



Universidade de Brasília

Instituto de Artes

Programa de Pós-Graduação em Artes

FRANCISCO DE PAULA BARRETTO

Artelligent: Arte, Inteligência Artificial e Criatividade Computacional

Brasília – DF

2016

FRANCISCO DE PAULA BARRETTO

**Artelligent: Arte, Inteligência Artificial e Criatividade
Computacional**

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

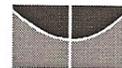
Orientadora: Professora Doutora Suzete Venturelli

Área de Concentração: Arte Contemporânea

Linha de Pesquisa: Arte e Tecnologia

Brasília – DF

2016



TESE DE DOUTORADO EM ARTE APRESENTADA AOS PROFESSORES:

Professor (a) Dr. (a). Suzete Venturelli (VIS/UnB)
ORIENTADOR (A)

Professor (a) Dr. (a). Antenor Ferreira Côrrea (VIS/UnB)
MEMBRO INTERNO

Professor (a) Dr. (a). Cleomar de Souza Rocha (UFG)
MEMBRO INTERNO

Professor (a) Dr. (a). Guido Lemos
MEMBRO EXTERNO

Professor (a) Dr. (a). Tiago Barros Pontes E Silva
MEMBRO EXTERNO

Vista e permitida a impressão
Brasília, quarta-feira, julho 20, 2016.

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

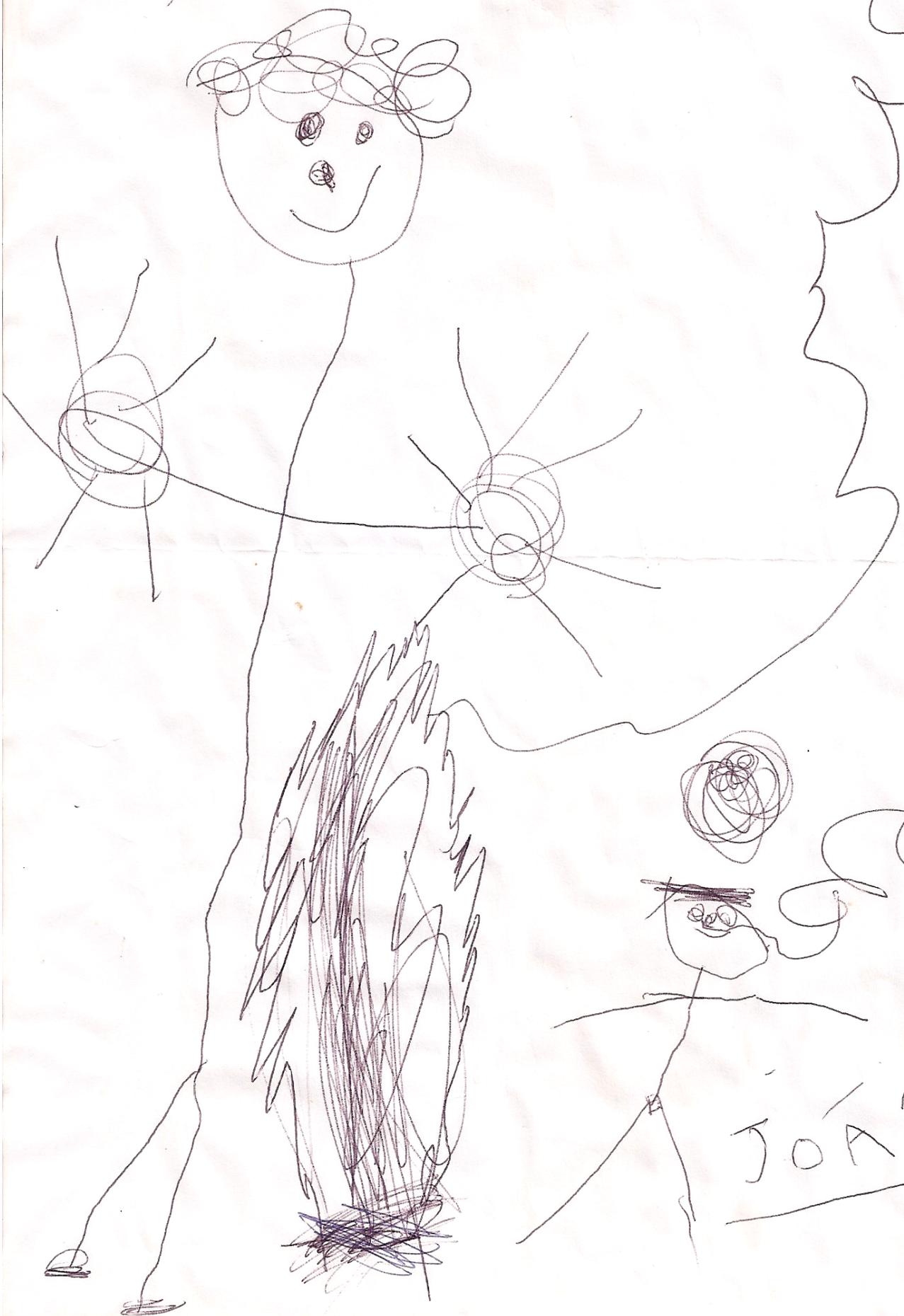
Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

BB274a Barretto, Francisco
Artelligent: Arte, Inteligência Artificial e
Criatividade Computacional / Francisco Barretto;
orientador Suzete Venturelli. -- Brasília, 2016.
150 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Arte) --
Universidade de Brasília, 2016.

1. artelligent. 2. arte computacional. 3.
inteligência artificial. 4. criatividade
computacional. 5. emergência. I. Venturelli, Suzete,
orient. II. Título.

KIKO



JOÃO



Para o meu filho João, que me fez entender que
o amor não tem limites.

“Not until a machine can write a sonnet or compose a concerto because of thoughts and emotions felt, and not by the chance fall of symbols, could we agree that machine equals brain - that is, not only write it but know that it had written it.” (JEFFERSON, 1949)

RESUMO

Esta pesquisa teórico-prática de doutorado adota uma visão transdisciplinar, aprofundando a pesquisa realizada no âmbito do mestrado (BARRETTO, 2011) e propõe um novo conceito descrito como Artelligent. A palavra Artelligent tem a sua origem na junção das palavras latinas *ars/artis* e *intelligere*. A palavra *ars*, correspondente ao termo grego *tékne*, descreve basicamente uma habilidade prática para produzir artefatos e ao mesmo denota um conhecimento, ciência, metodologia relacionado à alguma teoria arte-científica. Para este caso, consideramos que trata-se de um conceito envolvendo a expressão ou habilidade imaginativa representadas em suas mais amplas vertentes como pintura, música e literatura e que tem associado algum potencial emocional ou estético. Já a palavra *intelligere*, também oriunda do latim, está na raiz da palavra inteligente e é uma composição da palavras *inter*, isto é, entre, e *legere*, que significa escolher, coletar, colher, reunir. Juntas, *inter e legere* significam perceber, reconhecer, compreender, entender e realizar.

Um sistema Artelligent pode ser definido como um sistema autopoietico que através da utilização de técnicas específicas de inteligência artificial, representa o conhecimento de forma extensível e, considerando os princípios que regem o processo criativo humano, é capaz de exibir resultados de caráter reconhecidamente emergentes em um determinado ambiente. É apresentada nesta pesquisa uma estrutura, a fim de definir claramente quais as técnicas, conceitos e princípios devem ser aplicados a fim de criar tais sistemas Artelligentes, sobretudo considerando os conceitos de autopoiese, cunhado por Maturana e Varela (1970) e emergência como uma heurística para criatividade. A fim de explorar esses conceitos, apresentamos Zer0, uma jogo que convida o interagente à realizar uma deriva em um universo governado por formas geométricas. Através de interações com outras formas, o jogador é capaz de evoluir a partir de uma única forma de linha para formas mais complexas. Zer0 é um sistema multiagentes capaz de compor música emergente em tempo real.

Palavras-chave: Artelligent, Arte Computacional, Inteligência Artificial, Criatividade, Emergência, Autopoiese.

ABSTRACT

This theoretical and practical research adopts a transdisciplinary point of view, based on a previous master research (BARRETTO, 2011), and proposes a new concept described as Artelligent. The word Artelligent has its origin at the junction of Latin words *ars/artis* and *intelligere*. The word *ars*, corresponding to the Greek term *tékne*, basically describe a practical skill to produce artifacts and, at the same time, indicate knowledge, science or methodology related to some art-scientific theory. In this case, we consider that it involves the expression or an imaginative skill represented in its broader aspects such as painting, music and literature associated with some emotional or aesthetic potential. The word *intelligere*, also derived from Latin, is at the root of the word intelligent and is a composition of the word *inter*, that is, between, and *legere*, which means choose, collect, harvest, gather. Together, *inter* and *legere* mean perceive, recognize, understand, understand and perform.

An Artelligent system can be defined as an autopoietic system, which through the use of specific techniques of artificial intelligence, represents knowledge in an extensible way and considering the principles that describe the human creative process, is able to demonstrate recognizably emergent results in a given environment. It is also presented a framework in order to clearly define the techniques, concepts and principles that should be applied or considered in order to create such Artelligent systems, especially considering the concepts of autopoiesis, created by Maturana and Varela (1970) and emergence as a heuristic for creativity or novelty creation. In order to explore these concepts, we present Zer0, a game that invites the interactor to perform a drift in a universe governed by geometric shapes. Through interactions with other existing forms, the player is able to evolve from a single line to more complex shapes. Zer0 is a multi-agent system able to compose emergent music in real time.

