando, o comportamento do agente pode ser definido como uma função capaz de mapear qualquer sequência de percepções em ações (RUSSEL e NORVIG, 2003).

Há diversas abordagens conhecidas e bastante exploradas em Russel e Norvig (2003) para desenvolvimento da função que guiará o comportamento do agente. O sistema baseado em regras é a abordagem mais simplificada pois, neste caso, considera-se apenas os *inputs* do momento atual, em detrimento do histórico de entradas. Normalmente estas funções são definidas através de regras do tipo condição-ação (*if-then-else*). Pela estrutura simples utilizada para tecer o raciocínio do agente ele é capaz de exercer tarefas de limitada inteligência, normalmente incapaz de adaptar-se à mudanças no ambiente. Uma outra abordagem possível é a do sistema baseado em objetivos onde o agente toma as decisões buscando atingir um objetivo predeterminado.

A formalização de conhecimento permite ao agente rever as ações tomadas através de um processo de aprendizagem. A ideia por trás do aprendizado é que a percepção do agente deve ser usada não apenas para guiar a tomada de decisão mas, também, para melhorar a performance do agente em ações futuras. A aprendizagem se dá quando o agente analisa o resultado das suas ações e o seu processo de decisão, resguardando a capacidade de alterá-lo.

Admitir que um sistema seja capaz de aprender analisando as suas decisões ou o processo de raciocínio desenvolvido implica, em alguns casos, em alterações na resposta do sistema aos mesmos *inputs*, sobretudo se o domínio de conhecimento sob o qual age o sistema é incerto.

1.2.1. Representação de Conhecimento e Aprendizagem

O comportamento inteligente do agente pressupõe aquisição, armazenamento e processamento de conhecimento. Para que isto seja possível, é fundamental que este conhecimento seja representado. Segundo Elaine Rich e Kevin Knight (1993), este conhecimento deve ser representado de tal forma que: (i) capture generalizações, identificando e agrupando as propriedades relevantes; (ii) seja compreensível para as pessoas que o fornecem; (iii) seja facilmente modificável para permitir a correção de erros, refletir as mudanças do mundo e da visão do mundo que o usuário ou agente possuem; (iv) possa ser utilizado em diversas situações mesmo sendo incompleto ou impreciso; (v) ajude a superar o seu próprio volume de dados, auxiliando a limitar as diversas possibilidades que devem ser consideradas (RICH e KNIGHT, 1993).

Os estudos realizados nesta área baseiam-se em parte na hipótese de representação de conhecimento de Brian Smith (1985), onde qualquer processo inteligente a ser realizado por uma máquina deve conter uma formalização que permita uma descrição proporcional do conhecimento exibido pelo processo e que desempenhe um papel formal, causal e essencial na geração do comportamento que manifesta tal conhecimento, independente de uma semântica. Podemos perceber isto claramente quando tratamos da estruturação do conhecimento para Redes Neurais e Algoritmos Genéticos, que não utilizam uma estruturação semântica muito embora dependam de uma representação de mundo.

A representação simbólica de conhecimento assume uma relação semântica e sintática, onde várias unidades (átomos) interconectados são, coletivamente, responsáveis por representar vários conceitos. Um conceito, representado num senso distribuído, é indicado por um envolvimento em atividades sobre esta coleção de unidades, podendo caracterizar um sistema fechado. Estes sistemas fechados, conforme veremos adiante na seção 2, vão de encontro ao que Maturana e Varela chamam de autopoiesis.

Neste sentido, existem diversos paradigmas para representação de conhecimento que emergem destas perspectivas. O conhecimento procedural, por exemplo, representa o conhecimento na forma de funções e procedimentos. As redes semânticas, por sua vez, caracterizam-se por grafos direcionados, cujos nós representam conceitos e/ou entidades e as conexões entre nós (arcos) representam a relação entre estes conceitos. O modelo lógico é estruturado de forma a declarar o

conhecimento na forma de proposições e pode considerar outras dimensões como o tempo, espaço, crença, probabilidade e incerteza.

Para Luger (2004), a maioria das técnicas encontradas na literatura representa o conhecimento explicitamente através de abstrações e algoritmos de busca, concebidos para implementar um comportamento inteligente. Estas técnicas são normalmente associadas à GOFAI³. No entanto, numa abordagem diferente pode-se construir programas inteligentes utilizando modelos matemáticos que simulam sistemas biológicos: neuronais ou evolutivos. Estas abordagens alternativas à GOFAI são interessantes pois trazem outros modelos de representação de conhecimento não-explicito, como as Redes Neurais Artificiais (RNA) e Algoritmos Genéticos (AG), para a emergência do comportamento inteligente, sendo portanto mais destacadas neste estudo. Vale à pena ressaltar que muito embora o conhecimento não-explicito seja utilizado, abstraindo a necessidade da estruturação lógica, sintática ou semântica do conhecimento, ele também necessita ser estruturado. Nas RNAs, por exemplo, esta estruturação se manifesta na topologia escolhida para a rede assim como na conexão entre os neurônios.

A linha conexionista, visa modelar a inteligência humana através da simulação da estrutura e funcionamento do cérebro, em especial dos neurônios e suas ligações sinápticas. O processamento de informação no cérebro é realizado pelo neurônio, com sinais elétricos propagando-se entre os neurônios através das sinapses.

Uma representação simplificada de um neurônio, figura 6, consiste de um corpo celular que tem várias protuberâncias ramificadas chamadas dendritos e um único ramo denominado axônio. Quando os impulsos recebidos dos outros neurônios através dos dendritos excedem um certo limiar, o neurônio dispara um impulso que é propagado ao longo do axônio. As terminações do axônio formam, então, sinapses – do grego “*syn*” (juntos) and “*haptein*” (prender) – com os dendritos de outros neurônios. Estas sinapses podem ser inibitórias ou excitatórias, dependendo se elas contribuem, respectivamente, para atenuar o sinal global ou para aumentá-lo.

³ **GOFAI** – Good Old Fashion Artificial Intelligence – diz respeito às técnicas mais antigas do campo da IA e baseiam-se na solução lógica de problemas através da representação simbólica das hipóteses.

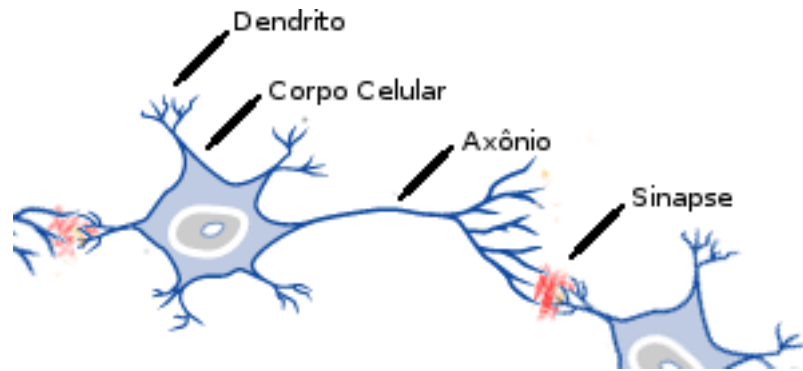


Figura 6: Representação simplificada da estrutura morfológica de um neurônio.

Esta descrição extremamente simplificada do funcionamento do neurônio é capaz de capturar as características que são relevantes para a criação dos modelos neurais de computação (Luger, 2004). As redes neurais artificiais (RNA) são modelos que tem grande apelo para o desenvolvimento de sistemas inteligentes pois, ao capturar distribuidamente o conhecimento através de uma rede de neurônios simulados, tem maior potencial para reconhecer dados ruidosos e incompletos, assim como a mente humana, capaz de distinguir e interpretar sinais ruidosos como reconhecer um rosto parcialmente encoberto.

Este modelo inicialmente proposto por McCulloch e Pitts (1943), considera que a capacidade de aprendizagem do cérebro está relacionada com a plasticidade, isto é, a capacidade de gerar alterações nas ligações sinápticas entre neurônios. A plasticidade pode ser atribuída a dois mecanismos: a criação de novas conexões sinápticas entre neurônios e a modificação das sinapses existentes. Na representação artificial conexionista, cada sinapse tem um peso associado positivo se a sinapse for excitatória e negativo se for inibitória. O neurônio artificial é composto por um vetor de valores de entrada (0 ou 1), um vetor de pesos sinápticos (um peso para cada conexão), um somador e um limiar (do inglês *threshold*) e um valor de saída (0 ou 1).

O neurônio opera numa escala de tempo discreta, ou seja, realiza os cálculos em intervalos constantes de tempo (passos). A cada passo é calculada a soma dos valores das entradas, multiplicados pelos respectivos pesos sinápticos. Se o valor resultante for maior do que o limiar, o neurônio “ativa” a saída, representada pelo valor 1. Caso contrário o neurônio segue “desativado” (saída assume o valor 0). Este modelo pode ser estendido para trabalhar com valores contínuos em suas entradas, ao invés de 0 ou 1 passam a aceitar valores entre 0 e 1.

Do ponto de vista topológico uma rede neural pode ser vista como um grafo orientado, onde os nós representam neurônios artificiais e os arcos representam as sinapses entre eles. A orientação dos arcos indica o sentido do fluxo de informação entre os neurônios de diferentes camadas. A figura 7 ilustra uma RNA cuja primeira camada é a de entrada, responsável por distribuir os valores recebidos para os neurônios da camada seguinte. A última camada é a de saída, podendo existir, como neste caso, uma ou mais camadas intermediárias denominadas camadas escondidas. Caso existam camadas escondidas a rede neural é denominada multicamadas. Ainda, se existem arcos de todo neurônio de uma camada para todos os neurônios da camada seguinte, e a rede é denominada totalmente conectada. Caso contrário, a rede é considerada como parcialmente conectada.

No que diz respeito ao fluxo de informações dentro da RNA diz-se que uma rede é alimentada à frente (*feedforward*) quando os arcos são unidirecionais e o grafo é acíclico. Por outro lado, denomina-se uma rede como recorrente quando há algum tipo de retro-propagação através de arcos bidirecionais, por exemplo.

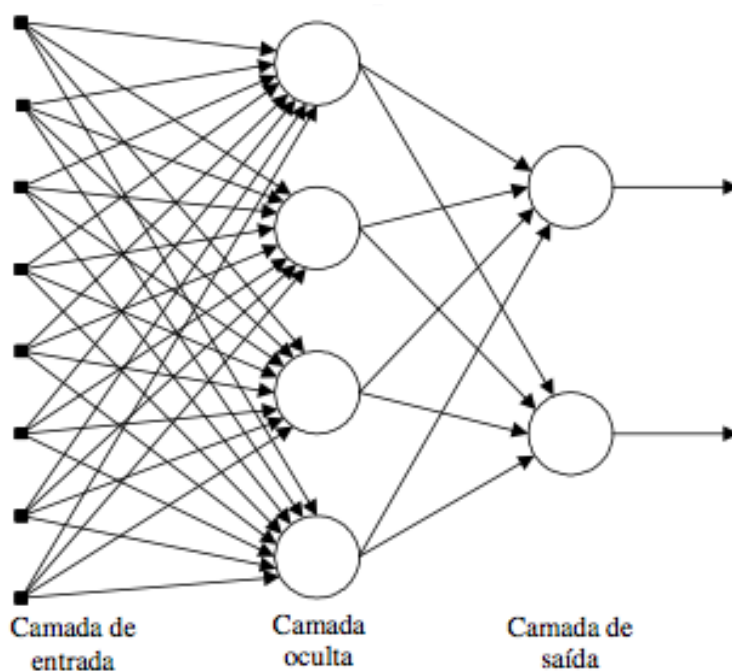


Figura 7: Topologia de uma Rede Neural Artificial totalmente conectada alimentada à frente.

A aprendizagem com as RNAs consiste na adaptação dos pesos sinápticos sob dois métodos: aprendizagem supervisionada (com um tutor) ou não supervisionada (autônoma). Na aprendizagem supervisionada, um conjunto de casos de histórico, juntamente com as respectivas respostas, é submetido à rede e a saída gerada é

comparada à saída esperada para cada caso. A regra de aprendizagem é utilizada para ajustar os valores dos pesos sinápticos para que as respostas dadas se aproximem das respostas corretas. Este método pressupõe um rol de casos e soluções conhecidas, o que o torna menos interessante para o desenvolvimento de resultados inesperados posto que a rede estará treinada para reagir aos estímulos de forma previamente conhecida.

Por sua vez, a aprendizagem não supervisionada permite que a rede ajuste os seus pesos sinápticos sem a existência de casos e saídas pré-conhecidas. O objetivo, aqui, é observar regularidades nos dados da entrada. Assim, criam-se as condições para que se possa realizar uma inferência sobre a acuidade da representação do conhecimento que a rede deve aprender, sendo os pesos ajustados para atender a esta medida.

O conhecimento em uma rede neural é representado pelos pesos sinápticos associados à cada conexão e o mútuo reforço ou inibição dos estímulos a um determinado neurônio pelos outros neurônios. A não linearidade é essencial para dotar a rede com “poder de decisão”, ou seja, mudanças quantitativas na entrada podem assim produzir mudanças qualitativas na saída ao invés de simplesmente alterar a saída proporcionalmente à entrada (ROADS, 1996).

Embora autores como Marvin Minsky (1988) apontem como desvantagem das RNAs o fato de serem sistemas fechados ou “caixas pretas”, limitando a compreensão do funcionamento interno e minimizando as interferências exteriores no ajuste dos pesos e aprendizagem da rede, a IA conexionista possui um vasto campo de aplicação tendo obtido sucesso em vários domínios de difícil abordagem através de outras técnicas, sobretudo quando o domínio é mutável, como no reconhecimento de imagens faciais de pessoas em função do envelhecimento (MINKSY, 1988). No entanto esta “desvantagem” pode ser entendida como uma característica autopoietica deste sistema, dotando-o de uma identidade (MATURANA e VARELA, 1997).

Um bom exemplo de trabalho artístico é a instalação *La Funambule Virtuelle*, figura 8, de Marie-Hélène Tramus e Michel Bret (2000-2007) onde uma equilibrista virtual evolui para manter-se sobre uma corda bamba, reagindo aos movimentos do interagente. A personagem tenta reproduzir a postura do participante ao passo que tenta manter-se sobre a corda. Nesta instalação, através de uma RNA, a equilibrista é capaz de aprender a manter-se sobre a corda durante a interação. A partir deste gestual aprendido, um novo comportamento emerge através de movimentos que não foram

ensinados, dotando a personagem do que a artista chama de capacidade de improvisação (TRAMUS e CHEN, 2005).



Figura 8: *La Funambule Virtuelle*, de Marie-Hélène Tramus e Michel Bret (2000-2007)

Aplicações musicais de RNA incluem ainda a análise rítmica, percepção do *pitch* (tom), planejamento de performance, simulações de tonalidade e polifonia. Mark Dolson sugeriu que a análise de timbre e de síntese também seria aplicável nesta abordagem (DOLSON, 1989). James Todd, também em 1989, propôs uma abordagem conexionista para a composição melódica na qual uma rede sequencial com resposta foi treinada por um rol de melodias e a interpolação/extrapolação melódica pode ser gerada inserindo-se na rede estruturas melódicas que são diferentes das do treinamento (TODD, 1989).

Uma outra abordagem, a computação evolutiva, utiliza a metáfora baseada na teoria da evolução natural proposta por John Holland (1975). Assim como no modelo conexionista, para a computação evolutiva não é necessário ter um conhecimento prévio de uma formalização (algoritmo ou representação de mundo) explícita para se encontrar uma solução para um problema.

Com os algoritmos genéticos e a vida artificial as soluções para o problema são evoluídas através de múltiplas gerações, melhorando as soluções anteriores a cada nova interação. Tal qual na evolução natural, os operadores genéticos como a recombinação e a mutação permitem que a cada nova geração de indivíduos sejam geradas soluções potenciais cada vez melhores para o problema. Esta evolução no sentido da busca pela “melhor” solução se dá através de uma função de avaliação (*fitness*) que calcula o grau de adaptação do indivíduo e seus vizinhos, inferindo quais os mais aptos à reprodução e, por conseguinte, quais variações estão mais aptas à extinção.

Na aplicação desta abordagem a um problema qualquer, a representação do conhecimento se dá na definição da estrutura do cromossomo. Geralmente esta codificação é dada na forma de uma sequência de dígitos com um tamanho fixo, facilitando a implementação dos operadores genéticos. A estrutura deve permitir mapear o cromossomo no espaço das possíveis soluções para o sistema, portanto cada variável ou característica relevante do sistema deve ser mapeada no cromossomo como um dígito ou um conjunto de dígitos. Esta sequência de dígitos é chamada genótipo e representa o cromossomo do indivíduo, que por sua vez, contém vários genes. Segundo Fernandes (2002), este mapeamento das informações que são relevantes para o domínio e, portanto, codificadas no cromossomo são fundamentais para a determinação da função de avaliação.

A função de avaliação deve ser específica para o problema e, em geral, associa um número real ao cromossomo tal que valores maiores indicam maior adequação do indivíduo. Durante a fase evolutiva são selecionados alguns indivíduos da população para o cruzamento com a finalidade de gerar descendentes que constituirão a geração seguinte a ser analisada pela função de avaliação.

A seleção dos pais e a aplicação dos operadores genéticos de recombinação e mutação obedecem a parâmetros randômicos. Na seleção dos pais, é atribuída à cada indivíduo uma probabilidade de ser escolhido proporcional ao grau de adaptabilidade inferido pela função de avaliação. Ao serem escolhidos os pais, aplica-se o operador de recombinação. Este operador divide os cromossomos pais em uma posição aleatória, produzindo assim dois pedaços em cada pai. Posteriormente, os pedaços obtidos são intercalados produzindo-se novos cromossomos completos, ambos descendentes de cada um dos pais.

O operador de mutação desenvolve um papel importantíssimo na geração de novos cromossomos e, naturalmente, facilitando o processo de surgimento de novas possibilidades não previstas anteriormente pelo sistema. Este operador é aplicado individualmente à cada filho resultante do processo de recombinação e consiste em uma alteração aleatória em cada um dos genes. Normalmente, é associada uma probabilidade muito pequena de mutação para cada gene, o suficiente apenas para garantir que nenhum espaço de busca tenha probabilidade zero de ser examinada.

Para explorar as possibilidades de aplicação deste método neste trabalho, foi desenvolvido um sistema de computação evolutiva para a Geração de Acordes cuja implementação será detalhada abaixo e os resultados discutidos no capítulo 2.