Keywords: Artelligent, Computer Art, Artificial Intelligence, Creativity, Emergence, Autopoiesis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: ALGUMAS DEFINIÇÕES DE IA AGRUPADAS EM QUATRO GRANDES CATEGORIAS (RUSSEL E NORVIG, 2003).....	477
FIGURA 2: (A) IS THERE ANYONE THERE, STEPHEN WILSON (1992) E (B) MUTATIONS OF THE WHITE DOE, NICOLAS REEVES (1997).....	481
FIGURA 3: IMPERMANENCE AGENT (WARDRIP-FRUIIN E MOSS, 2002).....	482
FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DE UM AGENTE CAPAZ DE INTERAGIR COM O AMBIENTE ATRAVÉS DE SENSORES E ATUADORES (RUSSEL E NORVIG, 2003).....	483
FIGURA 5: MODELO GENÉRICO DE UM AGENTE REATIVO SIMPLES CAPAZ DE INTERAGIR COM O MEIO (RUSSEL E NORVIG, 2003).....	485
FIGURA 6: FORMAS EMERGENTES DA OBRA GALÁPAGOS, KARL SIMS (1997).....	492
FIGURA 7: REPRESENTAÇÃO SIMPLIFICADA DA ESTRUTURA MORFOLÓGICA DE UM NEURÔNIO (DO AUTOR).....	492
FIGURA 8: TOPOLOGIA DE UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL TOTALMENTE CONECTADA ALIMENTADA À FRENTE (DO AUTOR).....	494
FIGURA 9: LA FUNAMBULE VIRTUELLE, DE MARIE-HÉLÈNE TRAMUS E MICHEL BRET (2000-2007).....	495
FIGURA 10: ESTRUTURA TÍPICA DE UM SISTEMA MULTIAGENTES (WOOLDRIDGE, 2009).....	497
FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO VISUAL EM PRETO E BRANCO DOS AGENTES QUE COMPÕEM O SISTEMA MULTIAGENTES (SILVA, 2013).....	499
FIGURA 12: INTERFACE DE INTERAÇÃO LOCAL DO PUBLICO COM #OPENENVIRONMENT (BARRETTO, 2013)..	500
FIGURA 13: PROJEÇÃO DE MENSAGEM ENVIADA PELO TWITTER PARA INTERAÇÃO COM O ECOSISTEMA VIRTUAL.....	502
FIGURA 14: IMPLEMENTAÇÃO DO MUNDO DO WUMPUS COMO JOGO PARA ATARI (YOB, 1976).....	506
FIGURA 15: MODELAGEM DO JOGO DO WUMPUS PARA AGENTES INTELIGENTES (RUSSEL E NORVIG, 2003).....	507
FIGURA 16: GEOPARTITURA EM EXPOSIÇÃO DURANTE O 10º ENCONTRO INTERNACIONAL DE ARTE E TECNOLOGIA, BRASÍLIA. (2011).....	512
FIGURA 17: TOPOGRAFIA DAS CONEXÕES ENTRE USUÁRIOS NO SISTEMA GEOPARTITURA (DO AUTOR).....	513
FIGURA 18: APLICAÇÃO DO OPERADOR DE RECOMBINAÇÃO ENTRE DOIS INDIVÍDUOS PREVIAMENTE SELECIONADOS A E B PARA GERAÇÃO DE DOIS FILHOS A E B (DO AUTOR).....	517
FIGURA 19: SUMÁRIO DA CATEGORIZAÇÃO DAS TEORIAS DA CRIATIVIDADE (KOZBELT, BEGHETTO E RUNCO, 2010).....	533
FIGURA 20: CONTINUAÇÃO DO SUMÁRIO DA CATEGORIZAÇÃO DAS TEORIAS DA CRIATIVIDADE (KOZBELT, BEGHETTO E RUNCO, 2010).....	534
FIGURA 21: MODELO E ALGORITMO DE AGENTE REFLEXIVO SIMPLES DESTACADOS OS PROCESSOS DE (A) PREPARAÇÃO, (B) INCUBAÇÃO, (C) ILUMINAÇÃO E (D) VERIFICAÇÃO ADAPTADO DE RUSSEL E NORVIG (2003).....	537

FIGURA 22: O CICLO DE AUTO-REGULAÇÃO DE UMA CÉLULA ENQUANTO UNIDADE AUTOPOIÉTICA (LUIZI, 2003).	542
FIGURA 23: EM DESTAQUE, UM DOS 15 BRAÇOS ROBÓTICOS DA INSTALAÇÃO AUTOPOIESIS, DO ARTISTA KEN RINALDO (2000)	547
FIGURA 24: ESQUEMA BÁSICO DA INTERFACE DA OBRA AUDIBLE ECOSYSTEMS (DI SCIPIO, 2003).	548
FIGURA 25: REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PROCESSO DE CO-EMERGÊNCIA, SEGUNDO LUIZI (2003).	550
FIGURA 26: VEÍCULOS SIMPLES DE BRAITENBERG: (A) VEÍCULO QUE BUSCA A LUZ E (B) VEÍCULO QUE EVITA A LUZ (PFEIFER E BONGARD, 2007).	552
FIGURA 27: ESCALAS DE TEMPO E EMERGÊNCIA: “AQUI E AGORA”, ONTOGENÉTICO E FILOGENÉTICO (PFEIFER E BONGARD, 2007).	553
FIGURA 28: SEQUÊNCIA DE PASSOS DA ESQUERDA PARA A DIREITA CONSIDERANDO AS REGRAS DO JOGO DA VIDA, SEGUNDO JOHN CONWAY (APUD. GARDNER, 1970).	555
FIGURA 29: EMERGÊNCIA COMBINATÓRIA VERSUS EMERGÊNCIA CRIATIVA (CARIANI, 2009).	557
FIGURA 30: RESUMO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NA IMPLEMENTAÇÃO DO GERADOR DE ACORDES.	558
FIGURA 31: THE BACTERIAL ORCHESTRA NO ENCONTRO DE NOVAS MÍDIAS EM NORRKOPING (2006).	561
FIGURA 32: TRÊS BRAÇOS ROBÓTICOS DA OBRA <i>THE FLOCK</i> QUE DEMONSTRAM COMPORTAMENTO EMERGENTE DE BANDO (RINALDO, 1994).	563
FIGURA 33: INTERAGENTE REALIZANDO UMA INCURSÃO NO UNIVERSO DO JOGO ZERO (DO AUTOR).	568
FIGURA 34: TRANSIÇÃO DISCRETA E CONTÍNUA: (A) SINAL DEGRAU UNITÁRIO, (B) SINAL CONTÍNUO UNITÁRIO (DO AUTOR).	569
FIGURA 35: EVOLUÇÃO DAS FORMAS GEOMÉTRICAS ATRAVÉS DO ACUMULO DE LADOS.	569
FIGURA 36: ARQUITETURA INTERNA DO AGENTE AUTÔNOMO (BARRETTO E VENTURELLI, 2015).	574
FIGURA 37: REPRESENTAÇÃO DO AMBIENTE ONDE O AGENTE ESTÁ INSERIDO, COM AGENTES TENTANDO SE COMUNICAR (DO AUTOR).	575
FIGURA 38: INTERAÇÕES ENTRE DOIS AGENTES AUTÔNOMOS E UM AGENTE HUMANO, DESCRITOS DE ACORDO COM A METODOLOGIA TROPOS.	576
FIGURA 39: RELAÇÃO ENTRE COMPLEXIDADE E ORDEM X DESORDEM (GALANTER, 2003).	579

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	466
SEÇÃO I INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ARTE COMPUTACIONAL.....	474
1.1. DO SILOGISMO AOS SISTEMAS LÓGICOS.....	474
1.2. DA GOFAI AOS SISTEMAS EVOLUTIVOS.....	477
1.3. AGENTES INTELIGENTES	482
1.3.1. <i>Agentes Baseados em Objetivos e o Raciocínio Prático.....</i>	<i>485</i>
1.3.2. <i>Ambientes de Tarefa.....</i>	<i>486</i>
1.4. SISTEMAS E-VOLUTIVOS, CONEXIONISTAS E SOCIAIS	489
1.4.1. <i>Algoritmos Genéticos.....</i>	<i>489</i>
1.4.2. <i>Redes Neurais Artificiais.....</i>	<i>492</i>
1.4.3. <i>Sistemas Multiagentes (SMA).....</i>	<i>496</i>
1.5. REPRESENTAÇÃO DE CONHECIMENTO, COGNIÇÃO E APRENDIZAGEM	503
1.5.1. <i>Abordagem Simbólica.....</i>	<i>503</i>
1.5.2. <i>Abordagem Conexionista.....</i>	<i>509</i>
1.5.3. <i>Abordagem Social e Emergente.....</i>	<i>514</i>
1.6. RELEVÂNCIA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SUAS ABORDAGENS	521
SEÇÃO II ARTE, INTELIGÊNCIA E CRIATIVIDADE COMPUTACIONAIS	524
2.1. PRINCÍPIOS PARA DESIGN DE AGENTES	524
2.2. CRIATIVIDADE ARTÍSTICA E COMPUTACIONAL	527
2.2.1. <i>Pesquisa em Criatividade(s).....</i>	<i>528</i>
2.2.1.1. <i>Abordagem Desenvolvimentista.....</i>	<i>535</i>
2.2.1.2. <i>Estágios e Processos Componentes</i>	<i>535</i>
2.2.1.3. <i>Abordagem Evolutiva (Darwinista)</i>	<i>537</i>
2.2.1.4. <i>Abordagem Sistêmica</i>	<i>539</i>
2.3. AUTOPOIESIS: AUTO-ORGANIZAÇÃO E AUTONOMIA	540
2.4. EMERGÊNCIA, HEURÍSTICA PARA CRIATIVIDADE	551
2.5. CRIATIVIDADE, AUTOPOIESIS E EMERGÊNCIA EM SISTEMAS	563
SEÇÃO III ZERO: UM SISTEMA ARTELLIGENT	566
3.1. DO ZERO AO UM.....	566
3.2. ECOLOGIA DE UM SISTEMA ARTELLIGENT	570
3.2.1. <i>Descrevendo o Ambiente de Tarefa.....</i>	<i>570</i>
3.2.2. <i>Modelando os Agentes.....</i>	<i>572</i>
3.2.3. <i>Interação Multiagentes.....</i>	<i>575</i>
3.3. CRIATIVIDADE E EMERGÊNCIA(S)	577
3.3.1. <i>Cor e Opacidade.....</i>	<i>579</i>
3.3.2. <i>Movimentação, Pulsos e Composição Sonora.....</i>	<i>580</i>
3.4. ZERO, ARTELLIGENT.	581
CONCLUSÃO.....	583
REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	587

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa recorre à metodologia inter e transdisciplinar pois visa o trabalho construtivo, que se desenvolve a partir de várias áreas de conhecimento como principalmente Arte, Ciências da Computação, Biologia e Psicologia. 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 os espaços do Midialab¹ e do LATE!², para construir software artístico tenta ultrapassar o pensamento clássico a fim de 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. Assim, o trabalho resultante deste esforço encontra-se em um lugar que ultrapassa o limite das disciplinas que embasam a pesquisa no sentido de que cria um novo conceito que transborda as disciplinas originais não podendo nelas limitar-se.

Sob o ponto de vista artístico, a comunidade há algum tempo discorre sobre os panoramas de utilização de Inteligências Artificiais (IA), ou agentes³, poeticamente representados no cinema pelo computador Hal, em *2001: Uma Odisseia no Espaço*,

¹ **Midialab** (www.midialab.unb.br) é coordenado pela Prof^ª. Dr. Suzete Venturelli e 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

² **LATE!** (www.late.art.br) - Laboratório de Arte e Tecnologia - é um espaço híbrido fundado em 2011 por um coletivo para-acadêmico de (ar/cien)tistas aberto para exploração e desenvolvimento de projetos que permeiam a arte, ciência e tecnologia.

³ 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.

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.

O conceito computacional 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” 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 interagente 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, 2008), 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 Midialab e LATE. 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 artística 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 tenham sido, segundo Curtis Roads (1996), alguns dos 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). Neste sentido, o artista passa a assumir também o papel de designer (projetista), devendo considerar aspectos técnicos como os que são abordados nesta pesquisa.

Muitos estudos podem ser desenvolvidos na confluência das áreas citadas 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 apresentados.

De um ponto de vista computacional, como podemos definir sistemas que exibem um comportamento inteligente e criativo ao produzir resultados artísticos emergentes? Quais princípios, características, funções, um sistema tem que demonstrar para ser considerado como tal? A fim de responder tais questões fez-se necessária a criação do termo *Artelligent*, que tem sua origem na junção das palavras em latim *ars/artis* e *intelligere*. A palavra *ars*, correspondente ao termo grego *tékne*, descreve basicamente uma habilidade prática para produzir artefatos e ao mesmo denota um conhecimento, ciência, método relacionado à alguma teoria arte-científica. Para este caso, consideramos que trata-se de um conceito envolvendo a expressão ou habilidade imaginativa representadas em suas mais amplas vertentes como pintura, musica e literatura e que tem associado algum potencial emocional ou estético. Já a palavra *intelligere*, também oriunda do latim, está na raiz da palavra inteligente e é uma composição da palavras *inter*, isto é, entre, e *legere*, que significa escolher, coletar, colher, reunir. Juntas, *inter* e *legere* significam perceber, reconhecer, compreender, entender e realizar.

Durante a pesquisa desenvolvida no âmbito do mestrado, foi investigada a possibilidade de desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de gerar resultados emergentes (BARRETTO, 2011). Essa investigação anterior visou a exploração da transição determinista-emergente em máquinas computacionais, sob o ponto de vista de que mesmo sendo o computador um aparato primariamente determinista seria possível desenvolver sistemas inteligentes que, não por mero uso da aleatoriedade, pudessem demonstrar esse comportamento emergente. A idéia de *Artelligent* emerge então da pesquisa de mestrado, onde pode-se já perceber algumas claras intersecções interdisciplinares envolvendo e entrelaçando o referencial teórico levantado e aprofundado nesta tese aplicando-o exatamente no contexto da arte, inteligência artificial e criatividade computacional.

Além disso, estes conceitos abordados permeiam praticamente toda a produção artística do autor, que os utiliza para ilustrar e demonstrar as características elencada. Pode-se perceber, durante o processo de pesquisa e desenvolvimento, que as diferentes teorias, de diferentes áreas, convergem em pontos específicos ainda que tenham sido desenvolvidas em campos distintos do saber. Propomos, portanto, este novo termo para designar estas relações e de forma mais profunda caracterizar toda

uma gama de trabalhos, obras, instalações que demonstram estas características comuns. Sobre este objeto, apresenta-se uma hipótese que versa sobre a possibilidade de delineamento de um framework teórico-técnico que servirá como um norte para o desenvolvimento de sistemas capazes de exibir um comportamento criativo, denominados Artelligent.

Um sistema Artelligent pode ser definido como um sistema autopoietico que através da utilização de técnicas específicas de inteligência artificial, representa o conhecimento de forma extensível e, considerando os princípios que regem o processo criativo humano, é capaz de exibir resultados de caráter reconhecidamente emergentes em um determinado ambiente. No entanto, é preciso esclarecer cada uma das partes que compõem esta definição posto que, certamente, ela não englobará qualquer sistema artístico que envolva arte e inteligência artificial apenas.

De uma forma mais objetiva, pode-se dizer que um sistema Artelligent deve atender aos seguintes requisitos, que foram definidos ao longo desta pesquisa:

- a. Utilizar um agente inteligente ou um conjunto/sistema de agentes inteligentes e seu ambiente de tarefa (item 1.3);
- b. Utilizar alguma técnica de IA, para descrever e implementar o item acima, que facilite o surgimento de um comportamento emergente (item 1.4);
- c. Represente o conhecimento de tal forma que ele seja extensível ou emergente (item 1.5);
- d. Utilize os princípios para design de agentes, minimizando o papel do designer na construção do conhecimento agente ao passo em que se maximiza o papel da aprendizagem e/ou adaptação (item 2.1);
- e. Considere pelo menos dois Ps: *Person* (Pessoa), *Process* (Processo), *Product* (Produto) e *Press/Place* (Ambiente/Local) (item 2.2.1);
- f. Seja capaz de gerar Produto(s) considerados no mínimo mini-C (item 2.2.1);
- g. Considere pelo menos uma das abordagens para criatividade: desenvolvimentista, processual, evolutiva ou sistêmica (itens 2.2.1.1 a 2.2.1.4);

- h.** Demonstre um comportamento autopoietico no que diz respeito ao gerenciamento das suas estruturas internas de conhecimento e/ou cognição (item 2.3);
- i.** Seja capaz de exibir comportamento emergente (combinatória ou epistêmica) ou demonstre algum tipo de co-emergência dinâmica com o ambiente (item 2.4).

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. Estes conceitos apresentados são fundamentais para a compreensão dos itens a, b e c da descrição de um sistema Artelligent. Serão privilegiados os aspectos relacionados à cognição em sistemas inteligentes englobando a representação de conhecimento, aprendizagem e expressão com enfoque nas técnicas de Algoritmos Genéticos, Redes Neurais e Sistemas Multiagentes.

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. Este aspecto é apresentado sob o prisma de três abordagens: simbólica, conexionista e evolutiva.

Na segunda seção, é apresentado um delineamento das intersecções entre IA, criatividade, autopoiese e emergência. São apresentados os princípios para design de agentes, que segundo os estudos a IA corporificada, se concentram em princípios de design e princípios de design de agentes. Além disso aborda-se de forma mais profunda a questão da criatividade, seus modelos, abordagens e representações a fim de tornar mais claros os princípios que influenciam diretamente na criação de um sistema artístico inteligente. Posteriormente são discutidos os conceitos de autopoiese

e emergência dentro do contexto da inteligência artificial e criatividade computacional.

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 mantém e se autorregulam, como no caso das Redes Neurais.

Por fim, na terceira seção é apresentado e analisado o jogo Zer0 sob o prisma do conceito de Artelligent. Zer0 é um jogo que convida o interagente à realizar uma deriva em um universo dominado por formas geométricas. Cada forma geométrica é a representação visual de um agente inteligente capaz de decidir quais ações pretende realizar. Além disso, a construção cognitiva do agente é desenvolvida através da sua interação com o meio. O jogo demonstra ainda um comportamento emergente no que diz respeito ao arranjo visual das formas na tela, assim com a composição musical que integra a sua trilha sonora.

Primeiramente é abordado o caráter estético e poético da obra, assim como a motivação para o desenvolvimento do sistema. São abordadas ainda as características listadas como primordiais para que um sistema seja considerado como Artelligent. Além disso, descreve-se de um ponto de vista computacional a modelagem dos agentes, do ambiente, representação do conhecimento, interação social e resultados emergentes no que diz respeito à composição musical que resulta da interação entre os indivíduos que compõem a população. Posteriormente são descritos os aspectos de implementação, incluindo os agentes e o ambiente, assim como os resultados que emergem desta interação.

SEÇÃO I | Inteligência Artificial na Arte Computacional

Considerando os princípios e requisitos que compõem um sistema considerado Artelligent, sobretudo os que dizem respeito à (a) utilização de um agente ou conjunto de agentes inteligentes e seu ambiente de tarefa, (b) a utilização de alguma técnica de IA para descrever o agente e (c) a sua respectiva representação de conhecimento, necessitamos em um primeiro momento compreender o escopo de estudo do campo da IA e suas possíveis aplicações.

Aqui serão descritos estes três itens listados acima observando sob a ótica da capacidade de facilitar o surgimento de resultados emergentes. Portanto, além da abordagem histórica que facilita a contextualização do problema, as técnicas e abordagens aqui descritas possuem grande afinidade com o conceito de Artelligent, sempre ressaltando a questão da capacidade de adaptação, autonomia e emergência.

1.1. Do silogismo aos sistemas lógicos

Várias áreas contribuíram para a formação 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. Aristóteles (384-322 a.C) propôs um sistema, formado por um conjunto de leis que governariam a parte racional da mente. Este sistema informal de silogismos baseava-se na premissa de que seria possível gerar conclusões mecanicamente através de um conjunto de premissas iniciais.