Para este sistema, foi levado com conta que a música é um domínio relativamente bem definido cuja notação é modelável computacionalmente. Há intervalos bem definidos entre frequências para denotar as notas musicais chamadas escalas. Por sua vez, um conjunto de notas distintas pode formar um acorde. Pode-se, então, definir um acorde como sendo um conjunto de notas ou frequências distintas que seguem um determinado padrão de intervalos.

Há inúmeros padrões e regras que definem diversas categorias de acordes como os maiores, menores, diminutos ou aumentados. Estes padrões são normalmente representados através de intervalos entre as notas, expressos em semitons. Na escala temperada, um semitom é a distância entre duas teclas subsequentes do piano. A nota que serve como referência para as demais é denominada tônica. A partir desta nota, pode-se construir vários diferentes acordes utilizando outras notas em intervalos específicos, formando uma tríade (3 notas) ou téttrade (4 notas), conforme a tabela 1.

| Semitons | Intervalo |
|-----------------|-----------------------------|
| 0 | Uníssonos |
| 1 | 2ª Menor |
| 2 | 2ª Maior |
| 3 | 3ª Menor |
| 4 | 3ª Maior |
| 5 | 4ª Justa |
| 6 | 5ª Diminuta ou 4ª Aumentada |
| 7 | 5ª Maior |

| | |
|----|----------|
| 8 | 6ª Menor |
| 9 | 6ª Maior |
| 10 | 7ª Menor |
| 11 | 7ª Maior |
| 12 | 8ª Justa |

Tabela 1: Identificação e nomenclatura das notas definidas pelos intervalos em semitons a partir de uma nota tônica qualquer.

A formação de um acorde perfeito maior, considerado como objetivo neste estudo, por exemplo, se dá através da téttrade: Tônica + 3ª Maior + 5ª Maior + 8ª Justa.

Dada esta estruturação do problema, a formação de téttrades para a formação de acordes implicou na modelagem de um cromossomo contendo 4 alelos. Cada alelo representando uma das quatro notas que compõem uma téttrade, sendo o primeiro alelo o da tônica, o segundo a 3ª Maior, o terceiro a 5ª Maior e o último representando a 8ª Justa. O valor armazenado por cada alelo varia entre 0 e 12, representando todas as notas possíveis dentro de uma oitava, conforme a tabela 2.

| Posição | 0 | 1 | 2 | 3 |
|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Conteúdo | Tônica (0-12) | 3ª Maior (0-12) | 5ª Maior (0-12) | 8ª Justa (0-12) |

Tabela 2: Codificação da informação necessária para a formação de acordes em 4 alelos.

A função de *fitness* avalia os cromossomos considerando distância entre as notas contidas nos alelos em relação às notas necessárias para formação de um acorde maior, classificando os indivíduos com valores interpolados entre 0 e 100 (*fitness* máximo), de um em um. Além disso, foi progressivamente acrescido um peso à cada nota da téttrade, conforme a tabela 3, que denota a importância da formação das notas na formação do acorde a partir de uma tônica.

| Distância | 3ª Maior | 5ª Maior | 8ª Justa |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Peso | 4 | 3 | 2 |

Tabela 3: Peso das distâncias para cada nota.

Uma vez gerada randomicamente uma população inicial contendo 10 indivíduos foram executadas 100 rodadas utilizando dois operadores genéticos com taxas de probabilidade diferentes sobre esta população: *crossover* de um ponto e mutação. Para o operador de *crossover* foi aplicada uma taxa percentual 80% enquanto ao operador de mutação foi utilizada uma taxa de 2%. Esta taxa simboliza o percentual de indivíduos afetados pelos operadores a cada rodada.

Ao serem criados novos indivíduos através da aplicação destes operadores foi mantido o número de indivíduos constante através da técnica de substituição de geração com elitismo. Nesta abordagem são gerados os todos os novos filhos baseados na aplicação dos operadores e é mantido o número necessário de indivíduos da geração anterior, ordenados de acordo com o seu grau de adaptação (medida *fitness*).

É importante perceber que no exemplo do Gerador de Acordes, cada indivíduo pode ser entendido como uma possível solução para o sistema. A codificação do cromossomo, enquanto representação não-explicita do conhecimento, e a escolha da forma como os operadores genéticos são aplicados para permitir a aprendizagem (evolução) desenvolvem um papel essencial na forma como este sistema irá evoluir. As arquiteturas neurais e os algoritmos genéticos fornecem, portanto, um modelo natural para o problema do processamento em paralelo, porque cada neurônio ou indivíduo é uma unidade independente (LUGER, 2004).

Por fim, apesar da existência de diversas técnicas adaptativas que se baseiam nos modelos biológicos existentes na natureza, como os algoritmos genéticos e as redes neurais artificiais, Tom Froese e Tom Ziemke apontam que estas abordagens focam no seu próprio estabelecimento e implementação como uma alternativa viável aos paradigmas tradicionais da computação (FROESE e ZIEMKE, 2009). No entanto, há para eles um esforço insuficiente no que tange o entrelaçamento entre teorias de diferentes campos fora da IA, como as teorias biológicas e a fenomenologia, como possíveis forma de solucionar os problemas ligados à autonomia natural e a corporificação dos sistemas viventes.

No entanto, conforme veremos adiante, as discussões recentes indicam que aparentemente há um lento despertar no campo da IA que indica que algo essencial pode estar faltando nos modelos atuais. Para preencher, evitar ou superar esta lacuna ligada aos problemas tradicionais associados à IA e, possivelmente, desenvolver

melhores modelos de cognição “natural” entrelaçam-se dois conceitos extremamente relevantes nesta pesquisa: emergência e autopoiese.

SEÇÃO 2 | Inteligência Artificial no Contexto da Autopoiese e Emergência

Há algum esforço dentro do campo da IA, mais especificamente na área da IA cognitiva, para tornar os princípios de design de agentes mais explícitos. A discussão sobre estes princípios inicialmente propostos por Rolf Pfeifer na década de 1990 tem sido trabalhadas por diversos outros autores (eg. PFEIFER, 1996; PFEIFER, IIDA e BONGARD, 2005; PFEIFER e GOMEZ, 2005; PFEIFER e BONGARD, 2007), culminando em uma aprofundada análise em Froese e Ziemke (2009). Apresentaremos, portanto, alguns destes princípios, tabela 4, que servirão não apenas como motivação e embasamento mas também como fundamentos norteadores na tentativa de delinear as intersecções entre os conceitos apresentados nesta pesquisa.

| # | Name | Description |
|-----|-------------------------------------|---|
| P-1 | Synthetic methodology | Understanding by building |
| P-2 | Emergence | Systems designed for emergence are more adaptive |
| P-3 | Diversity-compliance | Trade-off between exploiting the givens and generating diversity solved in interesting ways |
| P-4 | Time perspectives | Three perspectives required: 'here and now', ontogenetic, phylogenetic |
| P-5 | Frame of reference | Three aspects must be distinguished: perspective, behavior vs. mechanisms, complexity |
| A-1 | Three constituents | Ecological niche (environment), tasks, and agent must always be taken into account |
| A-2 | Complete agent | Embodied, autonomous, self-sufficient, situated agents are of interest |
| A-3 | Parallel, loosely coupled processes | Parallel, asynchronous, partly autonomous processes; largely coupled through interaction with the environment |
| A-4 | Sensorimotor coordination | Behavior sensory-motor coordinated with respect to target; self-generated sensory stimulation |
| A-5 | Cheap design | Exploitation of niche and interaction; parsimony |
| A-6 | Redundancy | Partial overlap of functionality based on different physical processes |
| A-7 | Ecological balance | Balance in complexity of sensory, motor, and neural systems: task distribution between morphology, materials, and control |

Tabela 4: Sumário dos princípios de design da IA corporificada (adaptado de Pfeifer, Iida & Bongard, 2005).

Os princípios estão divididos em duas subcategorias: (i) “*design procedure principles*” ou princípios de design dos procedimentos, identificados como (P-X) e (ii) “*agent design principles*” ou princípios de design do agente, identificado como (A-X). Enquanto o primeiro grupo trata da filosofia geral ligada à abordagem

escolhida, o segundo trata mais especificamente da metodologia utilizada para o desenvolvimento de agentes autônomos (PFEIFER, IIDA e BONGARD, 2005). Pfeifer e Bogard (2007, pp. 357-358) apresentam como estes princípios básicos podem ser estendidos para incluir *insights* específicos para cada área e problema ligados à sistemas adaptativos, evolução artificial e sistemas distribuídos.

O primeiro princípio de design de procedimentos (P-1) torna explícito que a metodologia aplicada pela IA deve ser primariamente científica em detrimento do esforço ligado à simples engenharia, muito embora estes dois objetivos possam coexistir em harmonia e não são mutuamente excludentes (PFEIFER e GOMEZ, 2005). Para Froese e Ziemke (2009), a questão principal é que devemos construir tais sistemas inteligentes de tal forma que eles possam nos ajudar a compreender melhor o fenômeno natural da vida e da mente.

O princípio da emergência (P-2) é fundamental nesta pesquisa pois demonstra a convergência das teorias abordadas no sentido da utilização da emergência como uma forma de heurística para o desenvolvimento de sistemas inteligentes que demonstrem um comportamento “natural”. Este princípio é compartilhado por muitas abordagens computacionais da IA no sentido mínimo de que o comportamento sempre deve emergir das interações de um agente e seu ambiente.

Este segundo princípio deixa claro que se desejamos desenvolver sistemas adaptativos, devemos buscar a emergência. O termo emergência, por si só é um pouco controverso mas, aqui, o utilizamos no sentido mais pragmático: no sentido de não ter sido programado ou previsto. Ao desenvolver objetivando a emergência, a estrutura final do agente será o resultado do histórico das suas interações com o ambiente.

Para Pfeifer e Gomez (2005), a relação entre comportamento e emergência vai além das interações entre agente e ambiente. Assim, de uma forma estrita, o comportamento é sempre emergente posto que ele não pode ser reduzido à apenas um mecanismo interno: ele é sempre o resultado da interação sistema-ambiente. Neste sentido, Pfeifer, Iida e Bongard (2005) apontam que a emergência cessa de ser um fenômeno com características discretas (ou é emergente ou não é) e passa a ser tratado como uma questão de “nível de emergência”: quanto menos influência as escolhas do designer tiverem sobre o comportamento atual do agente, maior será o nível de emergência do mesmo.

Os sistemas desenvolvidos para demonstrar um comportamento emergente normalmente são mais robustos e adaptativos. Por exemplo, um sistema que

especifique condições iniciais e mecanismos de desenvolvimento irão automaticamente explorar o ambiente para modelar a estrutura final do agente, como nos algoritmos genéticos (PFEIFER, IIDA e BONGARD, 2005).

O quarto princípio (P-4) apenas realça o fato de que organismos (naturais ou artificiais) estão imersos em três escalas temporais: o estado orientado (tempo presente), aprendizagem e desenvolvimento (ontogenia) e mudança evolutiva (filogenia). Portanto, qualquer explicação completa do comportamento de um organismo deve incorporar estas três perspectivas (FROESE e ZIEMKE, 2009).

O primeiro princípio do design de agentes (A-1) destaca a importância de que qualquer sistema autônomo nunca deve ser pensado de forma isolada. Froese e Ziemke (2009) apontam que devemos considerar três componentes do sistema que estão correlacionados: (i) o campo de atuação ou ambiente, (ii) o objetivo e comportamento desejado e (iii) o agente propriamente dito.

Como um complemento para (A-1), o princípio (A-2) também se faz importante nesta pesquisa pois denota uma clara intersecção com o conceito de autopoiese. (A-2) propõe que para melhor compreender o fenômeno da inteligência nós devemos pesquisar agentes completos em detrimento do estudo dos componentes internos do agente de forma isolada. Claro que isso não invalida o desenvolvimento dos componentes isoladamente, mas para Froese e Ziemke, se quisermos um maior ganho científico na compreensão da inteligência devemos investigar como o comportamento adaptativo emerge da dinâmica holística cérebro-corpo-mundo. Ainda sobre (A-2), Pfeifer e Gomez (2005) apontam ainda que os agentes de interesse devem ser autônomos, autossuficientes, corporificados e situados em um determinado contexto.

Uma quebra de paradigma é oferecida pelo princípio (A-3) que propõe, em contraste à muitas das abordagens computacionais da IA, que a cognição não é integrada apenas em um controlador central mas, possivelmente, baseia-se em um largo número de processos assíncronos, paralelos e fracamente acoplados (PFEIFER e GOMEZ, 2005; FROESE e ZIEMKE, 2009).

2.1 IA e Emergência

O conceito de emergência é definido segundo Peter Cariani (2009) como o surgimento de novas entidades que, em um sentido ou em outro, não poderiam ter sido previstas com base naquilo que as precedeu. Pode-se ainda entender a emergência como o surgimento de macropadrões decorrentes de microprocessos.

Encontramos na natureza vários exemplos de emergência. Segundo Cariani (2009), as principais mudanças emergentes na história do universo incluem a formação de partículas, átomos e moléculas na microescala e a formação de estrelas, galáxias, e buracos negros na macroescala. Pode-se inclusive questionar se as leis da física e mesmo o tempo em si são aspectos emergentes oriundos dos primórdios do universo.

De uma forma geral, emergência designa o comportamento que não foi explicitamente programado em um sistema ou agente. Segundo Pfeifer e Bongard (2007), pode-se distinguir entre três tipos de emergência: (i) fenômeno global surgindo de um comportamento coletivo, (ii) comportamento individual como resultado de uma interação do agente com o ambiente e (iii) emergência comportamental de uma escala de tempo para outra. A formação de uma trilha de formigas é um exemplo do primeiro tipo. As formigas, por si só, não tem consciência sobre o fato de que estão formando uma trilha que irá determinar o menor caminho até a fonte de alimento (PFEIFER e BONGARD, 2007). Para Laurentiz (2007), ao se trabalhar com uma população de indivíduos, não podemos focar apenas em um dos indivíduos, mas devemos nos interessar também nas propriedades emergentes dos processos dinâmicos destas populações.

Guilherme Kujawski (2009) cita um formigueiro como representação de uma sociedade centralizada sobre a égide da rainha, detentora do poder absoluto, capaz de guiar operárias e soldados através de estímulos químicos. Para ele, este mito é desfeito sob a luz da ciência que determina que o todo não é simplesmente a soma das partes constituintes e sim algo mais complexo. Kujawski questiona como seria possível uma inteligência centralizada, neste caso, determinar que o cemitério ficasse o mais longe possível da colônia mas não tão longe quanto o depósito de lixo. Este comportamento se torna possível por meio de uma inteligência distribuída, ou o que ele se refere como sinédoque biológica. Neste caso, a simples interação das partes individuais faz emergir o todo complexo do sistema.

O neurocientista Valentino Braitenberg (apud. PFEIFER e BONGARD, 2007) apresentou em 1984 uma série de veículos-robôs cujo grau de complexidade é incrementado, começando com os mais simples cujos “cérebros” são formados por apenas alguns fios. Um dos veículos de Braitenberg, ilustrado na figura 9, demonstra o comportamento de seguir a luz ou afastar-se dela. Neste tipo de veículo, este comportamento emerge pois o robô tem dois fios que conectam os seus sensores aos motores de uma forma particular e há uma fonte de luz no ambiente. Este é um exemplo de comportamento emergente resultante da interação com o ambiente.

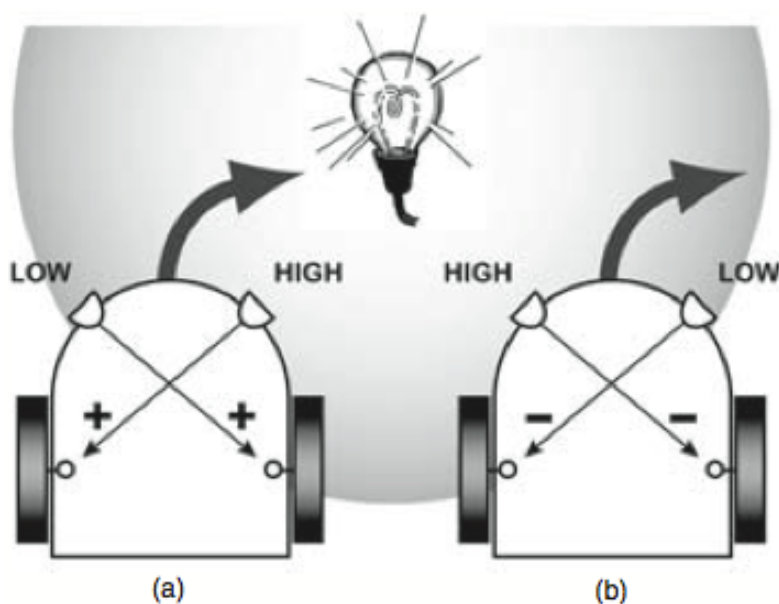


Figura 9: Veículos simples de Braitenberg: (a) veículo que busca a luz e (b) veículo que evita a luz (PFEIFER e BONGARD, 2007).

O terceiro tipo de emergência diz respeito às escalas de tempo que devem ser incorporadas sob três perspectivas: (i) estado orientado, o “aqui e agora” que diz respeito ao estado atual do mecanismo, (ii) aprendizado e desenvolvimento, sob o ponto de vista ontogenético e (iii) evolutivo, perspectiva filogenética, ver figura 10.

A perspectiva temporal do “aqui e agora” trata do que está acontecendo no presente momento, a perspectiva ontogenética se estende pela vida inteira do indivíduo enquanto a perspectiva evolutiva pode se estender por várias gerações de uma população de indivíduos. Por exemplo, acertar o seu dedão com um martelo pode ensiná-lo como manejar melhor a ferramenta, assim o “aqui e agora” afeta o desenvolvimento em uma outra escala de tempo. O aprendizado influenciará suas decisões futuras, assim o desenvolvimento afetará o “aqui e agora”. Por fim, a

evolução da morfologia da mão altera o que um organismo pode fazer com ela, assim a evolução afeta o “aqui e agora” (PFEIFER e BONGARD, 2007).

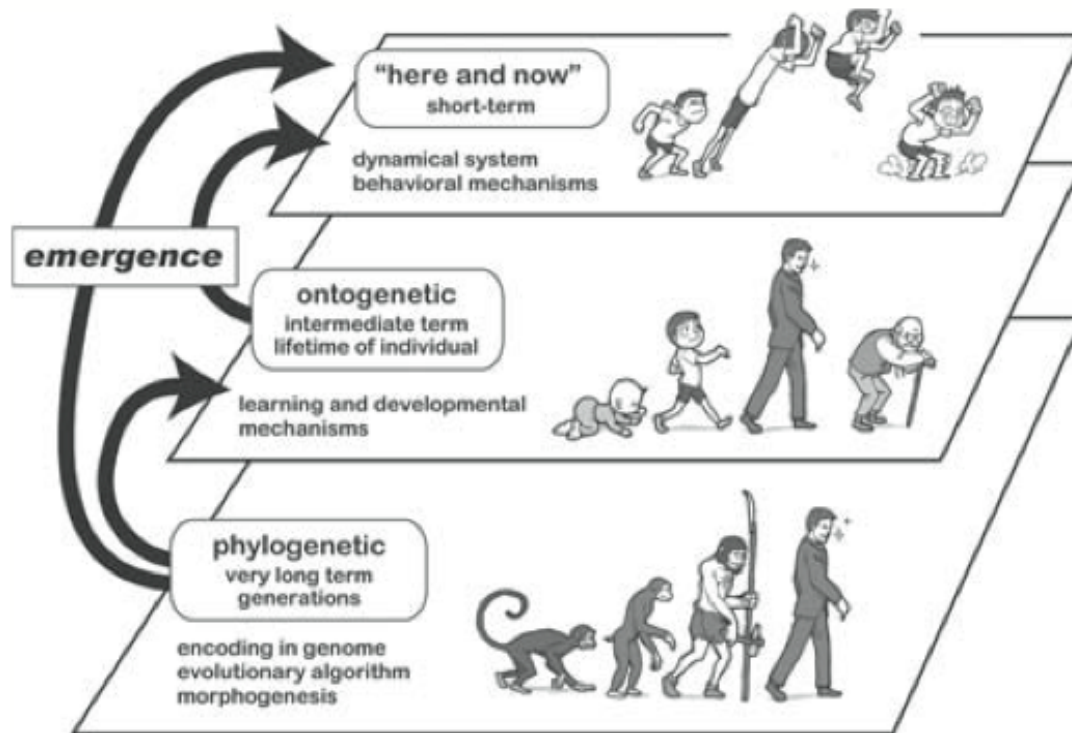


Figura 10: Escalas de tempo e emergência: “aqui e agora”, ontogenético e filogenético (PFEIFER e BONGARD, 2007).

Portanto, as três escalas de tempo – “aqui e agora”, ontogenética e filogenética – devem ser consideradas a fim de determinar se o sistema como um todo é capaz de gerar resultado ou comportamento emergentes em qualquer uma destas escalas. Se pode-se demonstrar que um mecanismo pode ser observado em uma escala de tempo torna-se mais fácil a compreensão do mecanismo observado. Compreende-se por mecanismo qualquer função ou parte do sistema que participe ativamente da evolução do agente ou tenha papel relevante na construção emergente do mesmo.

A observação sobre como os processos ou características de um agente emergem de um processo de ação ao longo de uma escala de tempo nos permite aprender não apenas sobre o processo em si mas também como e em que situações isto ocorre. Por exemplo, ao utilizar algoritmos evolutivos para projetar de forma automatizada agentes capazes de locomover-se, podemos estudar qual morfologia e

sistemas neurais desenvolvem-se dependendo do ambiente, como água ou terra (PFEIFER e BONGARD, 2007). Obviamente que esta observação não se limita aos ambientes físicos posto que um agente que trafega no ciberespaço também deve lidar com características do ambiente.

No entanto, a emergência é algo mais amplo do que o simples surgimento de novas estruturas e novos padrões. Inclui também a formação fundamentalmente nova de organizações de matéria, processos informativos e o aparecimento de um novo aspecto de mundo (CARIANI, 2009). Num contexto natural fica claro que as transições emergentes possam envolver uma ou mais destas formações fundamentalmente novas porém isto não se aplica necessariamente aos modelos computacionais dado o diferente contexto e ambiente em que as relações se constroem: o ciberespaço. No âmbito computacional as relações se dão através da criação de novas conexões e manifestam-se na forma de bits, sendo necessária uma outra abordagem para a definição dos fenômenos emergentes neste contexto, podendo-se questionar sobre a possibilidade de obtenção de resultados emergentes em um ambiente virtual.

Kujawski afirma que é possível algo novo, imprevisível, emergir de uma máquina limitada como a de Turing desde que fique clara a diferença entre regras e leis. As primeiras são procedimentos formais bem definidos, as segundas são condições universais (KUJAWSKI, 2009). Existem “algoritmos” ou um conjunto de regras por trás de qualquer fenômeno emergente, independente da sua natureza. Um bom exemplo de emergência em um sistema de regras simples é o Game of Life, jogo criado por John Conway na década de 1950. Neste jogo, cada célula sobrevive ou morre segundo regras simples: (i) cada célula com dois ou três vizinhos sobreviverá até a próxima geração, (ii) a célula que tiver mais de quatro vizinhos é removida (perece) por superpopulação e cada célula com menos de dois vizinhos morre de isolamento e (iii) cada célula vazia adjacente a exatamente três vizinhos – nem mais, nem menos – deve tornar-se viva. Iniciando-se com um padrão simples e aplicando-se estas regras surgem padrões mais complexos, conforme ilustrado na figura 11 (GARDNER, 1970).

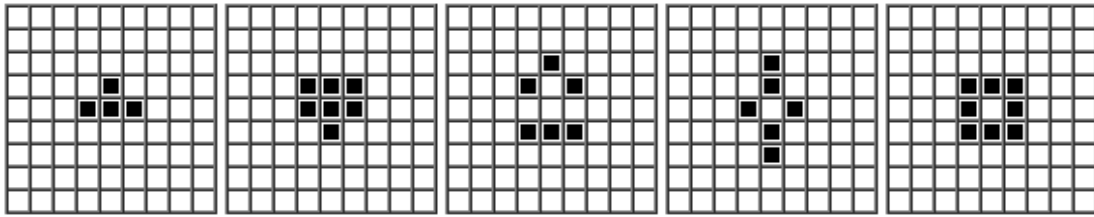


Figura 11: Sequência de passos da esquerda para a direita considerando as regras do jogo da vida, segundo John Conway (apud. GARDNER, 1970).

As redes neurais recorrentes, apresentadas anteriormente, proveem um bom espaço para a experimentação visando os resultados emergentes, pois baseiam-se em regras simples e, dependendo da forma como se estrutura a topologia da rede, ela pode tornar-se instável, oscilando e exibindo às vezes um comportamento caótico. Este comportamento abre espaço para a ocorrência do resultado emergente.

Um nível mais profundo de emergência denominado emergência epistêmica envolve, naturalmente, o surgimento de novas visões de mundo e novas perspectivas intrinsecamente ligadas às alterações sensoriais. O aprimoramento ou desenvolvimento de novos órgãos sensoriais permite que um organismo evolua para uma outra linhagem, surgindo concomitantemente uma nova visão de mundo. Este desenvolvimento também ocorre na evolução tecnológica na medida em que construímos artefatos como termômetros, relógios, e telescópios que ampliam os nossos sentidos ou proveem um aumento das funções biológicas.

De acordo com o que se permite à um sistema escolher os seus próprios sensores, este tem um poder decisório de como será o seu olhar para o mundo, atingindo um grau limitado de autonomia epistêmica, liberando-se das limitações impostas pelos sensores com os quais contava inicialmente. Um outro fechamento organizacional é atingido quando um organismo se torna capaz de construir seus próprios sensores. Enquanto o fechamento organizacional da autopoiese permitiu aos organismos que controlassem suas estruturas internas, esse outro fechamento organizacional permite que os organismos controlem seu curso epistêmico (CARIANI, 2009).

Através da identificação das primitivas que compõem um sistema podemos criar um novo sistema complexo ou modificar um pré-existente através da recombinação destas. A recombinação ou alteração das partes ou das relações entre elas é capaz, por si só, de constituir novos sistemas com potencial para gerar

resultados emergentes. Estas primitivas dependem do sistemas, podendo ser “átomos” materiais ou estruturais, símbolos, estados, funcionalidades, operações, hipóteses de uma teoria, sensações ou ideias. Para que uma entidade seja considerada como uma primitiva ela não deve poder ser construída a partir das combinações dos outros, ou seja, suas propriedades não podem ser logicamente deduzidas das propriedades das outras entidades. Neste sentido, as combinações de objetos de um nível inferior não geram, necessariamente, primitivas de um nível superior posto que estes sistemas de nível mais abstrato podem ser decompostos em átomos de um nível ainda mais baixo.

Assim, torna-se possível prever os processos criativos que simplesmente recombina as primitivas fixas existentes versus aquelas que, de alguma forma, geram novas primitivas. Para Cariani (2009), a geração de novidade emergente pode ocorrer de dois modos: emergência combinatória e emergência criativa, conforme figura 12.

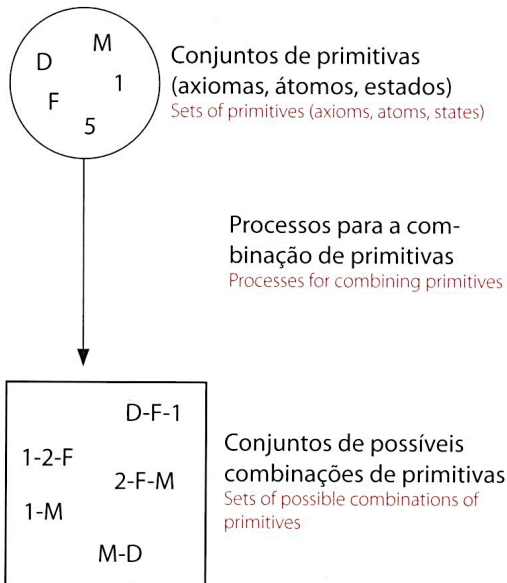
Os algoritmos genéticos são claros exemplos de novidade combinatória. Nesta abordagem uma codificação específica em linguagem genética as primitivas de um sistema que deverão ser combinadas para formar produções complexas enquanto um processo seletivo heurístico orienta a geração destas novas combinações de primitivas (CARIANI, 2009).

Emergência combinatória:

Combinatoric emergence:

Novas combinações de primitivas preexistentes

New combinations of preexisting primitives



Emergência criativa:

Creative emergence:

De novo criação de novas primitivas

De novo creation of new primitives

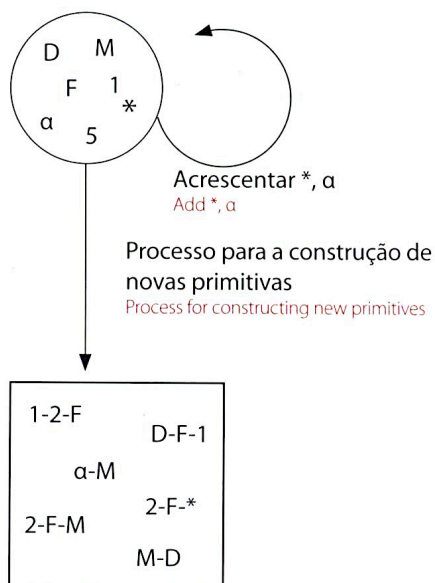


Figura 12: Emergência combinatória versus emergência criativa (Cariani, 2009).

Retomando o exemplo do Gerador de Acordes, foram realizados vários testes com as taxas variando entre 60 e 80% para o operador de *crossover* e 0.8% a 2% para mutação, conforme ilustrado na figura 13. Ficou claro que o uso de operador de *crossover* não representa uma evolução posto que as notas que formam um acorde maior para determinada tônica, não formam acordes maiores para nenhuma outra nota. O que significa dizer que ao se aplicar o *crossover* sobre dois indivíduos com tônicas diferentes, cujas notas já encontram-se harmônicas, podemos gerar dois indivíduos completamente mal adaptados de acordo com a função de *fitness*.

- **Módulo de avaliação**
Função de avaliação: Diferença entre intervalo existente e intervalo ideal;

- **Módulo de população**
Técnica de representação: Representação com 4 inteiros;
Técnica de iniciação: Randômica;
Técnica de eliminação: Menor *fitness*;
Técnica de reprodução: Substituição de geração com elitismo;
Técnica de seleção de pais: Sorteio;
Técnica de *fitness*: Normalização linear: interpola *fitness* de 100 a 1, de 1 em 1;

- Parâmetros**
População: 10 indivíduos;
Gerações: 100;

- **Módulo de reprodução**
Técnica de seleção do operador: Sorteio;
Operadores: *crossover* de um ponto, mutação;
Taxa (probabilidade) do operador:
mutação: 0,008 a 0.2;
***crossover*:** 0.60 a 0.80.

Figura 13: Resumo dos parâmetros utilizados na implementação do Gerador de Acordes.

O operador de mutação quando aplicado a taxas mais altas provocou indivíduos com *fitness* máximo em menos rodadas, ou seja, gerou acordes maiores com um número menor de interações. Isto se explica pois se uma nota não compõe um acorde considerando a tônica e as demais, ou seja, se apenas uma das notas está fora do intervalo, é muito mais provável que ela possa ser evoluída individualmente através de uma mutação do que em conjunto com a nota subsequente (ou anterior) através de recombinação.

A cada rodada executada o indivíduo com maior *fitness* tinha o conteúdo do seu cromossomo enviado para síntese sonora. Esta evolução mapeada dos cromossomos permitiu perceber que, enquanto não se atingia um acorde maior, vários outros tipos de acorde emergiram do sistema.

No entanto, a aplicação do operador de recombinação e mutação permitiu o surgimento de acordes não previstos como os menores, diminutos e aumentados, por exemplo, sugerem um comportamento emergente do sistema. Os dados oriundos deste sistema ainda serão estudados para identificar que tipos de acordes emergem além de definir com que frequência isto acontece e o que favorece tal comportamento.

Neste exemplo a emergência combinatória foi capaz de gerar acordes que não haviam sido previstos como os dissonantes, por exemplo, porém o conjunto de

possibilidades possíveis dentro deste domínio é finito. Essa estratégia para a geração de novas variedades a partir de combinações de conjuntos de primitivas relativamente pequenos é poderosa, formando a base da sistemática da linguagem humana e computacional.

Para Cariani (2009), os computadores são adequados para gerar e avaliar as combinações de primitivas de símbolos e as operações lógicas sobre estes. Assim é possível detectar as propriedades formais úteis, interessantes e imprevistas oriundas do sistema. Analogamente, nas máquinas adaptativas e treináveis, como os algoritmos genéticos e as redes neurais, a busca direcionada otimiza as combinações de características. Estas máquinas se distinguem formalmente pelas regras que dirigem os processos de busca e pelo fato de suas estruturas dos respectivos espaços de combinação serem transversais.

A novidade combinatória se mostra como uma estratégia dinâmica e criativa na medida em que leva constantemente à formação de novas combinações de elementos. No entanto, vale à pena ressaltar que o uso de conjuntos fixos de elementos primitivos significa que o conjunto de combinações possíveis é fechado. Por outro lado, os sistemas que criam suas próprias primitivas são abertos em relação ao seu conjunto atual de primitivas.

Esta abertura dos sistemas capazes de criar novas primitivas se dá pois o processo de geração de novas primitivas é indefinido. Pode-se demonstrar esta diferença ao se verificar a características dos domínios fechados e abertos. Por exemplo, um conjunto de todas as sequências de 3 dígitos utilizando números de 0 a 9 é extremamente bem definido e contém quase 20 mil elementos, que podem ser enumerados.

No entanto, um conjunto de todas as possibilidades de combinação de 3 objetos definidos arbitrariamente é mal definido pois a quantidade de objetos possíveis é indefinida, podendo-se alterar as combinações possíveis ao se incluir qualquer novo objeto no conjunto de primitivas.

Assim, no primeiro caso, as primitivas são passíveis de descrição exaustiva através de seus tipos simbólicos. Consequentemente o conjunto é bem definido e fechado. No segundo caso, o espaço das próprias primitivas não está bem definido e, portanto, o conjunto de possibilidades é mal definido e aberto. Os organismos biológicos ou artefatos tecnológicos, como as redes neurais, enquadram-se na

categoria dos conjuntos abertos posto que são capazes de desenvolver novas primitivas baseados na sua interação com o mundo e com eles mesmos.

Cariani (2009) define basicamente dois modos da arte produzir emergência criativa. O primeiro modo de emergência criativa diz respeito à possibilidade da obra provocar novas ideias, significados e perspectivas em seu público. Já o segundo modo, mais interessante para esta pesquisa, diz respeito à arte que cria objetos autônomos e que por si sós, independentemente, desenvolvem novas primitivas. Para Cariani (2009), essa emergência criativa pode ou não estar explicitamente tensionada ou declarada pelo artista.

A instalação *Bacterial Orchestra* (2006), de Martin Lübke e Olle Cornéer é um bom exemplo desta emergência criativa não declarada pelos artistas, expressa através de objetos/artefatos autônomos. Esta consiste em uma orquestra formada por várias células capazes de ouvir e reproduzir os sons do ambiente. O material sonoro é oriundo do som ambiente onde as células estão inseridas, como pessoas conversando, som dos passos ou os sons que outras células reproduzem (CORNÉER e LÜBCKE, 2006). Assim, em conjunto, comportam-se como um organismo mais complexo trabalhando sobre um domínio mal definido e, portanto, aberto.

Cada unidade desta ecologia é um sistema simples dotado de um microfone e uma caixa de som. A célula é inicializada randomicamente com um conjunto de parâmetros codificados em seu cromossomo que determinará como ela irá responder aos estímulos sonoros. O gatilho que ativa as células é um pico na amplitude do som: no primeiro pico a célula começa a registrar o som e no segundo pico ela para e passa a reproduzir o que acabou de gravar. Simultaneamente cada célula é capaz de “lembrar” as frases melódicas que registrou anteriormente e utiliza esta informação ao reproduzir as novas frases registradas.

Quando uma célula é instanciada com um DNA que a impede de ser ativada ela é eliminada por inanição. Por outro lado, se ela recebe muito estímulo estará fadada à perecer por superestimulação. Apenas as células que respondem bem ao meio ambiente são capazes de continuar vivendo.