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. Considerar um conjunto de regras como sendo capazes de descrever a parte formal e racional da mente levou ao surgimento de um paradigma que considera a mente como um sistema físico e, portanto, regido pelo mesmo sistema de leis da física.

Neste sentido, René Descartes (1596-1650) aponta alguns problemas que surgem desse paradigma, relacionado com a concepção puramente física da mente. O

principal destes problemas é que uma vez que a mente é governada inteiramente pelas leis da física, então, parece não haver espaço suficiente para a expressão do livre-arbítrio. Além disso, pode-se supor que os animais são simples máquinas de agir arbitrariamente (RUSSEL e NORVIG, 2003). A solução proposta pelo dualismo para justificar o livre-arbítrio parece convergir no que diz respeito à existência de parte intangível e imaterial inerente à mente humana que estaria isenta às leis da física.

Por outro lado, o materialismo se opõe ao dualismo no sentido de que considera que as operações físicas do cérebro constituem a mente. Portanto, o livre-arbítrio seria apenas uma questão de como percebemos as escolhas. É importante ressaltar que o fato de que tanto o dualismo quanto o materialismo consideram a mente como uma máquina capaz de realizar operações. Esta premissa tem, portanto, implicações no desenvolvimento de disciplinas como o positivismo lógico e a teoria da confirmação, culminando em 1928 na publicação de um livro intitulado “*The Logical Structure of The World*” de Rudolf Carnap (KNEALE, 1968).

Toda a abordagem lógica que descende do silogismo aristotélico baseia-se necessariamente no fato de que a mente, através de processos físicos ou não, manipula uma série de informações que estão representadas através de símbolos. Portanto, se faz necessário compreender esta conexão entre conhecimento e ação posto que esta relação é vital para o campo da Inteligência Artificial (IA). A partir desta relação desenvolve-se a necessidade de compreender o raciocínio como uma ferramenta para alcançar um determinado objetivo através da justificativa de uma conexão lógica entre o objetivo a ser alcançado e o conhecimento do resultado das ações (RUSSEL e NORVIG, 2003). É inegável que grande parte do desenvolvimento das pesquisas relacionadas à área da IA tem suas bases nas teorias da abordagem lógica.

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

O termo Inteligência Artificial, cunhado por McCarthy e outros pesquisadores em 1956 (MCCARTHY, MINSKY, *et al.*, 2006), baseava-se na premissa de que todo aspecto relacionado à aprendizagem ou inteligência pode ser matematicamente descrito e, portanto, computacionalmente simulado. Segundo Russel e Norvig (2003), neste sentido há várias vertentes que abordam a modelagem matemática da Inteligência Artificial sob diferentes aspectos, como os que tentam simular o raciocínio humano, pensamento racional, comportamento humano ou comportamento racional.

Ainda por volta de 1956 o objetivo era tentar simular a inteligência humana, que requeria uma modelagem matemática muito perfeita do funcionamento do cérebro humano, ou como pensam os humanos, a fim de obter resultados realmente satisfatórios. Dada a complexidade do cérebro humano e a subjetividade de alguns conceitos como "bom senso", por exemplo, tornou-se praticamente inviável a simulação do pensamento humano.

A evolução das pesquisas nesta área se deu no sentido de tentar simular não mais o raciocínio humano, mas o comportamento inteligente em problemas menos complexos cujo domínio poderia ser mais facilmente modelado matematicamente. O campo de estudo das pesquisas em IA, oriundo dos desdobramentos citados acima, que desenvolve a agenda racional/lógica e segue o paradigma “tradicional” do raciocínio lógico, deu origem ao que se convencionou chamar de GOFAI⁴ (Good Old Fashioned Artificial Intelligence) ou “boa e velha IA”, cujas fases estão sumarizadas na tabela 1 abaixo (BITTENCOURT, 2006).

ÉPOCA	OBJETIVOS	MÉTODOS	FRACASSO
Clássica (1956-1970)	Simular a inteligência humana.	Solucionadores gerais de problemas e uso da lógica matemática.	Subestimação da complexidade de problemas.

⁴ **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.

Romântica (1970-1980)	Simular a inteligência humana em situações pré-determinadas.	Formalismos de representação de conhecimento adaptados ao tipo de problema.	Subestimação da quantidade de conhecimento necessária para tratar mesmo o mais simples problema de bom senso.
Moderna (1980-1990)	Simular o comportamento de um especialista ao resolver problemas em um domínio específico.	Sistemas de regras. Representação da incerteza. Conexionismo.	Subestimação da complexidade do problema de aquisição de conhecimento
Pós-Moderna (1991-Hoje)	Entender o comportamento inteligente. Construir sistemas que apresentem esse comportamento inteligente contextualizado.	Integração de raciocínio, aprendizagem e planejamento. Inteligência distribuída. Sistemas híbridos.	

Tabela 1: Fases da GOFAI, adaptado de Bittencourt (2006).

1.2. Da GOFAI aos Sistemas Evolutivos

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

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* (TURING, 1950), 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. 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.

Apesar de ser permeada por diversas áreas como matemática, economia, neurociência, psicologia, cibernética e linguística, por exemplo, o desenvolvimento da GOFAI apresenta algumas limitações quanto à sua abordagem lógica e racional, ao tentar interagir com domínios incertos ou em transformação.

Ainda em 1943, antes mesmo da GOFAI, o primeiro trabalho largamente reconhecido como IA desenvolvido por Warren McCulloch e Walter Pitts (MCCULLOCH e PITTS, 1943) propunha 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, propondo uma ênfase menor na lógica e mais acentuada no funcionamento do cérebro físico (RUSSEL e NORVIG, 2003).

Esta abordagem conexionista, (descrita no item 1.5.2) apoia-se na modelagem biológica da arquitetura neuronal. Os modelos neuronais da inteligência enfatizam uma outra habilidade do cérebro: a de se adaptar ao mundo no qual está inserido, através da modificação ou recombinação dos relacionamentos entre os neurônios individuais (LUGER, 2004). Nesta abordagem, ao invés de representar o

conhecimento através de sentenças lógicas explícitas, o sistema é capaz de capturar o conhecimento de forma implícita como um padrão de relacionamentos.

Um outro modelo de inteligência, alternativo à GOFAI, busca inspiração nos processos evolutivos. Os trabalhos envolvendo vida artificial e algoritmos genéticos (descrito no item 1.4.1) aplicam, computacionalmente, os princípios da evolução biológica. Ao invés de raciocinar logicamente, esta abordagem propõe que ao gerar sucessivamente diversas populações de potenciais soluções que competem entre si, pode-se forçar uma evolução no sentido de atingir um determinado objetivo quantificável através de uma função de adaptação.

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).

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).

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.

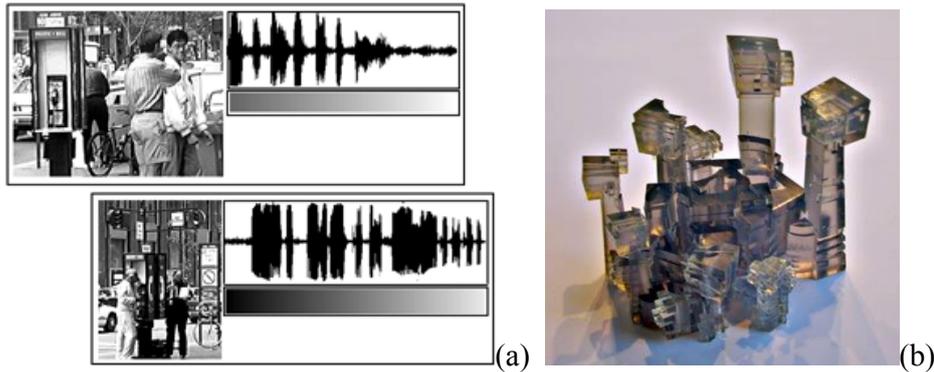
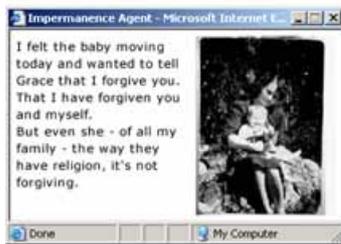


Figura 2: (a) Is There Anyone There, Stephen Wilson (1992) e (b) Mutations of The White Doe, Nicolas Reeves (1997).

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).

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-FRUIIN, 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

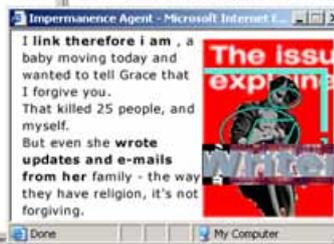


Figura 3: Impermanence Agent (Wardrip-Fruin e Moss, 2002).

1.3. Agentes Inteligentes

Segundo Negroponte (1995), o conceito de “agente” é incorporado ao fato de ajudarmos uns aos outros, frequentemente. É um conceito onde a especialização encontra-se mesclada ao conhecimento do agente sobre o interagente 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 distribuídamente 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 4.

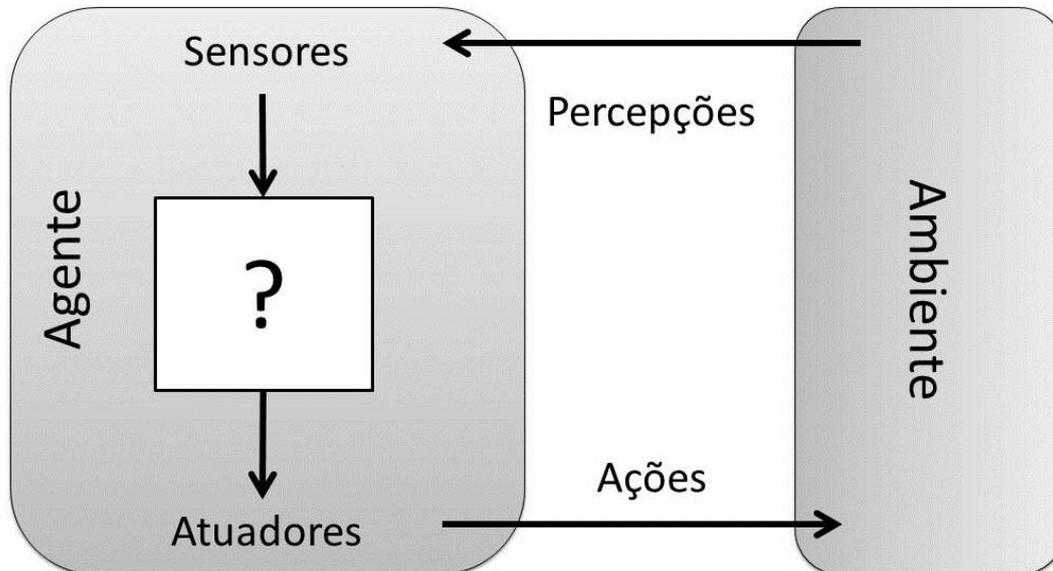


Figura 4: Representação de um agente capaz de interagir com o ambiente através de sensores e atuadores (RUSSEL e NORVIG, 2003).

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, figura 5, 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.

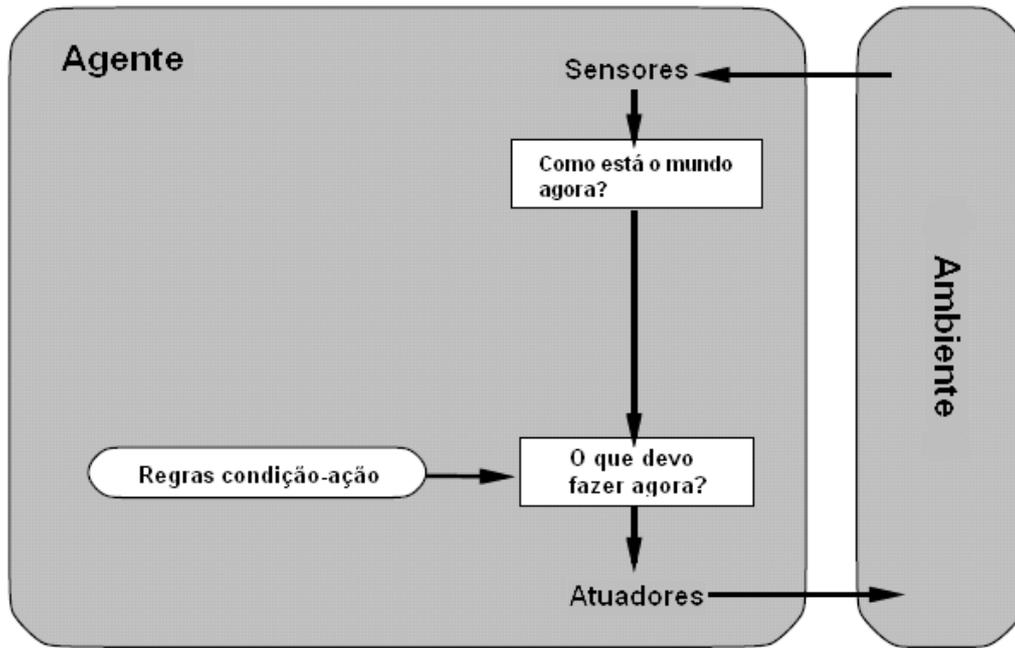


Figura 5: Modelo genérico de um agente reativo simples capaz de interagir com o meio (Russel e Norvig, 2003).

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.

1.3.1. Agentes Baseados em Objetivos e o Raciocínio Prático

Dentre os diferentes modelos de agentes, os baseados em objetivo destacam-se pela capacidade de ir além do simples conhecimento sobre o estado atual do ambiente. Esta categoria de agentes baseia-se em informações referentes à objetivos, que descrevem situações desejáveis.

O programa do agente combina estas informações a fim de traçar planos de ação que o aproximem do objetivo. Por vezes, esta seleção é direta, quando a satisfação do objetivo resulta da execução direta de uma única ação. Em outros casos, longas sequências de ações são necessárias para atingir o objetivo. Portanto, busca e planejamento são dois subcampos envolvidos neste caso.

Um dos métodos de raciocínio utilizados nestes casos, quando o agente deve tomar uma decisão sobre qual objetivo ou planos seguir é o prático. Este tipo de raciocínio baseia-se nos processos cognitivos cujo foco são as ações que devem ser executadas, considerando um determinado objetivo. Este processo de raciocínio pode ser dividido em duas grandes áreas: deliberação e raciocínio meios-fim. Na primeira parte, decide-se qual o objetivo enquanto na segunda define-se quais os passos necessários para atingi-lo (WOOLDRIDGE, 2009).

O modelo BDI (Belief-Desire-Intention) é bastante utilizado para implementar este tipo de raciocínio pois baseia-se nas crenças, planos e objetivos. As crenças (*beliefs*) constituem a base de conhecimento do agente, onde temos representados através de algum tipo de formalismo os fatos sobre o mundo que o agente tem ciência. Os objetivos (*desire*) representam os estados ou condições que o agente almeja alcançar. Os planos de ação (*intentions*) são seqüências lógicas de ações necessárias para executar ou alcançar os objetivos e podem possuir algum tipo de pré-condição, prioridade e gatilhos (GEORGEFF, PELL, *et al.*, 1998).

1.3.2. Ambientes de Tarefa

Tão importante quanto descrever um agente é descrever, especificar ou escolher corretamente o seu ambiente de tarefa. Um ambiente de tarefa pode ser definido como o contexto onde um agente será capaz de interagir. Sem dúvida a quantidade de ambientes que podem existir é enorme, porém podemos categorizar os ambientes de acordo com as suas características. Estas categorias estão divididas em algumas dimensões, que por sua vez influenciarão na decisão do projetista (designer) ao formular o agente. É imprescindível ressaltar que nesta categorização, proposta por Russel e Norvig (2003), assumimos a descrição do ambiente sob o ponto de vista do agente.

A primeira dimensão analisada diz respeito à capacidade do agente de observar o ambiente de forma total ou parcial. Classificamos o ambiente como completamente observável quando o agente é capaz de recuperar todos os aspectos relevantes do ambiente antes de tomar uma decisão. Um ambiente completamente observável pode ainda conter informações que permanecerão desconhecidas ou inacessíveis ao agente contanto que estas informações sejam irrelevantes para a tomada de decisão. Por sua vez, a relevância do agente depende da sua medida de desempenho que descreve quais são seus objetivos ou qual é a função que analisa o desempenho do agente. No entanto, dificilmente um ambiente será completamente observável para um agente a menos que o agente seja onisciente. Para os casos em que alguma informação relevante esteja indisponível ou inacessível, classificamos o ambiente como parcialmente observável. Na total ausência de informação relevante, o ambiente torna inobservável.

A distinção dos ambientes quanto ao número de agentes que atuam simultaneamente sobre eles fornece uma outra dimensão importante. Um ambiente onde um agente resolve um caça palavras pode ser considerado um ambiente de agente único, enquanto outro agente engajado em um jogo de xadrez contra um agente humano ou com outro agente computacional está em um contexto multiagente. Ainda no que diz respeito aos ambientes multiagentes, podemos classifica-los como competitivos ou cooperativos de acordo como os agentes interagem uns com os outros. Se temos dois agentes, como no jogo da velha, que tentam mutuamente minimizar a medida de desempenho do oponente caracterizamos como competitivo. Por outro lado, se há dois agentes que tomam decisões com o intuito de maximizar a medida de desempenho de todo um conjunto de agentes, o ambiente define-se cooperativo.

As mudanças que acontecem em um ambiente podem ou não ser previsíveis para um agente. Em alguns contextos, um agente é capaz de deduzir qual o próximo estado do ambiente ou quais são as consequências das suas ações pois a mudança no ambiente depende apenas da decisão tomada, caracterizando um ambiente determinista. Por outro lado, se um ambiente é parcialmente observável ele pode parecer estocástico para o agente. Podemos afirmar que um ambiente é incerto ou estocástico se ele não é completamente observável ou determinístico.

Alguns ambientes são tratados pela experiência do agente através da representação em episódios atômicos. Em um jogo de damas, por exemplo, cada configuração do tabuleiro representa um episódio atômico e bem definido no sentido de que a próxima ação não dependerá das ações anteriores, apenas do estado atual do ambiente. Para este tipo de ambiente episódico, não há a necessidade de uma representação ou narrativa temporal que realize algum tipo de interligação entre os estados de mundo. Por outro lado, um agente que necessite deslocar-se de um lugar à outro dentro de um labirinto necessitará armazenar um histórico das ações realizadas anteriormente a fim de facilitar o deslocamento. Este tipo de ambiente sequencial são mais complexos pois não apenas se faz necessário armazenar um histórico de ações (que pode ser limitado) como também pode forçar o agente a planejar ações futuras.

Após adquirir informação sobre o ambiente, um agente passa para um estado de deliberação onde, através de algum mecanismo de inferência, vai analisar as informações adquiridas a fim de determinar qual ação será executada. Neste intervalo de tempo em que o agente está deliberando, o ambiente pode sofrer alterações caracterizando um ambiente dinâmico. Caso o ambiente não seja alterado enquanto o agente raciocina, o ambiente é declarado como estático.

Os agentes que trabalham com tarefas temporizadas caracterizam os ambientes de acordo como a dimensão temporal é tratada. Se temos um ambiente, cuja dimensão temporal é corrente e ininterrupta declaramos o ambiente como contínuo. Por exemplo, ao se deslocar fisicamente um robô considera o mundo como estados e tempo contínuos posto que as informações variam de forma continua no decorrer do tempo, enquanto o agente que joga damas pode considerar o tempo como sendo discreto posto que as mudanças acontecem de forma discreta, divididas em amostras temporais.