Da interação simples entre as células resulta uma espécie de microfonia que possibilita novas evoluções sonoras. Estas evoluções são capazes de gerar padrões sonoros que não foram previstos, complexificando o espaço sônico da instalação ao passar do tempo à medida em que os sons reverberavam através de cada uma das

células em uma espécie de retroalimentação, dificultando a definição de um escopo de possibilidades apresentadas pela instalação, figura 14.



Figura 14: The Bacterial Orchestra no encontro de novas mídias em Norrköping (2006).

O conjunto de células que compõem a instalação caracterizam o que Lübecke e Cornéer chamam de “organismo musical evolutivo auto-organizado” e podem ser comparadas às redes neurais. A topologia desta rede auto-organizada consideraria cada célula como um neurônio capaz de receber e emitir estímulos. Estes estímulos são sonoros e através deles a rede se autorregulará assim como qualquer outro organismo vivo.

Essa manifestação da emergência em organismos vivos instiga a pesquisa no sentido de que a corporificação dos agentes, seja de forma física ou virtual, pode ser um dos primeiros passos para que esta transição determinista-emergente, em agentes, seja possível. Esta motivação encontra-se presente também na obra *The Flock*, do artista americano Kenneth Rinaldo em parceria com Mark Grossman (1994), figura 15.

The Flock é um grupo de esculturas cibernéticas sonoras que exibem um comportamento análogo ao de bando, encontrado em grupos naturais como os

pássaros, peixes e morcegos. Este comportamento de bando assemelha-se ao demonstrado na obra *EvoTwitter*, detalhada mais adiante na seção 3.1. O comportamento de bando demonstra características de supra-organização, quando uma série de indivíduos independentes entre si agem como um sistema complexo unificado e vai de encontro ao primeiro tipo de emergência destacado por Pfeifer e Bongard (2007): um fenômeno global surgindo de um comportamento coletivo.

Para Rinaldo (apud. WILSON, 2002), o conceito chave por trás desta obra/instalação é a emergência do comportamento de vários sistemas independentes que não possuem um controle centralizado para guiar o comportamento. O comportamento global evolui naturalmente das interações locais entre os sistemas. Quando as necessidades básicas do sistema são satisfeitas, como a autopreservação, outras funções mais abstratas tendem a emergir, como o comportamento de bando. Os resultados são caóticos, não-lineares e normalmente não se repetem.



Figura 15: Três braços robóticos da obra *The Flock* que demonstram comportamento emergente de bando (Rinaldo, 1994).

As concepções de emergência oferecem para o campo da arte da tecnologia uma heurística para a criatividade. Se a emergência pode ser definida como novidade pura, então compreender os processos que levam a acontecimentos, estruturas, funções e perspectivas emergentes pode ser pertinente para a construção de artefatos que percebam ou utilizem estes processos para criar novidades puras. Neste sentido torna-se possível o desenvolvimento e aplicação de algoritmos baseados em processos emergentes naturais para expandir a criatividade humana ou construção de sistemas artificiais autônomos ou semiautônomos capazes de ser criativos por si sós.

2.2 IA e Autopoiesis

A noção de autopoiese, enquanto organização do vivo, originou-se nos trabalhos dos biólogos chilenos Humberto Maturana e Francisco Varela na década de 1970 (MATURANA e VARELA, 1997). Mesmo o conceito de autopoiese tendo sido desenvolvido no contexto da biologia teórica foi, também, desde o seu início associado com a simulação artificial muito antes do termo “vida artificial” ter sido introduzido no final dos anos 1980 (LANGTON, 1989).

Hoje em dia o conceito de autopoiese continua tendo um impacto significativo no campo da vida artificial computacional. Pier Luisi (2003) apresenta uma boa revisão do conceito. Além disso, houve também um esforço para integrar a noção de autopoiese ao campo das ciências cognitivas.

Após a criação do termo autopoiese, o conceito associado evoluiu nos trabalhos de ambos: Maturana e Varela. Para o propósito desta pesquisa será utilizada a definição mais extensamente utilizada por Varela em uma série de publicações nos anos 1990 e que tem sido resgatada em trabalhos recentes como Froese, Virgo & Izquierdo (2007). De acordo com esta definição de Francisco Varela, um sistema autopoietico – a organização mínima do vivo – é aquele que continuamente produz os componentes que o especificam ao mesmo tempo em que percebe o sistema como uma unidade concreta no espaço-tempo, o que faz com que a rede de produção dos componentes seja possível (apud. FROESE e ZIEMKE, 2009).

Para ser mais preciso, um sistema autopoietico, definido enquanto unidade, é organizado como uma rede de processos de produção (síntese e destruição) de componentes de tal forma que estes componentes: (i) continuamente regeneram-se formando uma rede que os produz e (ii) constituem o sistema como uma unidade

distinguível no domínio no qual ele existe. Além dos dois critérios explícitos para a autopoiese, podemos acrescentar um outro ponto importante, a saber, que a autoconstituição de uma identidade implica a constituição de um domínio relacional entre o sistema e o seu ambiente (FROESE e ZIEMKE, 2009).

A forma deste domínio não é pré-determinada mas, possivelmente, co-determinada pela organização do sistema e do ambiente. Assim, qualquer sistema que cumpra os critérios para autopoiese gera também o seu próprio domínio de interações no mesmo momento em que emerge a sua identidade.

Autopoiesis pode ser considerada como uma tentativa de resposta para a questão sobre como podemos determinar quando um agente é um ser vivente ou não baseado no tipo de sistema e não em como ele se comporta ou de onde ele veio. Assim, esta proposta contrasta com a abordagem puramente funcional ou histórica.

Um organismo unicelular é o perfeito exemplo paradigmático de um sistema autopoietico e pode ser utilizado para ilustrar a circularidade que é inerente à esta autoprodução (figura 16). Neste caso do ser unicelular esta relação circular é expressa na co-dependência entre os limites determinados pela membrana (externa) e a rede metabólica (interna). Esta rede metabólica se constrói distinguindo-se do ambiente como um sistema unificado e isto só é possível graças ao sistema externo (membrana), que evita que o sistema se disperse no ambiente. Por sua vez, o sistema externo só é construído pois existe uma rede metabólica funcional, capaz de produzir os componentes que o compõem. Este sistema como um todo é denominado autopoietico e pode ser reproduzido artificialmente através da utilização das técnicas de IA apresentadas nesta pesquisa: algoritmos genéticos e redes neurais.

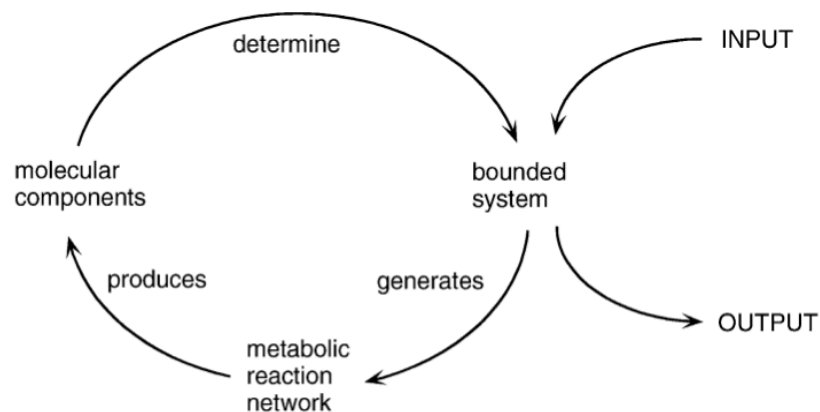


Figura 16: O ciclo de auto-regulação de uma célula enquanto unidade autopoietica (LUISE, 2003).

Para Evan Thompson (2007), muito embora haja casos na literatura em que organismos multicelulares são considerados como autopoieticos, esta é uma discussão profunda que se distancia do trivial e permanece controversa. Ainda assim, nós intuitivamente dizemos que tais organismos preenchem os requerimentos para que sejam declarados como autônomos. Isto faz com que este organismo multicelular seja distintamente diferente de uma entidade autopoietica mínima no que tange a sua identidade mas seja similar no que demarca uma entidade autônoma em relação ao seu ambiente (FROESE e ZIEMKE, 2009).

Para Maturana e Varela (1997), tanto a criação da teoria autopoietica quanto a sua aplicação aos sistemas sociais representou uma revolução epistemológica. Essa proposta de mutação no foco epistemológico propiciou uma melhor observação do meio e suas características. Anteriormente, o processo de observação científica de um dado objeto pressupunha a análise estrutural de todos os seus elementos constitutivos isoladamente. Conhecer algo significava poder determinar quais são as partes que determinam o todo desse objeto. Não se avaliava as relações entre os elementos, mas apenas sua condição/colocação no todo.

Máquinas, segundo Maturana e Varela (1997), são consideradas comumente como sistemas materiais definidos pela natureza de seus componentes e pelo objetivo que cumprem em seu operar como artefatos de fabricação humana. No entanto esta maneira de vê-las é obviamente ingênua já que nada diz sobre como são construídas.

As máquinas são unidades, formadas por componentes, caracterizados por propriedades capazes de satisfazer determinadas relações que determinam na unidade as interações e transformações destes mesmos componentes. Portanto, qualquer máquina é um sistema que pode materializar-se diante de muitas estruturas diferentes e cuja organização definitiva não depende das propriedades dos componentes mas da relação entre eles (MATURANA e VARELA, 1997).

Fato de que os seres vivos são máquinas não pode demonstrar-se apelando aos seus componentes. Deve-se mostrar a sua organização mecanicista de forma tal que seja óbvio o modo como todas as suas propriedades emergem dela mesma. Para fazer isto, Maturana e Varela (1997) descrevem primeiro a classe de máquinas que são os sistemas vivos e em seguida indicam como as propriedades particulares que as caracterizam podem surgir como consequência da organização desta classe de máquina.

Para Newell e Simon em sua leitura durante o Turing Award (1976), a atividade inteligente seja natural ou artificial pode ser alcançada por uma máquina através do desenvolvimento de padrões simbólicos (coleções de padrões e processos) capazes de representar as características proeminentes de um determinado domínio de problema.

Para a máquina, este padrão simbólico deve ser suficientemente consistente a fim de gerar uma abstração do domínio onde ela está inserida que a permita realizar operações sobre estes padrões para gerar soluções potenciais dos problemas. Este conjunto de padrões simbólicos, por sua vez, pode alterar a sua coleção de padrões, que consistem na base de conhecimento do agente, através dos processos internos, autopoieticamente. Isto significa dizer que a organização interna deste conjunto de padrões simbólicos só pode ser alterada pelos processos internos, autocontidos na máquina autopoietica (MATURANA e VARELA, 1997).

Podemos dizer, apoiando-se em Maturana e Varela, portanto, que a máquina autopoietica é um sistema auto-homeostático que tem a sua própria organização como variável que mantém constante. A organização autopoietica significa que os processos concatenados de uma maneira específica tal que estes processos produzem os componentes que constituem o sistema e o especificam enquanto uma unidade.

Kenneth Craik (1943) especificou três passos fundamentais para a definição de um agente baseado no conhecimento: (i) o estímulo deve ser traduzido em uma representação interna; (ii) a representação é manipulada por processos cognitivos para derivar novas representações internas; (iii) essas representações internas são traduzidas em estímulo. Segundo Craik, a justificativa da modelagem do agente desta forma pois:

Se o organismo transporta um ‘modelo em escala reduzida’ da realidade externa e de suas próprias ações possíveis dentro de sua cabeça, ele é capaz de experimentar várias alternativas, concluir qual a melhor delas, reagir a situações futuras antes que elas surjam, utilizar o conhecimento de eventos passados para lidar com o presente e o futuro e, em todos os sentidos, reagir de maneira muito mais completa, segura e competente às emergências que enfrenta (CRAIK, 1943).

Entre as máquinas, aquelas que mantem algumas de suas variáveis constantes ou dentro de um intervalo limitado de valores e devem expressar-se de tal modo que o processo se defina como verificado integralmente dentro dos limites que a própria

organização da máquina específica, ou seja, ela se autocontém (MATURANA e VARELA, 1997). Esta definição traz pontos em comum com a especificação de agente baseado em conhecimento de Kenneth Craik pois tanto o sistema autopoietico quanto o agente definem-se pela característica de modificarem a si mesmo.

As máquinas autopoieticas, definidas em Maturana e Varela, são autônomas. Isso quer dizer que subordinam todas as suas mudanças à conservação de sua própria organização, independente de quão profundas sejam as outras transformações que possa sofrer no processo. Estas possuem individualidade, ou seja, por meio da manutenção invariável da sua organização conservam ativamente uma identidade que não depende necessariamente de suas interações com o observador.

As máquinas autopoieticas são, ainda, definidas como unidade por, e apenas por, sua organização autopoietica: suas operações estabelecem seus próprios limites no processo de autopoiese. Além disso, não possuem nem entradas, nem saídas mas podem ser perturbadas por fatos externos e experimentar mudanças internas que compensam estas perturbações. Assim, muitos sistemas autopoieticos demonstram um comportamento dinâmico e não-linear, devido ao fato de que estas mudanças no ambiente causam uma reorganização da estrutura interna do sistema, que por sua vez causa novas perturbações no ambiente, caracterizando um movimento emergente.

Aqui foram dadas várias evidências que podem contribuir para esclarecer porque o conceito de autopoiese pode ser bastante interessante para os artistas. Artistas computacionais, sobretudo, podem encontrar neste conceito inúmeros desafios tecnológicos capazes de os inspirar a produzir trabalhos artísticos. Artistas que focam no contexto social também podem ser atraídos para as diversas aplicações sociais inerentes ao conceito. Os teóricos podem achar fascinante e inspiradora a ontologia por trás do que foi apresentado. Os trabalhos que lidam com interatividade podem ser enriquecidos ao utilizarem todos os aspectos da autopoiese.

Além dos princípios de design aqui apresentados e das diversas formas de emergência e classes de autopoiese que o artista deve considerar há outros fatores que são importantes que se tenha em mente como quais perturbações o agente poderá perceber. Na maioria dos casos das obras interativas estas perturbações serão oriundas do público, do interagente. O artista deverá, portanto, determinar como o sistema deverá perceber, reagir e adaptar-se à tais mudanças sem influência as escolhas do mesmo. Para tal, é necessário que o artista dote o agente das ferramentas necessárias para a realização das inferências.

As perturbações percebidas pelo sistema podem reforçar ou inibir um determinado comportamento. No entanto quanto menos influência o projetista tiver sobre qual a influência da perturbação em qualquer um dos casos, maior será o nível de emergência do comportamento resultante. Esta perturbação, mesmo quando inibe um determinado comportamento, reforça uma estrutura organizacional interna cujos elementos podem favorecer o presente comportamento ou mover a organização interna para outra direção. Por outro lado o sistema pode causar a perturbação que, no caso da obra interativa, pode ser infligida ao público ou no ambiente em que está inserido. Uma vez que o artista toma conscientemente estas decisões ao projetar o sistema autopoietico ele o dota de um autocontrole que pode, inclusive, torná-lo independente de seu criador, atingindo um nível máximo de autopoiese e emergência.

No âmbito da autopoiese há duas obras que valem ser destacadas. A primeira chama-se *Autopoiesis*, do artista Kenneth Rinaldo (2000), figura 17. Segundo o artista, *Autopoiesis* é uma vida robótica artificial composta por uma série de quinze braços sonoros mecânicos que interagem com o público e modificam o seu comportamento. Estas mudanças comportamentais do sistema baseiam-se no *feedback* de sensores infravermelhos presentes nos braços, da presença de participantes na instalação e da comunicação entre os distintos braços.

Esta série de esculturas robóticas comunicam-se através de uma rede de computadores e tons telefônicos audíveis, sendo este último meio de comunicação uma espécie de linguagem musical do grupo. A interatividade, nesta obra, engaja os interagentes que, por sua vez, interferem diretamente na evolução emergente do sistema. Isto faz com que se crie um caminho evolutivo único não apenas para cada um dos braços que compõem a instalação como também para a obra como um todo, denotando uma emergência local-para-global. Por outro lado o comportamento da obra como um todo influencia o comportamento de cada um dos braços individualmente, da forma global-para-local.

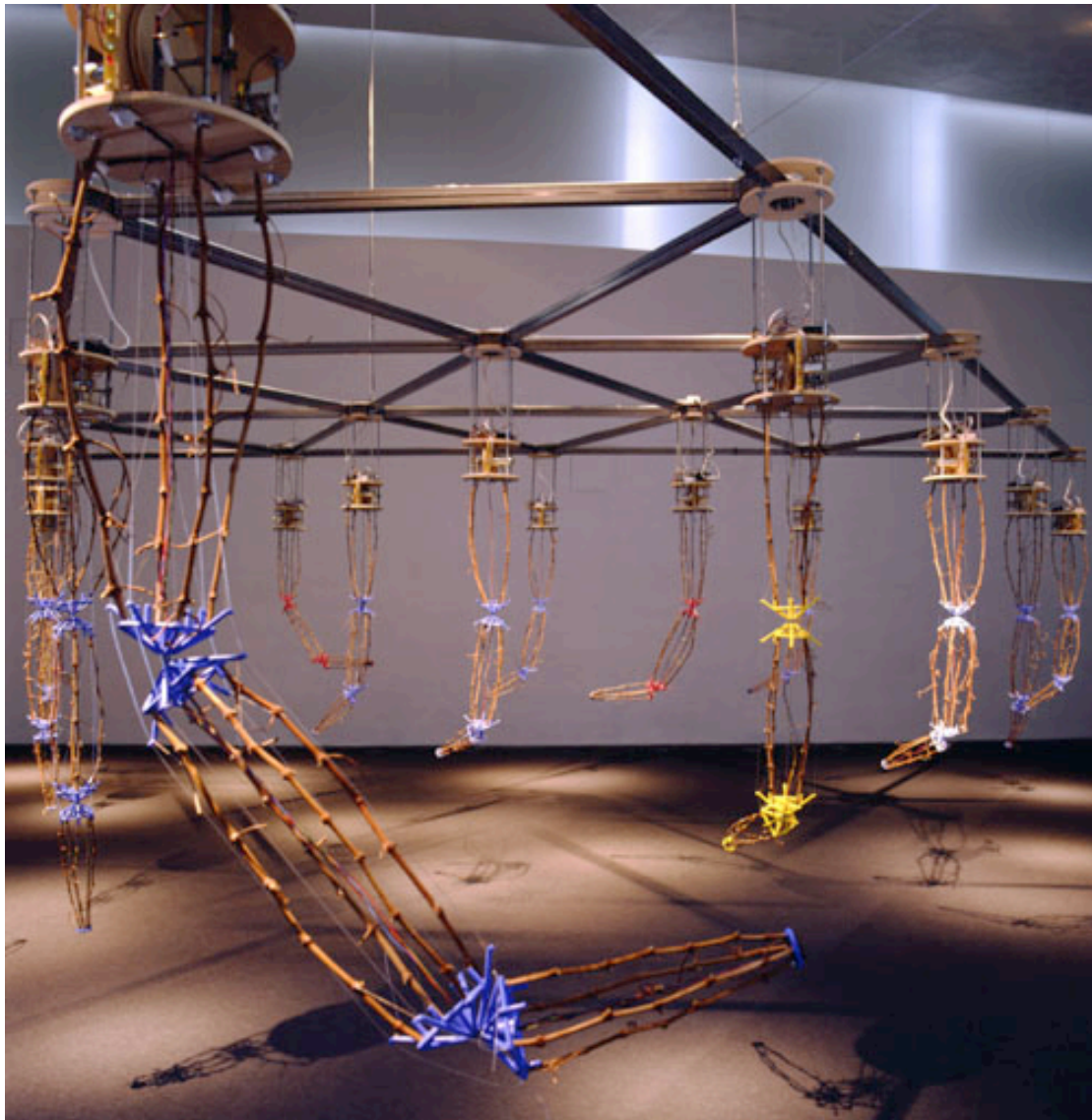


Figura 17: Em destaque, um dos 15 braços robóticos da instalação *Autopoiesis*, do artista Ken Rinaldo (2000)

Autopoiesis é, portanto, um ambiente em constante evolução que parece (re)criar a si mesmo como um sistema vivo. Nenhum ambiente ou elemento virtual está aparentemente ligado ao projeto, mas é o ambiente físico que reage através dos princípios do comportamento inteligente (PAUL, 2008).

A segunda obra, chama-se *Audible Ecosystems* de Agostino Di Scipio e encontra-se profundamente descrita em seu artigo “*Sound is the Interface*” (2003). Nesta, Di Scipio transforma uma sala em um sistema autopoietico capaz de responder tanto às perturbações causadas pela presença do interagente quanto ao movimento auto-regulatório constante do sistema.

A decisão de inserir o ecossistema num ambiente que tem o barulho, *noise*, como única fonte sonora, Di Scipio estabelece um ecossistema coeso capaz de interagir com a sala, escolhendo certas frequências e descartando outras. Isto permite que o sistema autopoietico “escolha” quais frequências devem ser reforçadas e quais devem ser amenizadas. Esta interação pode ser melhor compreendida através da determinação das relações entre as partes, ilustrada na figura 18.

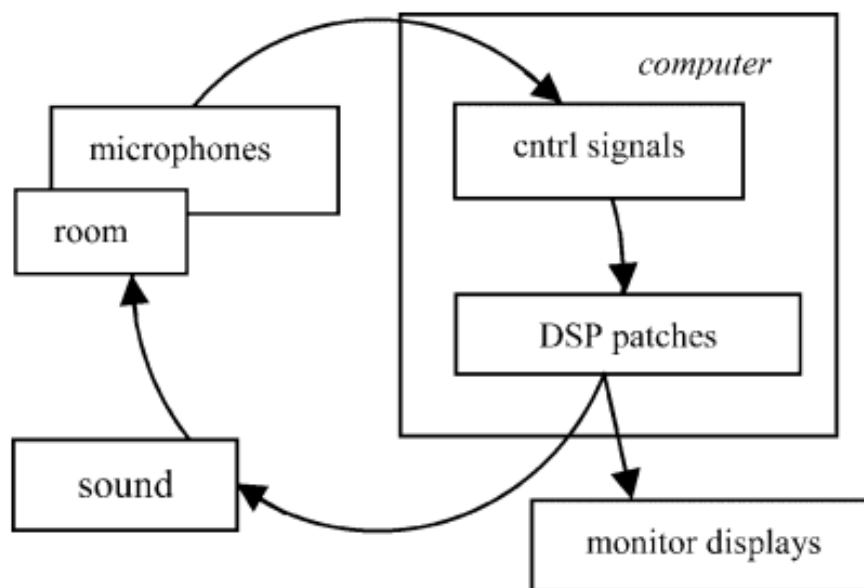


Figura 18: Esquema básico da interface da obra Audible Ecosystems (DI SCIPPIO, 2003).

Para Di Scipio (2003), o sistema autônomo faz com que os processos de interação se reflitam na sua estrutura interna. Assim, isolar sistema do meio é “mata-lo”. Portanto, o papel do som é fundamental aqui posto que o barulho é o meio no qual o sistema sonoro está situado, ou seja, é o ambiente do ecossistema. Além disso, o som é a fonte de energia que permite que o sistema autopoietico possa se manter e desenvolver. Porém, paradoxalmente, nenhum sistema autônomo pode existir sem que haja um acesso direto ao que é externo ao próprio sistema. De fato, uma dialética complexa se impõe entre autonomia e a heteronomia proposta por Kant em qualquer sistema vivo.

Neste ponto, é importante esclarecer a relação entre (i) emergência através da auto-organização, (ii) autonomia através de fechamento organizacional e (iii) autopoiese através da autoprodução. Para Pfeifer e Bongard (2007), uma forma coerente de se observar estas relações é na forma de classes de inclusão, da

emergência à autopoiese. Ao visualizar estas relações enquanto classes listamos, respectivamente, da mais inclusiva para a menos inclusiva: da emergência à autopoiese. Em outras palavras, (i), (ii) e (iii) podem ser caracterizadas como emergência através da auto-organização (PFEIFER e BONGARD, 2007).

O conceito de auto-organização pode ser interpretado de várias formas distintas, mas do ponto de vista autopoietico é digno de ser apresentado por dois aspectos: (a) a determinação local-para-global, de tal forma que o processo emergente tem sua identidade global constituída e restringida como um resultado das interações locais e (b) determinação global-para-local onde a identidade global e sua interação contextual em curso restringem as interações locais (PFEIFER e BONGARD, 2007).

No segundo caso de autonomia (ii), o tipo de emergência apresentado pode ser denominado co-emergência dinâmica, figura 19. Nesta relação, o sistema autônomo não se caracteriza apenas pela emergência através da auto-organização mas também pela autoprodução pois o todo é constituído pelas relações entre as partes e as partes são constituídas pelas relações que mantém com as demais.

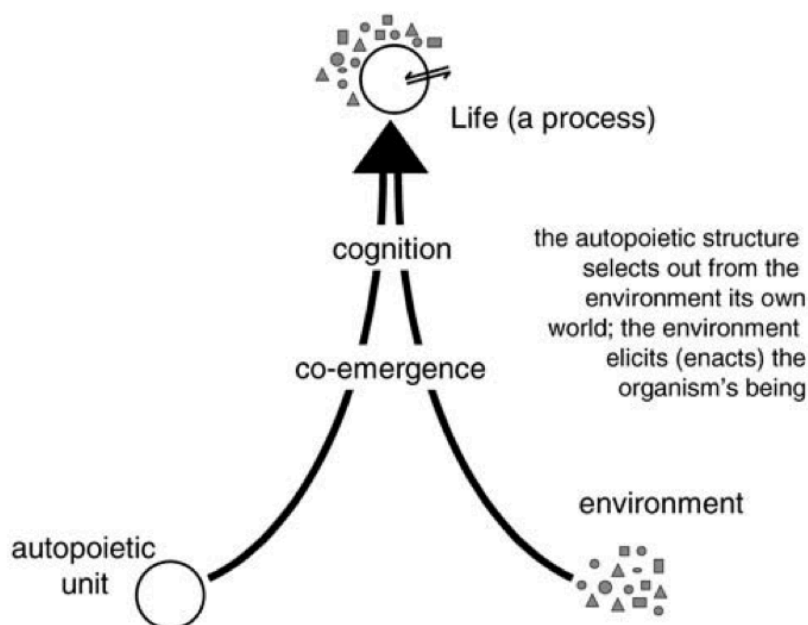


Figura 19: Representação gráfica do processo de co-emergência, segundo Luisi (2003).

Finalmente, os sistemas autopoieticos (iii) são também sistemas autônomos posto que são caracterizados por tal co-emergência dinâmica mas são especificados dentro de um domínio específico. Perceba que a noção de fechamento organizacional vai além do conceito de causa-efeito.

Vale à pena ressaltar que a noção de autonomia utilizada na abordagem enativa é fundamentalmente diferente da utilizada no campo da robótica e IA. Enquanto este último campo geralmente se interessa por uma forma de autonomia comportamental, o primeiro se interessa pela autonomia constitutiva, determinada pela autoconstrução de uma identidade sob condições precárias (FROESE, VIRGO e IZQUIERDO, 2007).

Perceba que isto não significa que a abordagem enativa, cujo foco é a autonomia constitutiva ignora os aspectos comportamentais. Froese e Ziemke (2009) apontam que a autonomia constitutiva, de fato, segue uma autonomia comportamental uma vez que (i) a autonomia constitutiva é fundamentalmente um processo de construção de identidade e (ii) esta identidade emergente dota, logica e mecanicamente, o ponto de referencia para um domínio de interações (MATURANA e VARELA, 1997). É, portanto, uma questão importante até que ponto a separação entre o domínio constitutivo e comportamental de um sistema autônomo pode ser justificada do ponto de vista da emergência e autopoiese.

Concluimos, portanto, esta seção destacando a necessidade de aprofundamento na pesquisa da inter-relação entre os conceitos de autopoiesis e emergência e como estes podem ser aplicados no desenvolvimento de agentes inteligentes capazes de demonstrar um comportamento criativo. Neste sentido, o foco é bem maior na construção cognitiva do agente do que no processo de implementação do agente em si.

SEÇÃO 3 | ARTelligent: Arte + Inteligência Artificial

Considerando o contexto discutido nas seções anteriores, foram desenvolvidos como parte prática desta dissertação dois projetos envolvendo IA: EvoTwitter, desenvolvido em conjunto com o Prof. Dr. José Fornari, membro do NICS⁴ e Geopartitura⁵, desenvolvido no Midialab. O primeiro diz respeito, como veremos à seguir, ao sistema evolutivo baseado em algoritmos genéticos que aceita inserções de material novo à partir do Twitter. Esta inserção de novo material juntamente com a aplicação dos operadores genéticos já discutidos faz com que este sistema autopoietico demonstre um comportamento emergente.

O segundo trabalho, em fase de conclusão, faz uma referência à arquitetura das redes neurais onde cada interagente é um neurônio, conectando-se aos demais e enquanto tanto recebe quanto gera estímulos que são traduzidos em som e imagem.

3.1. EvoTwitter

É espantosa a quantidade e variedade de ambientes onde é possível escutar o canto de pássaros. Pássaros trocam informações sonoras entre si, através de seus característicos cantos, formando sua rede de comunicação social, que constitui uma paisagem sonora. Tal textura de sons orgânicos, dinâmicos e similares, muitas vezes, se mescla com os ruídos urbanos de máquinas e pessoas, criando um ambiente imersivo cibernético (WIENER, 1968), composto pela interação entre agentes orgânicos e maquinais, formando um complexo sistema sonoro, emergente, auto-organizado e auto-similar.

A estrutura fisiológica que permite aos pássaros gerar cantos tão diversos e complexos é de sofisticação impar. Existem modelos computacionais já desenvolvidos de tal aparato orgânico (a siringe). Porém, os modelos computacionais

⁴ **NICS** (www.nics.unicamp.br) Núcleo Interdisciplinar de Computação Sonora (UNICAMP)

⁵ **Geopartitura** (www.geopartitura.wordpress.com) é um projeto envolvendo uma equipe constituída por membros do Midialab - Claudia Loch, Juliana Hilário, Gustavo Soares, Leonardo Guilherme, Victor Valentim, Ronaldo Ribeiro e Suzete Venturelli com participação de Camille Venturelli.

da siringe possuem um grande número de parâmetros de controle, o que, muitas vezes, torna a sua exploração manual dificultosa e até mesmo inarticulável.

Controlar um grande número de parâmetros simultaneamente é uma das tarefas de extrema complexidade que o cérebro realiza com larga facilidade. Um exemplo disto é o controle da posição e deslocamento corporal, e conseqüentemente, da expressão gestual, que é realizado pela maioria das pessoas praticamente de modo automático e até mesmo inconsciente. Uma alternativa de simular tal controle é através de modelos computacionais inspirados nas estratégias naturais e biológicas da resolução de tais problemas, como já discutido na seção 1. Para tanto, foi desenvolvido um modelo computacional utilizando algoritmos genéticos que permite não apenas o controle de um modelo de canto de pássaros, mas da simulação de um pequeno ecossistema destes, formado por um conjunto, denominado população, com tamanho variável de indivíduos, que são modelos computacionais de siringe.

Cada indivíduo é o instanciamento de uma sub-rotina em Pure Data⁶ (PD) de síntese sonora procedural, que realiza o modelamento físico do processo acústico onde o pássaro gera e modula o som do seu canto, ao invés de utilizar amostras de áudio de sons gravados dos pássaros. Tais indivíduos têm seu próprio genótipo, constituído por um arquivo de texto contendo os parâmetros utilizados para cada síntese sonora.

Dentro da população, os indivíduos nascem, reproduzem e morrem, compondo assim uma paisagem sonora evolutiva, dinâmica, cognitivamente similar e acusticamente sempre nova. Este é um sistema aberto e auto-organizado, que permite a geração espontânea de indivíduos, cada qual com o seu genótipo único, que jamais se repete.

Para tornar o sistema ainda mais interessante, foi estabelecido um segundo grau de liberdade a este sistema aberto. Além de permitir a livre evolução da população de indivíduos, este sistema também permite a intervenção externa do público, que pode inserir dinamicamente novo material genético na população evolutiva.

⁶ **Pure Data** (www.puredata.info) é um ambiente computacional desenvolvido por Miller Puckett, para síntese sonora em tempo real baseado em fluxo de dados.

Para viabilizar a interatividade simultânea de diversos usuários com este sistema evolutivo, utilizou-se o *microblog* conhecido por Twitter⁷. Conforme citado na introdução, a palavra *Twitter*, oriunda da língua inglesa, significa “silvar”, ou seja, *tweets* significam uma sucessão de pequenos sons emitidos pelos pássaros canoros. A metáfora aferida por tal nome, que compara o canto de pássaros com a comunicação de pequenos textos numa rede social, é de importância fundamental para a contextualização deste sistema, posto que descreve com precisão a filosofia por detrás do *microblog*. Os silvos dos pássaros inicialmente podem soar como algo aparentemente desprovido de significado ou ordem. Porém, o seu contexto é dinamicamente inferido pela cooperação entre as aves, que os emitem e os escutam. O mesmo se aplica ao Twitter: as inúmeras mensagens podem ser vistas como completamente inúteis e sem sentido, porém dependem ativamente do seu receptor para terem um significado global (DORSEY, 2009).

Segundo o criador da rede, Jack Dorsey (2009), a raiz conceitual do Twitter está ligada ao conceito de controle de tráfego onde carros e bicicletas que circulam devem notificar uns aos outros continuamente a fim de sinalizar onde estão, o que estão fazendo e o que pretendem fazer. O Twitter chama a postagem nele inserido de *tweet*, que significa literalmente um silvo de um pássaro. Cada *tweet* tem um limite de 140 caracteres, tamanho herdado das mensagens SMS (JAVA, SONG, *et al.*, 2007).

Utiliza-se esta metáfora dos pássaros como base poética fundamental para o desenvolvimento do EvoTwitter. É importante ressaltar que cada indivíduo corresponde a um novo objeto sonoro, ou seja, um novo canto de pássaro. Cada objeto sonoro tem um período de vida, onde pode reproduzir, ser selecionado e, por fim, morrer. A resultante sonora de todos os indivíduos ativos (vivos) a cada momento da evolução da população, conforme explicado adiante, se auto-organiza na forma de uma paisagem sonora (PS). Em paralelo, um outro modelo computacional, desenvolvido em Processing⁸, foi implementado para a geração de uma paisagem visual (PV) em correspondência à PS. Esta é controlada pelos mesmos genótipos, ou

⁷ **Twitter** (www.twitter.com) é uma rede social fundada em 2006 cujo foco é o serviço de *microblogging*, caracterizado pela curta extensão das mensagens.

⁸ **Processing** (www.processing.org) é uma linguagem de programação *open source* orientada a objeto e baseada em Java (www.java.com). Criada em 2001 por Casey Reas e Benjamin Fry para ensinar os fundamentos da programação dentro de um contexto visual (REAS e FRY, 2007).

seja, parâmetros dos modelos de síntese da sirene. Estes são compartilhados através do protocolo Open Sound Control⁹ (OSC) e complementam a experiência imersiva de criação dinâmica e interativa da PS, coletivamente composta e interativamente experimentada.

Um trabalho artístico correlato é o Ciberintervenção Urbana Interativa¹⁰ (2010), ilustrado na figura 20, cuja proposta relaciona o espaço-tempo das cidades e os espaços cibernéticos em rede através da exploração da estética do grafite no contexto da arte computacional. O CIURBI é um projeto audiovisual cujo resultado é completamente emergente: tanto o texto exibido quanto o som gerado dependem diretamente das interações realizadas via *twitter* e das inferências realizadas por meio de uma inteligência artificial (BARRETTO, 2010). Os *tweets* inseridos na rede social são captados e transformados em som e imagem que são, por sua vez, projetados em tempo real na cidade. O aplicativo CIURBI captura os *posts* inseridos pelos usuários, quebra a mensagem em palavras e as projeta na arquitetura da cidade. Além disso, alguns parâmetros do *tweet* controlam a síntese de áudio enquanto uma lógica difusa controla a velocidade com que os parâmetros são modificados (VENTURELLI, et al. 2010).

⁹ **Open Sound Control** (www.opensoundcontrol.org) é um protocolo para comunicação entre computadores, sintetizadores e dispositivos multimídia utilizando a arquitetura cliente/servidor cuja especificação encontra-se em Wright (2002).

¹⁰ **CIURBI** (www.ciurbi.wordpress.com) é um trabalho artístico desenvolvido no Midialab-UnB por Suzete Venturelli, Claudia Loch, Victor Valentim, Felipe Modesto, Ronaldo Ribeiro e Francisco Barretto.