A base de conhecimentos de um agente contém informações relevantes para o agente no que tange o ambiente em que será inserido. Em alguns casos é possível inserir todas as informações existentes sobre uma determinada tarefa, como jogar damas ou xadrez, pois o ambiente é conhecido. Por outro lado, dada uma limitação pelo tamanho do escopo de conhecimento ou pela falta de conhecimento do projetista pode-se construir uma base de conhecimento que não detenha todas as informações necessárias, determinando um ambiente desconhecido. O ambiente desconhecido

fornece desafios adicionais ao agente pois este deverá aprender como interagir no ambiente em que será inserido. Um ambiente pode também ser desconhecido intencionalmente pelo agente, se assim o desejar o seu designer. Para estes casos o processo torna-se interessante pois o comportamento do agente deve emergir da interação com o ambiente.

Uma vez determinadas as características do ambiente, de acordo com as dimensões citadas anteriormente, podemos descrever de forma genérica o agente através do seu PEAS (*Performance, Environment, Actuators, Sensors*) ou DAAS (Desempenho, Ambiente, Atuadores, Sensores). A medida de desempenho, ou performance, descreve o que desejamos que o nosso agente tenha como principais objetivos ou premissas que deve manter válidas. O ambiente é descrito utilizando as dimensões de disponibilidade de informações, quantidade de agentes, previsibilidade, representação episódica, dinâmica, conhecimento disponível. Os atuadores descrevem quais formas o agente tem para se expressar e modificar o ambiente enquanto os sensores descrevem como o agente é capaz de perceber e coletar informações disponíveis (e observáveis) do ambiente.

1.4. Sistemas E-volutivos, Conexionistas e Sociais

1.4.1. Algoritmos Genéticos

A computação evolutiva, utiliza a metáfora baseada na teoria da evolução natural proposta por John Holland (1975) e considera que não é imperativo 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 alelos. 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 alelos. Normalmente, é associada uma probabilidade muito pequena de mutação para cada alelo, o suficiente apenas para garantir que nenhum espaço de busca tenha probabilidade zero de ser examinada.

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.

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 6, 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.

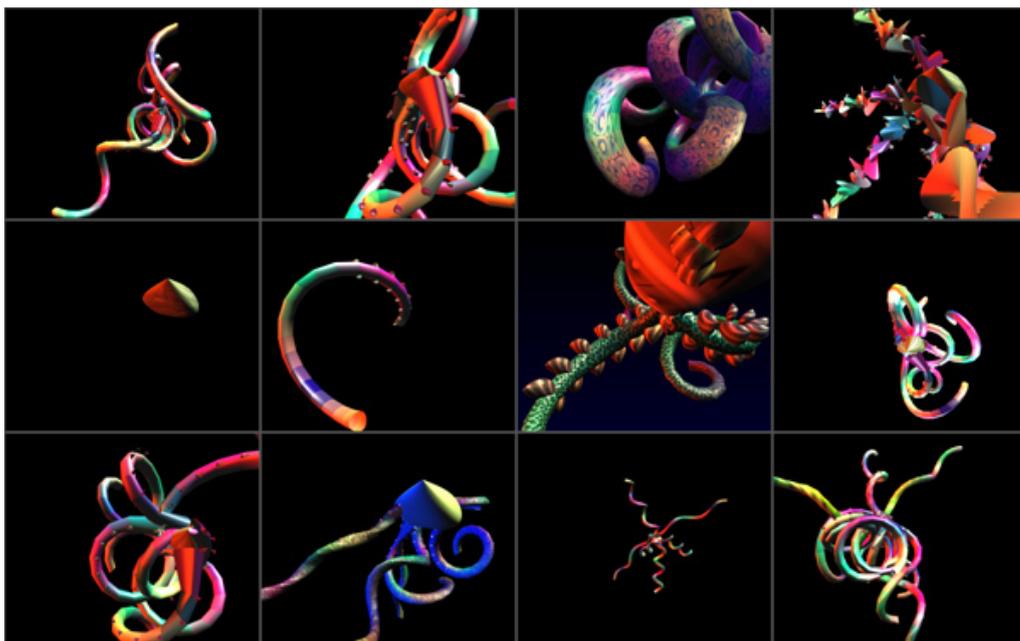


Figura 6: Formas emergentes da obra Galápagos, Karl Sims (1997)

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.

1.4.2. Redes Neurais Artificiais

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 7, 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.

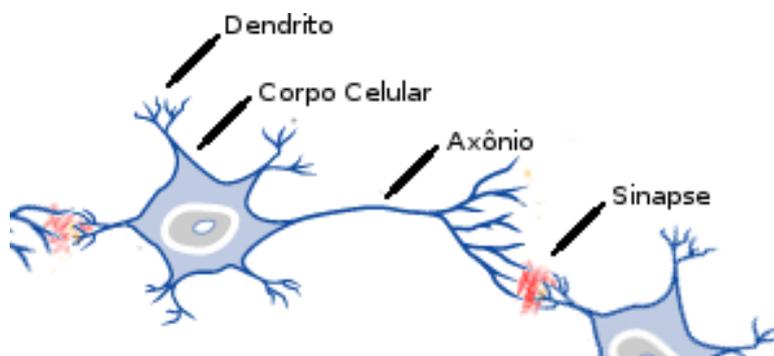


Figura 7: Representação simplificada da estrutura morfológica de um neurônio (do autor).

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 o conhecimento através de uma rede distribuída 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 o 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 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.

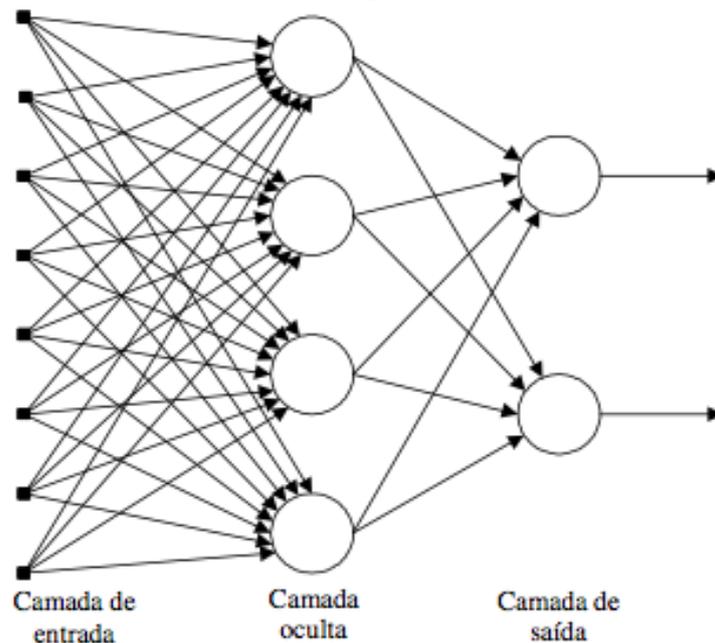


Figura 8: Topologia de uma Rede Neural Artificial totalmente conectada alimentada à frente (do autor).

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 9, 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 9: *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).

Outra característica importante nos modelos de RNA é o seu caráter multicamada. Um modelo típico pode ter uma camada de entrada (*input layer*), uma camada oculta (*hidden layer*) e uma camada de saída (*output layer*) (ROADS, 1996). Um simples exemplo de sequência de treinamento para composição melódica seria um rol de melodias desejáveis e indesejáveis associado ao julgamento de um “treinador” que as caracterizaria com 0 ou 1.

1.4.3. Sistemas Multiagentes (SMA)

Os sistemas multiagentes (SMA) constituem uma subárea relativamente nova da IA cujos esforços se encontram no estudo de agentes autônomos em um ambiente multiagentes. No entanto, enquanto a IA se concentra no estudo dos componentes da inteligência, como visão, cognição, aprendizagem, planejamento e raciocínio, a SMA se debruça sobre as entidades que integram estes componentes e como estas entidades interagem socialmente. Para a SMA, a autonomia desempenha uma papel importantíssimo pois dota o agente da capacidade de definir por si só quais ações deve executar além de comunicar-se outros agentes a fim de realizar ações de cooperação, competição, coordenação ou negociação (REIS, 2003).

Um dos pontos essenciais para permitir a criação de uma sociedade de agentes está na capacidade de coordenação de uma forma geral. Uma vez que os agentes são autônomos, a coordenação passa a ser realizada de forma distribuída entre os próprios agentes que tornam-se responsáveis por mediar suas próprias interações. Se considerarmos que um SMA pode conter um conjunto heterogêneo de agentes podemos supor que torna-se necessária a criação de algum tipo de protocolo de comunicação e negociação para mediar as interações. Neste sentido, toda uma infraestrutura multiagentes é necessária para que um agente possa efetivamente operar como sendo parte do sistema, figura 10.

Em um SMA, cada agente tem sua própria capacidade de percepção e ação no ambiente, mantendo assim uma esfera de influencia própria, independente do modelo de agente inteligente implementado. Ou seja, o agente torna-se capaz de influenciar em uma determinada parte do seu ambiente. Estas esferas de influencia podem

convergir de acordo com as relações estabelecidas entre os agentes, fazendo emergir um relacionamento de dependência entre os agentes (WOOLDRIDGE, 2009).