Figura 20: Ciberintervenção Urbana realizada no Museu Nacional da República (2010).

3.1.1 O Som da Siringe

As aves canoras (aves que cantam) fazem parte da ordem biológica dos Passeriformes. Seus integrantes são chamados de pássaros ou passarinhos. O grupo é bastante numeroso e diversificado, com cerca de 5.400 espécies que representam mais da metade do total de espécies de aves catalogadas.

Os passeriformes se dividem em dois grupos: 1) Tyranni (Suboscines, ou "aves gritadoras"); 2) Passeri (Oscines, ou "aves canoras, que cantam"). Ambos possuem siringe, o órgão responsável pela produção e emissão de sons nos pássaros (CLARKE, 2004).

Diferente dos humanos, as aves canoras podem controlar independentemente cada pulmão, o que as permite simultaneamente inspirar com um pulmão enquanto expiram com o outro. Isto possibilita que estes animais gerem frases sonoras muito longas; que normalmente requereriam uma quantidade de ar bem acima da capacidade volumétrica de seus pulmões.

A siringe no pássaro, que é o correspondente da laringe humana, possui 3 grupos musculares que permitem constringir independentemente a traqueia e os 2 brônquios, modificando a intensidade e frequência do som produzido, conferindo aos

pássaros um imenso controle sobre os sons gerados. A siringe, figura 21, é localizada na extremidade final da traquéia, na união entre os 3 tubos (a traqueia e os 2 brônquios), onde é localizada a membrana timpânica; uma membrana cartilaginosa suspensa por uma cavidade; uma espécie de saco inflado de ar; chamado de saco clavicular.

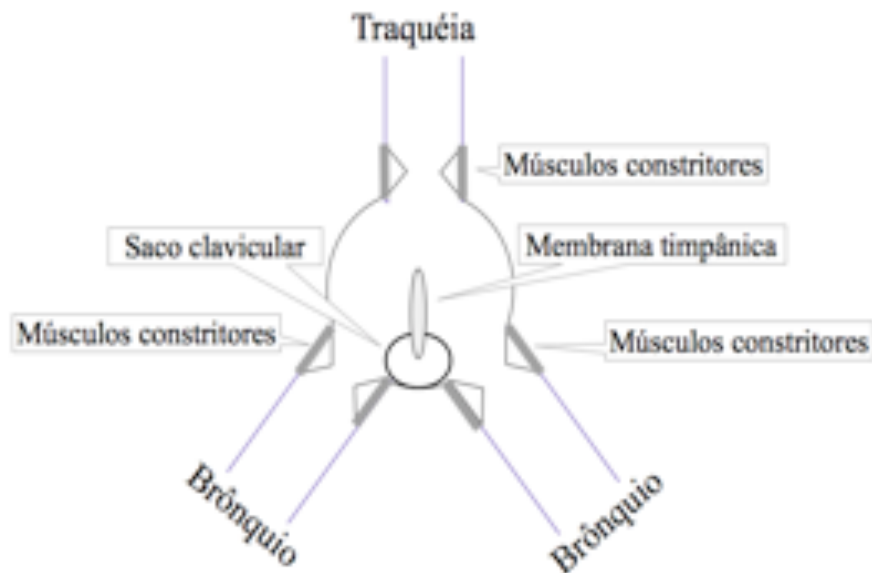


Figura 21: Diagrama esquemático do modelo da siringe.

Esta membrana pode mover-se lateralmente, de modo livre e rápido, sendo o principal oscilador da siringe e pode ser comparada com a palheta de um instrumento musical de sopro, como o oboé. Os pássaros canoros podem controlar tanto a entrada do fluxo de ar que entra no saco clavicular pela traqueia, como a sua saída pelos brônquios. Além disso, podem também controlar a rigidez da própria membrana, através de músculos similares aos dos lábios humanos (laterais e mediais). A Figura 21 mostra o diagrama esquemático de uma siringe, contendo os três grupos musculares independentemente controlados e a membrana timpânica, que é a fonte oscilatória de todo o sistema.

Diversos modelos computacionais de modelamento físico de síntese sonora simulando a geração de som realizada pela siringe foram desenvolvidos. Aqui nos baseamos no modelo computacional de Hans Mikelson, inicialmente desenvolvido para o Csound (MIKELSON, 2000). Este modelo foi posteriormente aperfeiçoado e implementado em PD por Andy Farnell, que criou um modelo computacional que simula a siringe, bem como o processamento sonoro dado pela traquéia e pelo bico

(FARNELL, 2010). Na figura 22, tem-se a imagem da estrutura em PD do modelo computacional da siringe. Este é um patch em PD da síntese procedural, que realiza o modelamento físico da síntese e controle de uma siringe, conforme observada na figura anterior. A figura 22 também contém a equação da síntese sonora, controlada por 5 parâmetros.

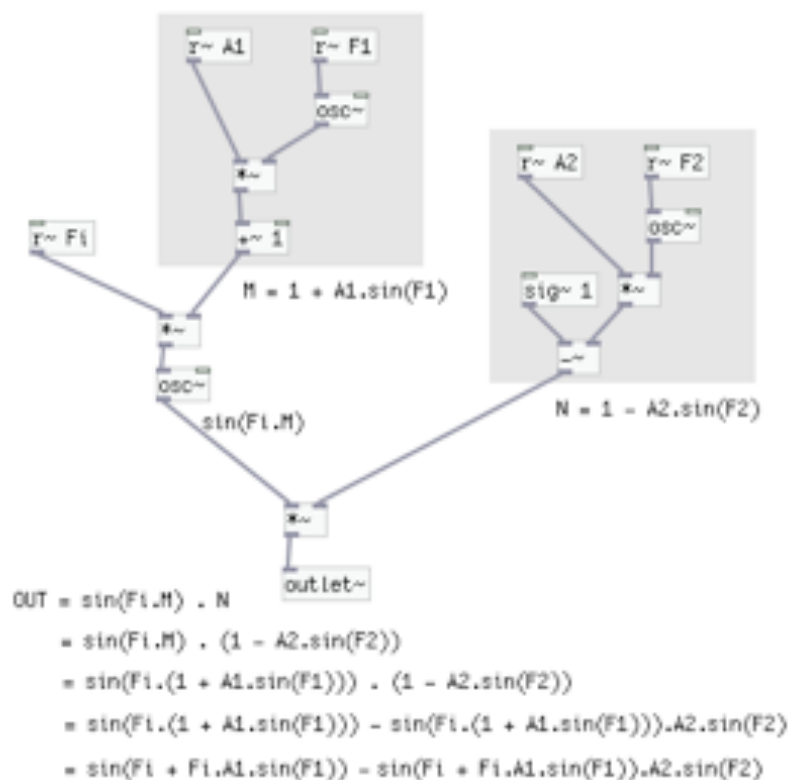


Figura 22: Algoritmo da síntese da siringe em Pure Data.

3.1.2 A Síntese Evolutiva

Existem diversos estudos de metodologias evolutivas alinhadas à criação de obras artísticas e musicais, tais como os sistemas: 1) VoxPopuli, um sistema capaz de gerar frases musicais complexas e harmônicas, utilizando operadores genéticos (MORONI, 2000); 2) RoBoser, um sistema que utiliza controle de distribuição adaptativa (CDA) para o desenvolvimento de uma correlação entre o comportamento adaptativo robótico e as composições algorítmicas (MANZOLLI, 2005); e 3) ESSynth, o método de síntese evolutiva de segmentos sonoros, utilizado em RePartitura, que insere mudanças na dinâmica sônica, utilizando operadores genéticos no processo de reprodução e à distância de Hausdorff (métrica de distância entre

conjuntos) como função de adequação (*fitness*) do processo de seleção (FORNARI, 2008).

A primeira implementação computacional do ESSynth já havia demonstrado sua característica de gerar sequências de segmentos sonoros perceptualmente similares, mas nunca idênticas, o que é um dos atributos primordiais de uma paisagem sonora (PS). Este sistema foi posteriormente aprimorado para também manipular a localização espacial dos indivíduos (os segmentos sonoros) a fim de criar uma paisagem sonora através do mapeamento de objetos gráficos, extraídos de uma série de desenhos conceituais, criando assim uma ponte entre paisagem sonora e visual (FORNARI, 2009).

Cada modelo de canto de pássaro é visto como um indivíduo na população do AG, onde o modelo de siringe utiliza 16 parâmetros de controle. Tais parâmetros correspondem aos genes do cromossomo, constituído por um vetor de 144 elementos, correspondente à mensagem do Twitter (*tweet*) recebido pelo sistema. A sequência dos alelos é composta de números entre 0 e 127, correspondente aos caracteres ASCII¹¹ da mensagem. O valor alocado em cada alelo corresponde ao valor ASCII de cada caractere, normalizado (entre 0 e 1) e cada grupo sequencial de 16 elementos equivalendo a um gene, que representa um bloco de parâmetros do modelo computacional da siringe, utilizado no algoritmo do indivíduo da síntese evolutiva. Temos assim 9 genes por DNA, correspondendo a 9 etapas de parametrização de cada modelo computacional da siringe.

Cada gene controla uma etapa no tempo, da parametrização do modelo computacional da siringe. Esta utiliza 16 parâmetros para controlar a síntese procedural. Os elementos são respectivamente:

- 1) articulação do bico,
- 2) taxa de aleatoriedade dos silvos,
- 3) frequência do primeiro formante da siringe,
- 4) amplitude do primeiro formante da siringe,

¹¹ **ASCII** é um acrônimo para American Standard Code for Information Interchange, que em português significa "Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação". Se trata de uma codificação de caracteres de oito bits baseada no alfabeto inglês. Os códigos ASCII representam texto em computadores, equipamentos de comunicação, entre outros dispositivos que trabalham com texto. Desenvolvida a partir de 1960, grande parte das codificações de caracteres modernas a herdaram como base.

- 5) frequência do segundo formante da siringe,
- 6) amplitude do segundo formante da siringe,
- 7) frequência de base,
- 8) extensão da variação da frequência de base,
- 9) taxa de modulação,
- 10) base da modulação,
- 11) primeiro formante da traquéia,
- 12) base do primeiro formante da traquéia,
- 13) segundo formante da traquéia,
- 14) base do segundo formante da traquéia,
- 15) ressonância do filtro da traquéia,
- 16) amplitude global.

A fim de criar uma PS auto-organizada, a função de adequação, ou *fitness*, é dada por uma métrica de distanciamento psicoacústico, constituindo o processo de seleção. Este processo mede a distância entre cada indivíduo da população e elimina aqueles mais distantes do *cluster* (grupo) populacional; o bando de indivíduos da população evolutiva mais próximos entre si, segundo tal métrica. Esta é calculada pela distância euclidiana entre os valores de 3 descritores psicoacústicos, tais como: *loudness* (L), clareza de *pitch* (P) e centroide espectral (E), conforme demonstrado na equação a seguir:

$$D = \sqrt{(L1 - L2)^2 + (P1 - P2)^2 + (E1 - E2)^2}$$

Além disso são utilizados os operadores genéticos tradicionais dos algoritmos genéticos: recombinação (*crossover*) e mutação. A recombinação, conforme discutido no item 1.2.1, mistura os valores dos genes entre os cromossomos de 2 indivíduos, criando assim um novo indivíduo com material genético híbrido. Os genes que serão misturados são escolhidos aleatoriamente. A mistura é a combinação convexa dos 16 elementos de cada gene. A taxa de mistura é determinada pela taxa de recombinação *tr*; um valor escalar, entre -1 e 1, que determina o grau de mistura entre genes dos indivíduos pais. Se *tr* = -1, os valores dos genes escolhidos para a formação do filho, serão idênticos aos de um dos pais. Por outro lado, se *tr* = 1, os valores dos genes escolhidos serão idênticos ao do outro pai. Se *tr* = 0, os valores dos genes escolhidos

para recombinação em C, serão a média aritmética dos 16 valores dos respectivos pais.

A mutação insere informação original no cromossomo do novo indivíduo. Este operador genético também possui uma taxa de mutação tm , entre 0 e 1, que determina o grau da variabilidade inserida no código genético do DNA do novo indivíduo. Essa variação é dada através de multiplicação do vetor de 144 elementos por um vetor de valores aleatórios, entre $[(1-tm), 1]$. Se $tm = 0$, não existe qualquer perturbação inserida no DNA recém-criado, uma vez que o DNA é multiplicado por um vetor de valores unitários. Se $tm = 1$, o vetor de multiplicação possui valores aleatórios entre $[0, 1]$ e assim a perturbação é máxima.

Os valores das taxas de recombinação e mutação, são contínuos, porém são normalmente mantidos em $tr = 0$ e $tm = 0.1$ a fim de representarem valores padrões de representação da atuação destes operadores genéticos no processo evolutivo do sistema.

3.1.3 A Paisagem Sonora e a Paisagem Visual

Paisagem sonora, ou *Soundscape*, é um termo cunhado por Murray Schafer, que se refere ao ambiente sônico imersivo percebido pelos ouvintes (SCHAFER, 1994). Deste modo, uma PS é, em si, o fruto da percepção sonora do ouvinte. Sendo assim, esta pode ser reconhecida por seus aspectos cognitivos, como: 1) Primeiro plano; 2) Plano de fundo; 3) Contorno; 4) Ritmo; 5) Espaço; 6) Densidade; 7) Volume e 8) Silêncio. De acordo com Schafer, PSs podem ser formadas por 5 categorias de conceitos sônicos analíticos. Elas são: 1) Tônicas; 2) Sinais; 3) Marcas sonoras; 4) Objetos sonoros e 5) Símbolos sonoros.

A tônica é formada pelos sons vivos e onipresentes, usualmente no plano de fundo da percepção do ouvinte. Sinais são os sons no plano de frente, que chamam a atenção consciente do ouvinte – uma vez que eles podem conter informações importantes. Marcas sonoras são os sons exclusivamente encontrados em cada PS. Objetos sonoros são os componentes atômicos de uma PS. Como definido por Pierre Schaeffer – que cunhou o termo – um objeto sonoro é um evento acústico formado por aspectos que levam o ouvinte a uma percepção sônica, particular e única. Símbolos sonoros são sons que evocam respostas cognitivas e afetivas, baseadas no contexto sociocultural e pessoal do ouvinte. A taxonomia usada por Schafer para

categorizar PSs baseadas em suas unidades cognitivas, nos serve adequadamente para descrevê-las, a partir de sua perspectiva macroestrutural, facilmente observada pelo ouvinte.

Essas unidades cognitivas são características emergentes do processo de auto-organização de sistemas complexos e abertos. Como tal, estas unidades podem ser encontradas e analisadas por descritores acústicos, mas não são suficientes para definir um processo real de geração de PSs. A fim de fazê-lo, é necessário definir não apenas a representação acústica de objetos sonoros, mas também as suas características intrínsecas, que podem ser usadas como uma receita para sintetizar um grupo de objetos sonoros semelhantes, mas sempre originais.

Em termos de sua geração, como parte de um ambiente comportamental, PSs podem ser vistas como sistemas auto-organizados, complexos e abertos, formados por objetos sonoros atuando como agentes dinâmicos. Juntos, estes orquestram um ambiente sonoro que é sempre original no âmbito acústico, mas que, perceptualmente, retém auto-similaridade suficiente para permitir sua discriminação, por similaridade cognitiva.

Concomitantemente, a paisagem visual, desenvolvida utilizando o Processing, também é baseada na metáfora dos pássaros, descrita por Jack Dorsey (2009). Enquanto na PS a metáfora se expressa no que tange o canto dos pássaros, para a PV se fez uso de uma expressão corporificada do indivíduo que se movimenta em um espaço virtual. Cada pássaro que consta na PS tem, então, uma representação visual. Considerando que haverá mais de um indivíduo na população e esses indivíduos deverão interagir entre si, se fez necessário um algoritmo capaz de mediar estas interações de forma mais natural possível. Para realizar tal tarefa, foi empregado aqui o algoritmo Boids, de simulação de bando, desenvolvido por Craig Reynolds em 1987.

O movimento sincronizado de um grupo de animais, como um bando de pássaros, demonstra vários contrastes. São formados por indivíduos independentes porém a movimentação geral é fluida: simples em conceito mas visualmente complexa. O movimento de bando pode ser definido de forma simplificada através de um modelo de indivíduo que siga três regras: (i) Evitar a colisão: deve evitar a colisão com outros indivíduos próximos, figura 23a; (ii) Equivalência de velocidade: deve tentar manter a mesma velocidade dos indivíduos próximos, figura 23b; (iii) Centro

do bando: deve tentar manter-se sempre próximo do centro do bando, figura 23c (REYNOLDS, 1987).

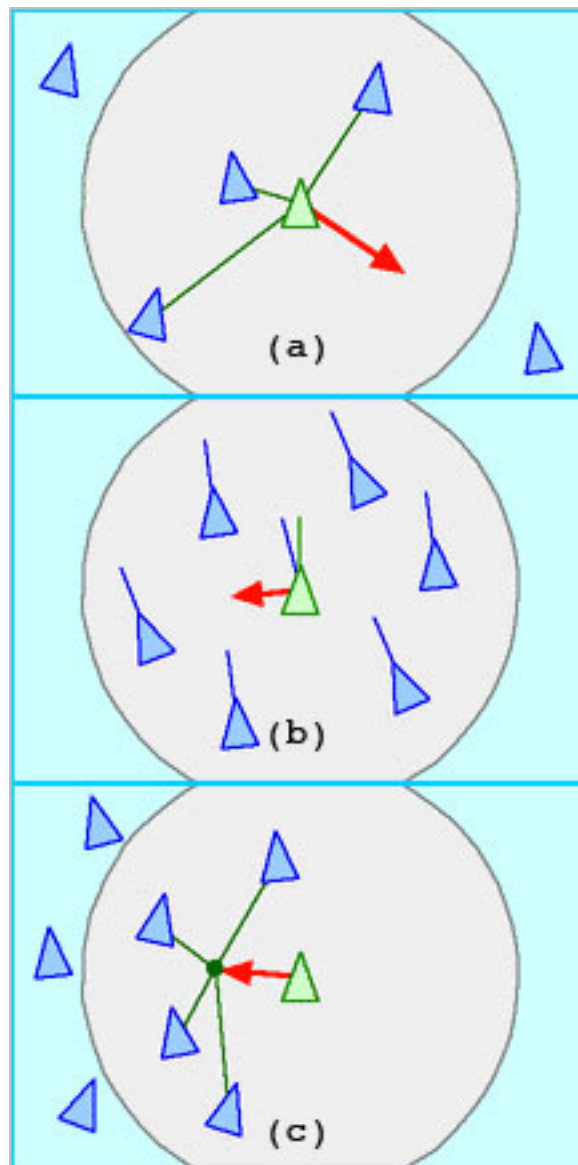


Figura 23: Representação das três regras básicas para simulação bando, definidas por Craig Reynolds (1987).