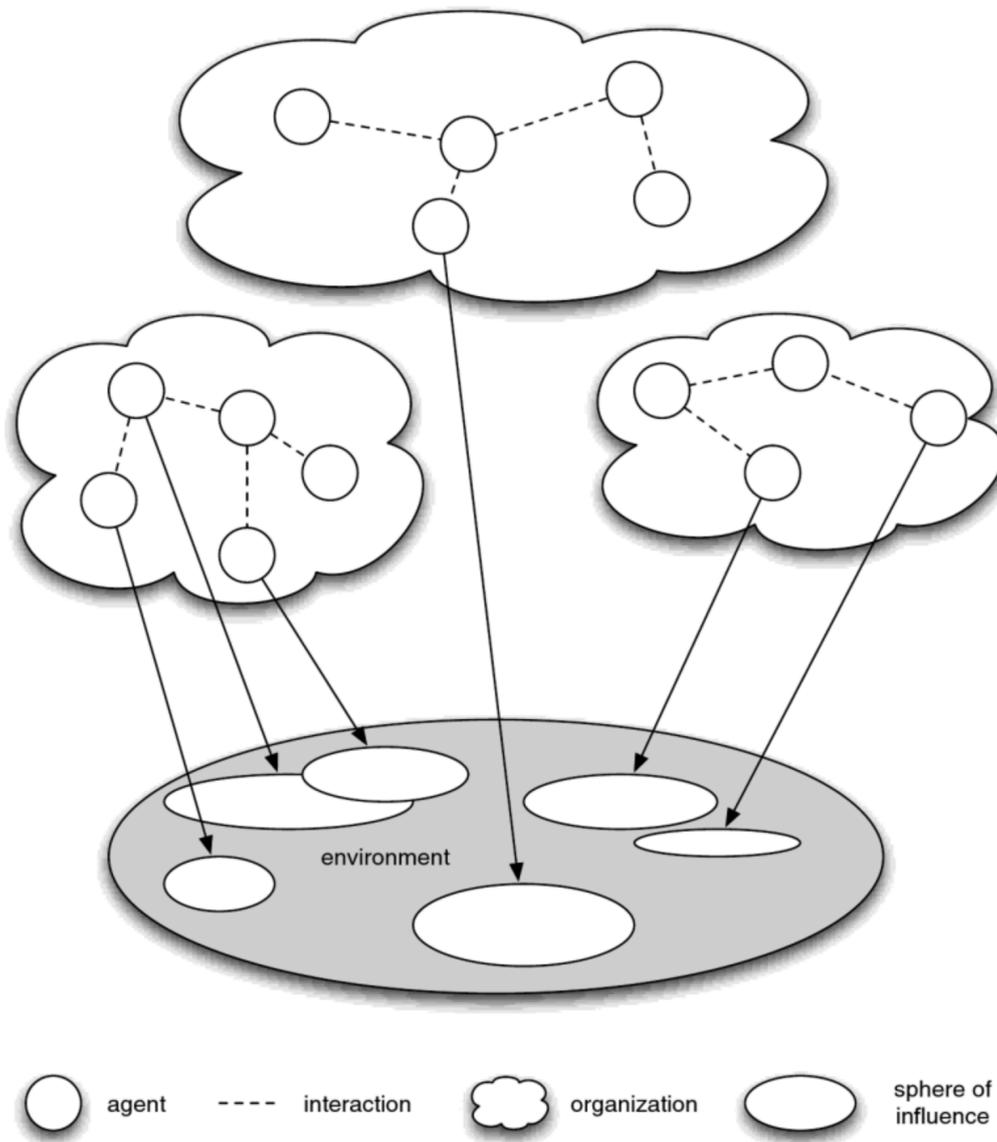


Figura 10: Estrutura típica de um sistema multiagentes (WOOLDRIDGE, 2009).

Agentes são também podem ser conectados por vários tipos de relacionamentos como de poder, onde um atua como chefe do outro. A fim de estabelecer relações entre os agentes se faz necessário um determinado que um protocolo de comunicação seja explicitamente determinado a fim de normatizar as requisições entre os agentes. A ajuda a regular a organização do sistema, negociação de tarefas e recursos entre agentes além da coordenação de esforços (WOOLDRIDGE e JENNINGS, 1995).

A comunicação entre os agentes pode ser realizada de diferentes maneiras, utilizando diferentes protocolos. Quando os agentes se comunicam diretamente uns com os outros diz-se que a comunicação é direta. Um agente utiliza algum protocolo de comunicação para fazer enviar uma mensagem à outro. Neste caso o agente deve ser capaz não apenas de formular suas próprias mensagens como interpretar e deliberar a respeito das mensagens recebidas. Knowledge Sharing Effort (KSE) foi formado, com o intuito de discutir protocolos em desenvolvimento para a troca de conhecimento representado entre sistemas de informação autônomos.

O KSE gerou dois principais pacotes, sendo o primeiro a KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) (FININ, FRITZSON, *et al.*, 1994). KQML é uma linguagem para comunicação entre agentes e define um formato de comum para mensagens. Cada mensagem contém uma performativa (que pode ser vista como o tipo da mensagem ou o tipo de requisição) e um determinado número de parâmetros associados à valores (que podem ser interpretados como o conteúdo da mensagem).

O conjunto de performativas associadas ao KQML podem ser agrupadas em três grupos: (a) as performativas de discurso são utilizadas no contexto de troca de informação e conhecimento entre dois agentes, por exemplo *tell*, *ask-if*, *ask-one*, *ask-all*, etc.; (b) intervenção e mecânica de conversação são utilizadas para intervir em durante o curso normal de uma conversação, por exemplo, *error*, *sorry*, *discard*, etc.; (c) performativas de rede e facilidades permitem que os agentes encontrem outros agentes e possam ajuda-los a lidar com suas próprias questões, por exemplo, *register*, *unregister*, *forward*, etc.

Em 1995, a Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) começou seu trabalho em padrões em desenvolvimento para sistemas de agente. O centro de mesa desta iniciativa era o desenvolvimento de uma ACL (Agent Communication Language) ou Linguagem de Comunicação de Agentes. A ACL é superficialmente semelhante a KQML pois define um formato para mensagens, através de performativas e parâmetros (WOOLDRIDGE, 2009).

No entanto, o uso de um padrão de comunicação entre agentes não é pré-requisito para um sistema multiagentes. Os esforços neste sentido são para que no futuro seja

possível interligar diferentes sistemas multiagentes formando um sistema mais complexo com uma maior rede de interação.

Um ótimo exemplo de sistema multiagentes que utilizam um sistema de comunicação próprio é a obra Morfogênese, figura 11, desenvolvida pelo Tiago Barros (SILVA, 2013). Neste sistema são utilizados agentes evolutivos geométricos são capazes de interagir, demonstrando uma infraestrutura semelhante ao descrito por Wooldridge (2009).

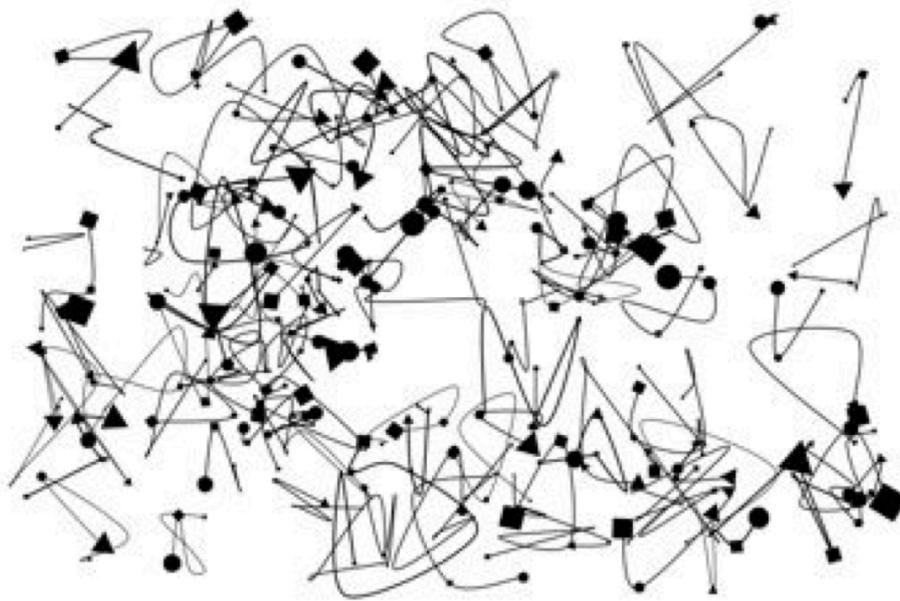


Figura 11: Representação visual em preto e branco dos agentes que compõem o sistema multiagentes (SILVA, 2013).

No sistema multiagentes Morfogênese o autor destaca que os agentes são autônomos, possuindo comportamentos programados que determinam seus arranjos emergentes através de representações visuais, cinéticas e sonoras. Nesta obra, a interação entre os indivíduos desempenha um papel fundamental para a concepção poética. A comunicação entre os indivíduos se dá através da detecção de colisão, onde cada indivíduo é capaz de perceber um outro além de possivelmente estabelecer um relacionamento de competição, predatismo, parasitismo ou colaboração. Desta forma,

emerge da interação como um todo um comportamento inteligente de clusterização baseada na afinidade entre os agentes.

Outro trabalho artístico que aborda claramente a relação multiagentes é a obra #OpenEnvironment⁵, onde uma comunidade virtual de indivíduos, baseado no comportamento natural biológico, interagem entre si. Estes indivíduos precisam de energia para sobreviver, mas a energia deles é a informação. O fluxo de informação gerado cotidianamente pelas pessoas pode ajudar a mantê-los equilibrados. Em outras palavras, OpenEnvironment é uma obra de arte que aponta algumas questões emergentes relacionadas à forma como o fluxo de informação nas cidades é capaz de promover grandes mudanças socioambientais, transformando e redefinindo as relações existentes.