Além destas regras, outras podem ser implementadas para modular um comportamento do bando mais elaborado como, por exemplo, a necessidade de seguir um “líder”, atingir um dado objetivo ou desviar de obstáculos. Estas regras básicas foram utilizadas para modelar o comportamento do grupo de indivíduos que integra o sistema. A fim de manter uma correspondência fidedigna entre a PS e PV são trocadas mensagens de sincronização entre as partes (visual e sonora) através do protocolo

OSC. Além disso, cada pássaro é graficamente formado pelas palavras oriundas do *tweet* que o define enquanto indivíduo, figura 24.

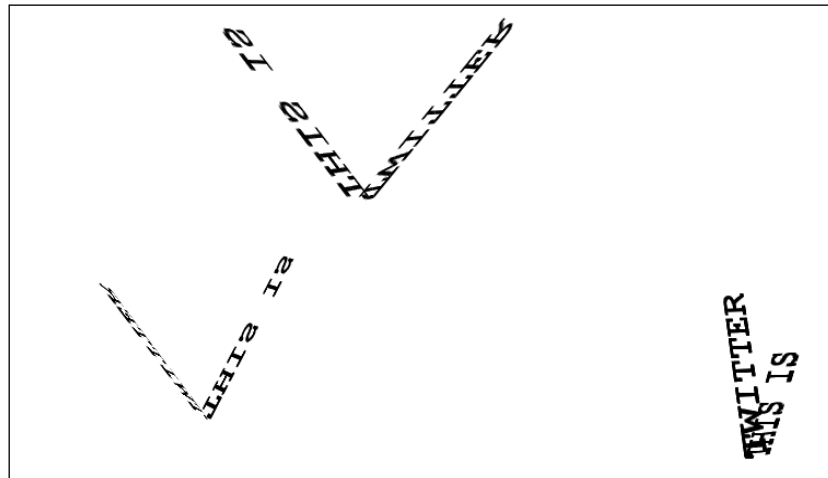


Figura 24: Exemplo de três pássaros virtuais, cujas asas são formadas pelo texto das respectivas mensagens (*tweets*).

3.2. Geopartitura

Cada vez mais os telefones celulares tem sido utilizados para compor paisagens sonoras em rede. *Dialtones – A Telesymphony* (2001), projeto elaborado por Golan Levin em colaboração com outros nove pesquisadores e apresentado durante o festival Ars Electronica de Linz é um bom exemplo, figura 25. O projeto diz respeito a um concerto cuja música foi produzida pelas campainhas dos celulares dos espectadores. Estes, deveriam previamente inscrever seu número telefônico em um quiosque WEB, recebendo em seguida um bilhete especificando o assento que deveriam ocupar no salão. Assim, cada espectador tendo um local e um número bem definidos, a partitura poderia ser executada com precisão. Cada vez que um celular era acionado uma luz se acendia sobre o espectador que o portava assim como era mostrado em uma projeção lateral o mapeamento de todos os celulares soando em tempo real.



Figura 25: Telesymphony, de Golan Levin (2001)

Dialtones é um concerto produzido integralmente com o som de aparelhos celular. O celular de quem está na platéia passa a fazer parte do concerto, o celular será o instrumento. Para participar da obra, os espectadores têm que registrar seus celulares em quiosques do grupo momentos antes da performance. Em troca, recebem entradas com assentos específicos e novos toques musicais são automaticamente transferidos para seus aparelhos. Estes toques serão utilizados durante a apresentação. Durante o “concerto” os telefones tocam, coreografados pelo grupo de músicos através do software músico-visual especialmente desenvolvido para o espetáculo. Quando um telefone é acionado, um spot de luz se acende em cima do seu assento e todos os participantes podem ver através de um grande espelho – 6x12 metros – instalado acima da platéia. São instalados também dois telões laterais, nos quais é possível visualizar a interface do software, com todos os assentos registrados; aqueles iluminados são os que estão com os celulares ativos.

O segundo estágio da performance contempla a apresentação solo por um membro do grupo, Scott Gibbons, que utiliza dez aparelhos celulares amplificados, mas não modificados. Na última parte da apresentação, o solista toca junto com a platéia. Nesta terceira fase, são ativados sessenta telefones móveis ao mesmo tempo – número correspondente à máxima quantidade de aparelhos que o software permite tocar simultaneamente – e, de repente, esses celulares são substituídos por aqueles que estavam silenciosos, numa sinfonia crescente, que faz com que em alguns segundos todos os celulares da platéia tenham tocado.

Outro projeto que relaciona música e mídias móveis é “Sonic City”, criado de forma colaborativa entre o Future Applications Lab (laboratório do Instituto Viktoria) e o PLAY Studio (Instituto de interatividade), na Suécia. É uma nova forma de música interativa, que utiliza o espaço urbano como interface, permitindo que o usuário crie música eletrônica de forma pessoal, andando e interagindo com o ambiente (GAYE, MAZE e HOLMQUIST, 2003).

O projeto Geopartitura, figura 26, projeto foi desenvolvido num processo transdisciplinar, unindo sociologia, arquitetura, engenharia acústica, computação ubíqua, design, inteligência artificial e arte musical. Além disso, este projeto aponta para questões emergentes envolvendo a música, a geografia e dispositivos móveis, como celulares, para permitir a criação coletiva georreferenciada de um sistema multimídia em tempo real. O geoposicionamento de cada celular permitirá ao sistema conectar cada aparelho aos demais, dentro de um raio de "descoberta", criando para cada conexão estabelecida uma corda virtual que vibra e soa de acordo com a distância entre os pontos.

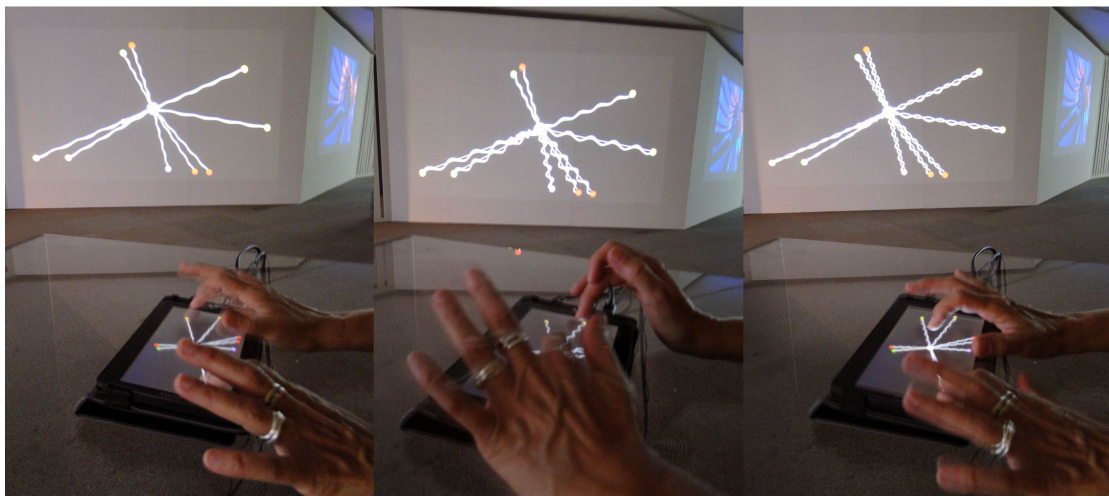


Figura 26: Geopartitura em exposição durante o 10º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia, Brasília. (2011)

O Geopartitura tem como referência as ideias das marcações sonoras, oriundas da música eletroacústica e da música computacional que historicamente vem rompendo as fronteiras da música tradicional para buscar a interatividade pela participação do público. O sistema geopartitura utiliza mídia locativa que, para André Lemos (2007), é definida como um conjunto de tecnologias e processos informacionais cujo conteúdo informacional vincula-se a um lugar específico.

Locativo é uma categoria gramatical que exprime lugar, como “em”, “ao lado de”, indicando a localização final ou o momento de uma ação. As mídias locativas são dispositivos informacionais digitais cujo conteúdo da informação está diretamente ligado a uma localidade. Trata-se de processos de emissão e recepção de informação a partir de um determinado local. A mídia móvel é a mídia sempre transportada, sempre ligada e sempre presente no ponto de impulso criativo.

Por meio do sistema, o interagente visualiza em forma de projeção no espaço urbano uma cartografia que surge a partir das conexões de todos os indivíduos detectados pelo sistema em tempo real. Estas cordas virtuais entre os interagentes, geradas pelo sistema, produzem sons quando tocadas. Poeticamente, geopartitura está relacionado com a existência de um *ritmo* no universo do conhecimento que conduz a música e a imagem em suas diferentes formas de manifestação.

A palavra geopartitura tem origem na junção das palavras geografia e partitura. A Geografia é a ciência que estuda o espaço, ou seja, busca o significado dos lugares, sendo assim contribui significativamente com a sociedade, na reorganização de seus espaços e de suas formas de interação com o ambiente. Partitura significa uma representação escrita de música padronizada universalmente.

Murray Schafer, escritor e compositor canadense afirma que com a sociedade aprendemos como o homem se comporta com os sons e de que maneira estes afetam e modificam o seu comportamento. Com as artes, e particularmente com a música, aprenderemos de que modo o homem cria paisagens sonoras ideais para aquela outra via que é a da imaginação e da reflexão psíquica (1997 p. 18). Para o autor, com o acelerado processo de industrialização, o mundo sofre uma superpopulação de sons, convivemos cotidiana e passivamente com uma imensa quantidade de informações sonoras, o que tem chamado a atenção de cientistas em várias partes do mundo.

O sistema geopartitura leva em consideração a filosofia da música eletroacústica, no que concerne a ideia da paisagem sonora, já discutida anteriormente, pois envolve na paisagem a ampliação do conceito pela inclusão de outros sentidos como a visão, na construção coletiva e interativa do concerto. Este concerto aplica tecnologias cibernéticas como instrumento de diálogo com as pessoas que estão adensadas num espaço urbano por meio de seus celulares, de maneira crítica, pois utiliza o dispositivo móvel para expressão estética.

As paisagens sonoras geradas como concerto são a base para a composição de uma cartografia subjetiva que mapeia por meio de sons, arte e tecnologia o

nomadismo humano físico, cultural, econômico e social. São detectados os pontos-chave da cartografia sonora de cada indivíduo ou transeunte, ou seja, forças de interferência na malha sonora projetada no contexto urbano, resultado de uma deriva pela cidade, deixando o acaso trabalhar.

O sistema geopartitura está inserido no campo da arte computacional. Segundo Suzete Venturelli (2004) a arte no contexto das novas tecnologias data do início do século XIX a partir do advento da fotografia e, posteriormente, do vídeo. Já a arte computacional envolve procedimentos lógico-matemáticos e atualmente relaciona especialmente arte e ciência da computação, cuja principal característica é a interatividade. A arte computacional está vinculada ao desenvolvimento das linguagens de programação e dos computadores, sistemas imprescindíveis para os artistas que produzem na área. O desenvolvimento da arte interativa deu-se neste contexto.

Segundo Plaza (1998) a interatividade é o intermediário entre homem e máquina que permite a sinergia, ou seja, a ação coordenada desses elementos. Como afirma Plaza e Tavares (1998), através do modo interativo, o modelo é aberto ao mundo exterior e deixa de funcionar em circuito fechado. “A interatividade como relação recíproca entre usuários e interfaces computacionais inteligentes, suscitada pelo artista, permite uma comunicação criadora fundada nos princípios de sinergia, colaboração construtiva, crítica e inovadora” (PLAZA, 1998, p.35). Portanto, sem o interagente a obra não acontece.

Os interagentes utilizam o sistema geopartitura para relacionar imagem e som, no *ritmo* no universo do conhecimento que conduz a dança de suas diferentes formas de manifestação. Alguns autores, como Fritjof Capra, em “O Tao da Física” (1991), e Gary Zukav, em “A Dança dos Mestres Wu Li” (1979), já se dedicaram a observar a existência desse *ritmo* no universo do conhecimento. Gary Zukav explora essa sintonia entre os novos caminhos da física e o misticismo oriental. O caminho sugerido é duplo: a ciência busca teorias tão amplas sobre o universo que acaba por tangenciar a sabedoria do oriente, onde ciência, religião, arte e filosofia não são entidades que se pode distinguir com clareza. A ciência também toma esse rumo no momento em que a modernidade começa a permitir uma comunicação maior entre os “cantos” da Terra, sugerindo-se a hipótese de que o oriente pode, de alguma maneira, ter nos colocado novos problemas sobre o universo.

Em relação a esse ritmo, o compositor H. J. Koellreutter desenvolveu uma nova forma de organização, denominada forma sinerética. Koellreutter (1990) descreve *sinérese* como o "resultado de um processo de percepção transracional que produz o sentido de unidade, integrando os elementos em um todo." Koellreutter utiliza a forma sinerética para organizar suas músicas.

O livro "*La danse de l'univers*", de Marie-Simone Detoef busca compreender como esse ritmo pode estar sendo compartilhado pela arte e pela física contemporânea. Sua proposta é um tanto singela: ela sugere essa relação sem se preocupar com suas determinações. "Quando a realidade se faz tão minúscula e tão movediça que nenhum olhar, nenhum instrumento pode dar uma imagem, como apresentá-la? É a arte, através de sua poesia e seu poder de sugestão, que nos ajudará a evocar esse mundo invisível". (DETOEUF, 1986, p.11). Esta realidade minúscula pode ser considerada quando comparamos a localidade pessoal em relação ao globo. Esta relação invisível poderá ser visualizada através da geopartitura, a emissão e recepção de informação a partir de um determinado local onde será feita a intervenção urbana.

CONCLUSÃO

Depois da realização da pesquisa, em função do grau de inovação científica e tecnológica atual da área da IA e da Arte e Tecnologia, constatou-se que ainda há relativamente pouca produção teórica e prática pertinentes à finalização e apresentação no circuito artístico, suscitando também um questionamento importante sobre qual a razão disto: restrições técnicas, restrições teóricas, restrições financeiras, etc.

Estes resultados parciais nos remetem à possibilidade do desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de demonstrar comportamento criativo através de modelos computacionais baseados nas técnicas de IA. Esta simulação da criatividade é discutida por Peter Cariani (2009) e foi desenvolvida na seção 2. No entanto é possível verificar as relações entre IA, emergência e autopoiese não apenas na base sobre a qual se apoiam estes conceitos (psicologia, biologia, computação, arte) mas também do ponto de vista epistêmico. Estes conceitos, quando combinados, podem gerar sistemas artísticos inteligentes, ARTelligent, capazes de produzir resultados esteticamente novos.

Para concluir, seria interessante listar algumas possibilidades de desafios para pesquisas futuras. A compreensão teórica do comportamento inteligente seria uma delas posto que apesar de mais de meio século de pesquisas no campo da IA, ainda falta um conhecimento aprofundado dos mecanismos que controlam, facilitam ou permitem um comportamento inteligente. Com esta pesquisa busca-se clarear um pouco esta questão através da luz da autopoiese e da emergência como fundamentos para a cognição e inteligência.

A obtenção de níveis mais elevados de inteligência através do desenvolvimento é um outro desafio que fica evidente nesta pesquisa. As manifestações inteligentes em níveis mais baixos, como as formigas, podem nos prover um bom início para a pesquisa neste sentido. Os modelos automatizados cuja morfogênese é definida através da evolução é um outro desafio enorme. A automação do design de artefatos que devem relacionar-se com o meio (físico ou virtual) apresentam um desafio adicional à tarefa. Ao desenvolver este tipo de artefatos, devemos ter em mente a interação entre ambiente, morfologia, materiais e controle.

A mudança destes artefatos para o mundo real, para que evoluam interagindo com o meio, apresenta mais um desafio para o campo posto que as pesquisas atuais apontam que a simulação destes experimentos só tem sido realizada em laboratórios de pesquisa e encontram-se em um estágio inicial e, portanto, ainda não podem ser utilizados para simular o crescimento de artefatos sofisticados (PFEIFER e GOMEZ, 2005).

Antes de concluirmos esta pesquisa, deve-se também levantar a questão de como a emergência e o design de agentes podem caminhar juntos. Uma vez que temos um sistema cujo comportamento é baseado em regras simples como as formigas (que deixam um rastro químico e tem uma tendência a seguir na direção com maior concentração de feromônio) ou como os veículos simples de Braitenberg, fica mais simples verificar o comportamento emergente do sistema pois basta executá-lo. Neste sentido, não há grandes mistérios sobre a emergência e, assim, podemos prover uma explicação racional sobre como os veículos reagem à luz, por exemplo.

Neste sentido, Pfeifer e Bongard (2007) apontam que se um certo comportamento é desejado, elaborar as regras que levarão ao comportamento desejado é mais difícil do que explicar o comportamento quando o sistema é executado. O design visando a emergência ainda é uma questão em aberto sobretudo no que tange a forma como isso sistematicamente deve ser feito. Nas pesquisas recentes o design para emergência está mais para uma forma de arte do que para uma disciplina rígida com regras bem definidas. Isto se deve ao fato de que o comportamento por si só não pode ser pré-programado mas é sempre o resultado de uma interação agente-ambiente, portanto, devemos projetar o artefato objetivando os resultados emergentes em detrimento de tentar especificar o comportamento em si. Em alguns casos, isto pode ser mais simples do que em outros mas ainda permanece um processo complexo posto que devemos considerar inúmeros fatores, inclusive os que não conhecemos, dotando o agente/sistema da capacidade cognitiva que emerge da relação entre ele e o meio.

Pfeifer e Bongard (2007) apontam algumas evidências de que a utilização dos princípios de design de sistemas inteligentes, listados anteriormente, podem ser úteis enquanto heurística. Neste sentido, a área da evolução artificial, ou computação evolutiva, tem revelado-se como um campo fértil de experimentação.

Em alguns experimentos, comportamentos e estruturas extremamente complexos tem emergido de sistemas evolutivos relativamente simples. Utilizando o

conceito de emergência, na computação evolutiva particularmente, nós podemos desenvolver de forma automatizada sistemas mais complexos do que seria possível se tivéssemos que especificar todo o comportamento. Para o pesquisador Inman Harvey, da Universidade de Sussex, “*Design is out, evolution is in!*” (apud. PFEIFER e BONGARD, 2007). Talvez se quisermos criar sistemas realmente complexos a única saída seja abandonar o design baseado apenas no projetista humano e utilizar ferramentas como os algoritmos genéticos e as redes neurais.

No entanto, devemos ter em mente que ao utilizar a computação evolutiva, como ferramenta de design, tornamos um pouco mais difícil a compreensão e explicação dos resultados emergentes obtidos. Como um exemplo extremo desta dificuldade podemos citar o cérebro humano cuja estrutura complexa é fruto da evolução e a compreensão do funcionamento é extremamente difícil e custosa.

Pode ser que mesmo os sistemas evolutivos não nos ajudem formar uma compreensão abrangente do que é a inteligência e como ela se manifesta se for o caso de nos depararmos com uma porção de artefatos inteligentes que desempenham tarefas extremamente complexas através de comportamentos emergentes que não conseguimos explicar. No entanto isto não pode ser fator impeditivo para o prosseguimento da investigação de como estes conceitos se relacionam e como, através da interação entre eles, pode-se avançar na pesquisa sobre a criatividade computacional através da cognição em agentes inteligentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKCORA, C. G., & DERMIBAS, M. (2010). *Twitter: Roots, Influence, Applications*. Technical, State University of New York at Buffalo, Department of Computing Science and Engineering, New York.
- ARANTES, P. (2005). *@arte e Mídia: perspectivas da estética digital*. São Paulo: Editora Senac São Paulo.
- BARR, A., & FEIGENBAUM, E. A. (1986). *The Handbook of Artificial Intelligence*. Addison-Wesley Pub.
- BARRETTO, F. P. (2010). Arte Inteligente: Abordagens para o Desenvolvimento de Sistemas Criativos. In S. Venturelli (Ed.), *Anais do 9º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia* (pp. 171-180). Brasília.
- BEAUCHAMP, J. (1996). *School of Music - Music 4C*. Retrieved 2009 03-Outubro from University of Illinois at Urbana-Campaign Website: http://ems.music.uiuc.edu/beaucham/software/m4c/m4c_intro_html/M4C_intro.html
- BILES, J. A. (1994). GenJam: A Genetic Algorithm for Generating Jazz Solos. *Proceedings of The International Computer Music Conference*, (pp. 131-137).
- BOURGINE, P., & STEWART, J. (2004). Autopoiesis and Cognition. *Artificial Life*, 10 (3), 327-345.
- BREEDLOVE, S. M., ROSENZWEIG, M. R., & WATSON, N. V. (2007). *Biological Psychology: an introduction to behavioral, cognitive and clinical neuroscience*. Sinauer Associates.
- CABIN (Org.), P. (1998). *La Communication: etat des savoirs*. Sciences Humaines Éditions.
- CAPRA, F. (1991). *O Tao da Física*. São Paulo: Cultrix.
- CARIANI, P. (2009). Emergência e Criatividade. In Itaulab, *Emoção Artificial 4.0* (pp. 21-41). São Paulo: Itáu Cultural.
- CASTELLS, M. (1999). *A Sociedade Em Rede* (Vol. 1). Paz e Terra S.A.
- CLARKE, J. A. (2004). Morphology, Phylogenetic Taxonomy and Systematics of Ichthyornis and Apatornis (Avialae: Ornithurae). *Bulletin of American Museum of Natural History* 286, pp. 1-179.

- CORNÉER, O., & LÜBCKE, M. (2006). *Bacterial Orchestra*. Retrieved Novembro 12, 2011, from Cornéer & Lubcke Website: <http://www.corneerlubcke.com/works/bacterial-orchestra/>
- COUCHOT, E. (2003). *A Tecnologia Na Arte: da fotografia à realidade virtual*. Editora UFRGS.
- CRAIK, K. J. (1943). *The Nature of Explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- DEBRAY, R. (1993). *Vida e Morte da Imagem: uma história do olhar no Ocidente*. (G. Teixeira, Trans.) Editora Vozes.
- DETOEUF, M. S. (1986). *La Danse Dans L'univers*. Paris: Glacs.
- DI SCIPIO, A. (2003). Sound is the interface: from interactive to ecosystemic signal processing. *Organised Sound*, 8 (3), 269-277.
- DICK, P. K. (Writer), & SCOTT, R. (Director). (1982). *Blade Runner: o caçador de androids* [Motion Picture]. USA: Warner Bros.
- DOLSON, M. (1989). Machune Tongues XII: neural networks. *Computer Music Journal*, 13 (3), 28-40.
- DOMINGUES, D. (1997). *A Arte no Século XXI: a humanização das tecnologias*. Editora UNESP.
- DOMINIQUE, d. B. (1997). Espécies de Espaços. In D. DOMINGUES, *A Arte no Século XXI* (pp. 195-200). São Paulo: Fundação UNESP.
- DORSEY, J. (2009, February 18). *Twitter creator Jack Dorsey illuminates the site's founding document*. (D. Sarno, Producer) Retrieved May 17, 2010, from L.A. Times: <http://latimesblogs.latimes.com/technology/2009/02/twitter-creator.html>
- ECO, U. (2004). *Apocalípticos e Integrados*. Perspectiva.
- EIBEN, A. E., & SMITH, J. E. (2007). *Introduction do Evolutionary Computing* (2nd Edition ed.). Springer.
- FARNELL, A. (2010). *Designing Sound*. Massachusetts: MIT Press.
- FERNANDES, A. M. (2008). *Inteligência Artificial: noções gerais*. Florianópolis, Santa Catarina: VisualBooks.
- FLICHY, P. (1997). *Une Histoire de La Communication Moderne: espace public et vie privée*. Paris: La Découverte.
- FLUSSER, V. (1983). *Ensaio Sobre a Fotografia*. (A. Machado, Trans.)
- FORNARI, J., MAIA, A., & MANZOLLI, J. (2008). Soundscape Design Through Evolutionary Engines. *Journal of The Brazilian Computer Society*, 14, 51-64.

- FORNARI, J., SHELLARD, M., & MANZOLLI, J. (2009). Creating Evolutionary Soundscapes with Gestural Data. *6th Brazilian Music Computing Proceedings*. SBC.
- FREED, A., MOMENI, A., & WRIGHT, M. (2003, May). OpenSound Control: State of the Art. *Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression* , 153-160.
- FROESE, T., & ZIEMKE, T. (2009). Enactive artificial intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind. *Artificial Intelligence* , 173 (3-4), 466-500.
- FROESE, T., VIRGO, N., & IZQUIERDO, E. (2007). Autonomy: a review and a reappraisal. *Advances in Artificial Life: Proc. of the 9th Euro. Conf. on Artificial Life* (pp. 455-464). Berlin: Springer-Verlag.
- GARDNER, M. (1970, October). The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". *Scientific American* , 223, pp. 120-123.
- GAYE, L., MAZE, R., & HOLMQUIST, L. (2003). Sonic City: the urban environment as a musical interface. *International Conference on New Interfaces for Musical Expression*. Montreal.
- GIBSON, W. (2003). *Neuromancer*. São Paulo: Aleph.
- HOLLAND, J. H. (1975). *Adaptation In Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor, Michigan: The University of Michigan Press.
- HOLLAND, J. Studying Complex Adaptative Systems. *Journal of Systems, Science and Complexity* , 19, 1-8.
- JACOB, B. L. (1995). Composing With Genetic Algorithms. *Proceedings of The International Computer Music Conference*, (pp. 454-455).
- JAVA, A., SONG, X., FININ, T., & TSENG, B. (2007, August 12). Why We Twitter: Understanding Microblogging Usage and Communities. (C. S. Engineering, Ed.) *Proceedings of the Joint 9th WEBKDD and 1st SNA-KDD* .
- JEFFERSON, G. (1949, Junho 25). The Mind of Mechanical Man. *British Medical Journal* .
- JOHANSON, B., & POLI, R. (1998). GP-Music: an interactive genetic programming system for music generation with automated fitness raters. *Proceedings of the Third International Conferede on Genetic Programming*.
- JOHNSON, S. (1997). *Cultura da Interface: como o computador transforma a nossa maneira de criar e comunicar*. Nova York: Jorge Zahar Editor.
- KANDEL, A. (1992). *Fuzzy Expert System*. Florida: CRC Press.

- KAY, S. M. (1981 йил Novembro). Spectrum Analysis - a modern perspective. *Proceedings of The IEEE* , 69, pp. 1380-1419.
- KELLNER, D. (1995). *A Cultura da Mídia*. EDUSC.
- KOCK, N. (2004). The Psychobiological Model: towards a new theory of computer-mediated communication based on Darwinian evolution. *Organization Science* , 327-348.
- KOELLREUTTER, H. J. (1985). O centro da pesquisa de musica contemporânea da Escola de Música da UFMG: uma nova proposta de ensino musical. *Anais do II Encontro Nacional de Pesquisa em Música*. São João Del Rei.
- KOELLREUTTER, H. J. (1990). *Terminologia de uma nova estética da música*. Porto Alegre: Novas Metas.
- KUBRICK, S., CLARKE, C. A. (Writers), & KUBRICK, S. (Director). (1968). *2001: Uma Odisséia no Espaço* [Motion Picture]. USA/UK.
- KUJAWSKI, G. (2009). Emergência - a expressão do inesperado. In Itaulab, *Emoção Artificial 4.0* (pp. 15-19). São Paulo: Itaú Cultural.
- LANGTON, C. G. (1989). Artificial Life. *Artificial Life: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*. 4, pp. 1-47. Redwood City: Addison-Wesley Pub. Co.
- LAURENTIZ, S. (2007). A Poética dos Recursos Computacionais que Simulam a Vida. *Anais do 6º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia*. Brasília: UnB.
- LEMO, A. (2007). Mídias Locativas e Territórios Informacionais. In P. ARANTES, & L. SANTAELLA, *Estéticas Tecnológicas*. São Paulo: PUC-SP.
- LEVIN, G. (2000). *Painterly Interfaces for Audiovisual Performance*. Massachusetts Institute of Technology.
- LÉVY, P. (2008). *Cibercultura*. São Paulo: Editora 34.
- LOURENÇO, B. F., RALHA, J. C., & BRANDÃO, M. C. (2009). L-Systems, Scores and Evolutionary Techniques. *Proceedings of The 6th Brazilian Music Computing Conference*. Sociedade Brasileira de Computação.
- LUGER, G. F. (2004). *Inteligência Artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos*. (P. Engel, Trans.) Bookman.
- LUISE, P. L. (2003). Autopoiesis: a review and a reappraisal. *Naturwissenschaften* , 90 (2), 49-59.
- LYNDENMAYER, A. (1968). Mathematical models for cellular interaction in development. *Journal of Theoretical Biology* , 18, 280-315.

- MANZOLLI, J., & VERSCHURE, P. (2005). Roboser: a real-world composition system. *Computer Music Journal* , 29, 55-74.
- MATEAS, M. (2002). *Interactive Drama, Art and Artificial Intelligence*. Pittsburgh.
- MATURANA, H., & VARELA, F. (1997). *De Máquinas e Seres Vivos: a organização do vivo* (3rd Edition ed.). Porto Alegre: Artes Médicas.
- MCCULLOCH, W., & PITTS, W. (1943). A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* , 5, pp. 115-133.
- MIKELSON, H. (2002). Bird Calls. *Csound Magazine* .
- MINKSY, M. (1988). *The Society of Mind*. Simon & Schuster.
- MORONI, A., MANZOLLI, J., VON ZUBEN, F., & GUDWIN, R. (2000). Vox Populi: an interactive evolutionary system for algorithmic music composition. *Leonardo Music Journal* , 10, 49-54.
- MOSS, B., & WARDRIP-FRUIIN, N. (2002). The Impermanence Agent: Project and Context. *Performing Arts Journal* , 24 (1), 52-83.
- NEGROPONTE, N. (1995). *A Vida Digital*. Companhia Das Letras.
- NEWELL, A., & SIMON, H. A. (1976). Computer Science as Empirical Inquiry: symbols and search. *ACM Turing Award Lecture. 19*, pp. 113-126. Communications of the ACM.
- NICOLESCU, B. (2006). *O Manifesto da Transdisciplinaridade* (4ª Edição ed.). Editora Triom.
- PAUL, C. (2008). *L'Art Numérique*. Thames & Hudson.
- PEIXOTO, N. B. (2004). *Paisagens Urbanas*. São Paulo: SENAC.
- PFEIFER, R. (1996). Building 'Fungus Eaters': Design Principles of Autonomous Agents. 4: *Proc. of the 4th Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior* (pp. 3-12). Cambridge: The MIT Press.
- PFEIFER, R., & BONGARD, J. (2007). *How the Body Shapes the Way We Think: A New View of Intelligence*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- PFEIFER, R., & GOMEZ, G. (2005). Interacting with the real world – design principles for intelligent systems. *Artificial Life and Robotics* , 9 (1), 1-6.
- PFEIFER, R., IIDA, F., & BONGARD, J. (2005). New Robotics: Design Principles for Intelligent Systems. *Artificial Life* , 11 (1-2), 99-120.
- PLAZA, J. (1998). Arte e Interatividade: autor-obra-recepção. *Revista do Mestrado em Arte* , 3 (3), 29-42.

- PLAZA, J., & TAVARES, M. (1998). *Processos Criativos Com os Meios Eletrônicos*. São Paulo: Hucitec.
- POHLMANN, K. C. (2002). *Principios de Audio Digital*. Madrid: Espanha.
- PRADO, G. (1997). Arte e Tecnologia: produções recentes no evento 'A Arte no Século XXI'. In D. DOMINGUES, *Arte no Século XXI: a humanização das tecnologias* (pp. 243-246). São Paulo: Editora da Unesp.
- PRUSINKIEWICS, P., & LINDENMAYER, A. (1990). *The Algorithmic Beauty of Plants*. Nova York: Springer-Verlag.
- RAMALHO, G. (1997). *Construction d'un Agent Rationnel Jouant du Jazz*. Thesis, Université Paris VI.
- REAS, C., & FRY, B. (2007). *Processing: a programming handbook for visual designers and artists* (1st Edition ed.). London, England: The MIT Press.
- REYNOLDS, C. W. (1987). Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *ACM SIGGRAPH '87 Conference Proceedings*. 21, pp. 25-34. Anaheim - California: Computer Graphics.
- RICH, E., & KNIGHT, K. (1993). *Artificial Intelligence*. Nova Iorque: McGrawHill.
- RINALDO, K. (1994). *The Flock: Artificial Life Sculpture*. Retrieved October 23, 2011, from Kenneth Rinaldo Website: <http://www.ylem.org/artists/krinaldo/works/flock/>
- RINALDO, K. (2000). *Autopoiesis: Artificial life robotic sculpture installation*. Retrieved October 23, 2011, from Ken Rinaldo Official Website: <http://accad.osu.edu/~rinaldo/works/autopoiesis/autopoiesis.html>
- ROADS, C. (1996). *The Computer Music Tutorial*. Massachusetts: MIT Press.
- ROLNIK, S. (1989). *Cartografia Sentimental, Transformações Contemporâneas do Desejo*. São Paulo: Estação Liberdade.
- ROWE, R. (2001). *Machine Musicianship*. Massachusetts: The MIT Press.
- RUSSEL, S., & NORVIG, P. (2003). *Artificial Intelligence: a moder approach*. New Jersey: Prentice Hall.
- SANTAELLA, L. (2003). *Culturas e Artes do Pós Humano*. Paulus.
- SANTAELLA, L., & NOTH, W. (2004). *Comunicação e Semiótica*. Hacker Editore.
- SCHAFFER, M. R. (1994). *The Soundscape: our sonic environment and the soundscape*. Destiny Books.
- SCHAFFER, R. M. (2001). *A Afinação do Mundo*. São Paulo: UNESP.

- SCHMEDER, A., FREED, A., & WESSEL, D. (2010, May). Best Practices for Open Sound Control. *Linux Audio Conference '10* .
- SERRA, F. (2002). *Áudio Digital: A tecnologia aplicada à música e ao tratamento de som* (1ª ed.). Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna.
- SODRÉ, M. (2002). *Atropológica do Espelho*. Editora Vozes.
- THOMPSON, E. (2007). *Mind in Life: Biology, Phenomenology, and the Sciences of Mind*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- TODD, P. M. (1989). A Connectionist approach to algorithmic composition. *Computer Music Journal* , 13 (4), 27-43.
- TRAMUS, M.-H., & BRET, M. La Funambule Virtuelle. *Emoção Art.ficial: 3ª Bienal Internacional de Arte e Tecnologia*. Université Paris 8, São Paulo, Brasil.
- TRAMUS, M.-H., & CHEN, C.-y. (2005). La funambule virtuelle et Quorum Sensing, deux installations interactives s'inspirant du connexionnisme et de l'évolutionnisme. *La création artistique face aux nouvelles technologies*. Paris.
- TURING, A. M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind* , 433-460.
- VENTURELLI, S. (2002). Perceptos e Afectos: a relação entre arte computacional e inteligência artificial. *10th International Congress of the Deutsche Gesellschaft für Semiotik*. Kassel.
- VENTURELLI, S. (2004). *ARTE: espaço_tempo_imagem* (1ª ed.). Brasília, DF, Brasil: Editora UnB.
- VENTURELLI, S. (2007). #6. *Art Arte e Tecnologia: interseções entre arte e pesquisas tecno-científicas*. Brasília: Editora UnB.
- VENTURELLI, S. (2007). Estética, Arte e Tecnologia. *Revista VIS* .
- VENTURELLI, S. (2011). *Interatividade Computacional*. (Moringa) Retrieved 10 10, 2011, from <http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/moringa/issue/curren>
- VENTURELLI, S., BARRETTO, F. P., LOCH, C., MODESTO, F., VALENTIM, V., & RIBEIRO, R. (2010). Ciberintervenção Urbana Interativa. *Anais do 9º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia*, (pp. 89-93). Brasília.
- WIENER, N. (1968). *Cibernética e sociedade: o uso humano de seres humanos*. São Paulo: Cultrix.
- WILSON, S. (1995). Artificial Intelligence Research as Art. *Stanford Electronic Humanities Review: Constructions of the Mind* , 4 (2).
- WILSON, S. (2002). *Information Arts*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.