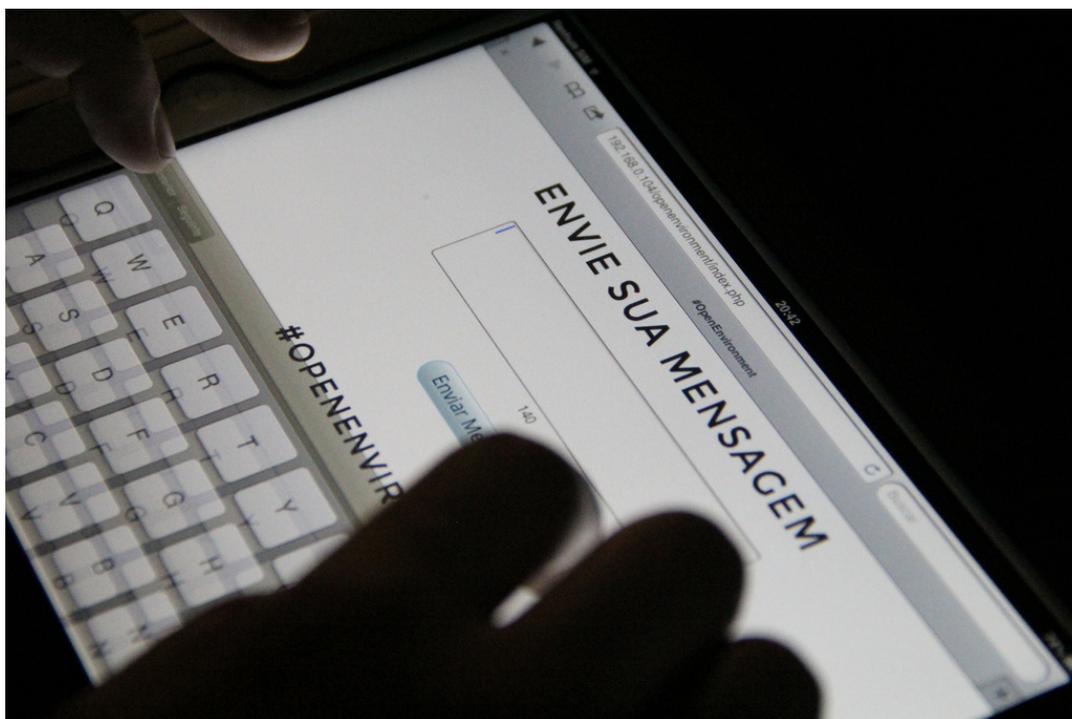


Figura 12: Interface de interação local do público com #openEnvironment (Barretto, 2013).

A interação com o público se deu através das mensagens do Twitter com a hashtag #OpenEnvironment, figura 12. As mensagens capturadas pelo sistema eram então exibidas em um painel de LEDs, localizado na sede do SESI na avenida Paulista

⁵ Um vídeo completo da interação e do sistema multiagentes pode ser visto em <https://www.flickr.com/photos/latemedia/10312997215/in/photostream/>

(figura 13). Os indivíduos representados visualmente por pixels, tinham como objetivo alimentar-se as mensagens projetadas na tela. Neste sentido, cada indivíduo era livre para tomar suas próprias decisões e organizar-se em grupos caso fosse do seu interesse.

Cada um dos indivíduos, ao ser criado, tinha associado a si uma expectativa de vida, que podia ser estendida através da fagocitose das mensagens. Portanto cada um dos agentes poderia escolher entre basicamente três ações: permanecer parado, mover-se, alimentar-se. De uma forma geral, pode-se perceber algumas aglomerações emergentes de agentes movendo-se de forma conjunta. Credita-se que este comportamento ao fato de que cada um dos agentes, dentro da sua esfera de influência, pode perceber outros agentes e sua movimentação e ser influenciado por esta movimentação.



Figura 13: Projeção de mensagem enviada pelo twitter para interação com o ecossistema virtual.

Outro fator importante da obra é que caso os indivíduos não se alimentassem, por decisão própria ou por falta de informação disponível para ser fagocitada, eles tenderiam a perecer. Ao remover um indivíduo cuja expectativa de vida foi alcançada ou acelerada devido à inanição um novo indivíduo aleatório era inserido em seu lugar.

Portanto, não havia a utilização de operadores genéticos. Mesmo assim, foi possível visualizar um determinado comportamento emergente a partir da interação entre os agentes, que se comunicavam de forma indireta e subjetiva através da visualização da sua esfera de influência.

1.5. Representação de Conhecimento, Cognição 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: (a) capture generalizações, identificando e agrupando as propriedades relevantes; (b) seja compreensível para as pessoas que o fornecem; (c) 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; (d) possa ser utilizado em diversas situações mesmo sendo incompleto ou impreciso; (e) 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.

1.5.1. Abordagem Simbólica.

Para a abordagem lógica, pregada pela GOFAI, a inteligência requer conhecimento declarativo e alguma forma de mecanismo de raciocínio, denominado cognição, além de permitir que o conhecimento e o raciocínio possam ser estudados abstraindo os detalhes de percepção e controle motor. A evolução dos estados da cognição e linguagem permitem descrever a evolução destes, criados durante o processo de cognição, através do uso de vocabulário similar à linguagem natural ou

linguagem lógico-matemática. Esta evolução dos estados da cognição permite que se desenvolva uma forma de aprendizagem independente dos estados cognitivos, configurando aprendizagem.

Baseado nesses preceitos, o comportamento inteligente pode ser descrito em termos do conhecimento que demonstram ter ao executarem uma certa tarefa que demanda inteligência. Logo, os programas inteligentes devem ser capazes de modelar conhecimento e manipulá-lo. Neste sentido, a representação de conhecimento, que será manipulada através de um mecanismo de raciocínio, diz respeito à um formalismo escolhido para descrever um conhecimento do mundo real.

No entanto o conhecimento humano é volumoso, difícil de caracterizar, altamente mutável e normalmente se organiza dependendo da forma como será utilizado. As técnicas de IA exploram o conhecimento de forma que ele seja capaz de capturar generalizações através da valorização das propriedades importantes, permitindo modificação, correção e compreensão além de tentar limitar as várias possibilidades que, geralmente, seriam analisadas.

Charniak e McDermott (CHARNIAK e MCDERMOTT, 1985) corroboram a afirmação de Barr e Feigenbaum (BARR e FEIGENBAUM, 1981), no que tange a produção de comportamento inteligente, ao afirmar que Inteligência Artificial é o ramo da Ciência da Computação que trata do estudo das faculdades mentais através da modelagem computacional. Estes modelos apresentam características associadas à inteligência no comportamento humano, como linguagem, raciocínio, etc.

É assaz difícil encontrar um domínio real que possa ser estruturado de maneira precisa em sua totalidade. Para realizar algum raciocínio sobre qualquer domínio é necessário a construção de um modelo que passa a ser uma representação simplificada do conhecimento e, certamente, deixará alguns fatos desconhecidos seja por ignorância teórica ou prática. Por isto, normalmente, os sistemas inteligentes devem lidar com a falta de informação em algum momento e associar medidas de certeza aos fatos (crenças), gerando conhecimento incerto.

O conhecimento incerto pode ser parcial ou aproximado. O conhecimento é parcial quando algumas respostas a questões relevantes não são conhecidas enquanto o conhecimento é aproximado quando as respostas fornecidas não são precisas ou

exatas em decorrência da baixa confiabilidade da fonte ou sofrem de imprecisão inerente à linguagem representativa.

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 a implementação completa de um agente inteligente, além da representação do conhecimento, se faz necessária a presença de algum mecanismo de inferências capaz de identificar o estado atual do agente através do mapeamento das suas percepções para conhecimento representados. Este estado atual, por sua vez, servirá como *input* para a tomada de decisão do agente sobre qual deverá ser a ação executada. Este mecanismo cognitivo de raciocínio é expresso de acordo com a representação do conhecimento e pode ser dividido basicamente em dois grandes grupos: o raciocínio monotônico e o não-monotônico.

O raciocínio monotônico baseia-se em conhecimento organizado através da Lógica de Primeira Ordem (LPO) onde o domínio do problema é bem conhecido, completo e imutável (mundo fechado). Todos os fatos que estão registrados na base de conhecimento do sistema são verdadeiros, sem nenhuma exceção. Não há incerteza associada para qualquer elemento do domínio e a adição de novos fatos não deve invalidar nenhum fato antigo e, portanto, pode ser derivado diretamente dos fatos já

existentes. Assim sendo, uma vantagem deste tipo de raciocínio é que ao acrescentar um novo fato, não há necessidade de validação ou verificação de inconsistências considerando a base “antiga”. Além disso, ao acrescentar um novo fato à base não é necessário armazenar a lista de fatos que corroboram o novo fato posto que a base antiga se mantém e apenas acrescenta-se o novo fato.

No entanto, em algumas situações do mundo real envolvendo parâmetros subjetivos, por exemplo, torna-se muito difícil formalizar o conhecimento de forma completa, consistente e imutável. Mesmo quando isto é possível, nem sempre os novos fatos adicionados à base são não-conflitantes com o restante dos fatos. Um bom exemplo de aplicação do raciocínio monotônico é o mundo do Wumpus (figura 14), onde o domínio é todo conhecido e facilmente modelável para a IA (figura 15).

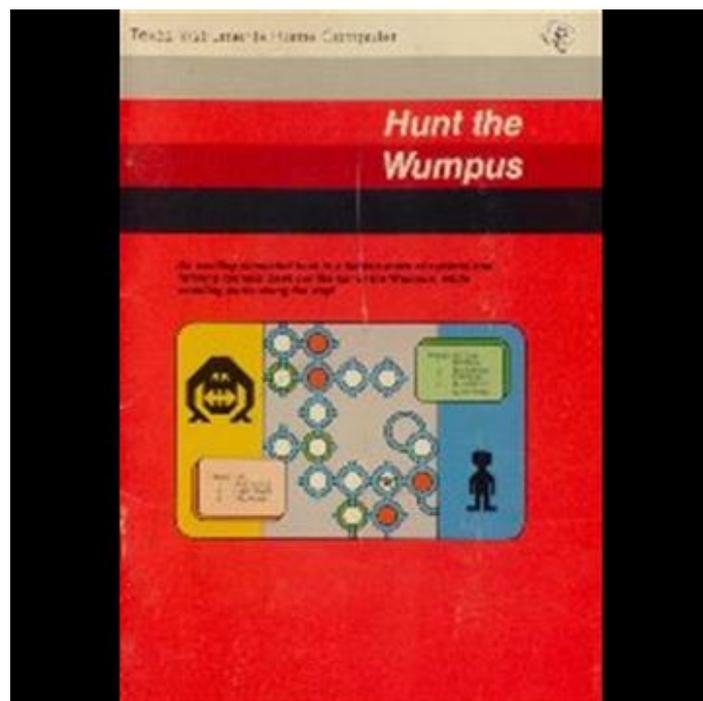


Figura 14: Implementação do mundo do Wumpus como jogo para atari (YOB, 1976).

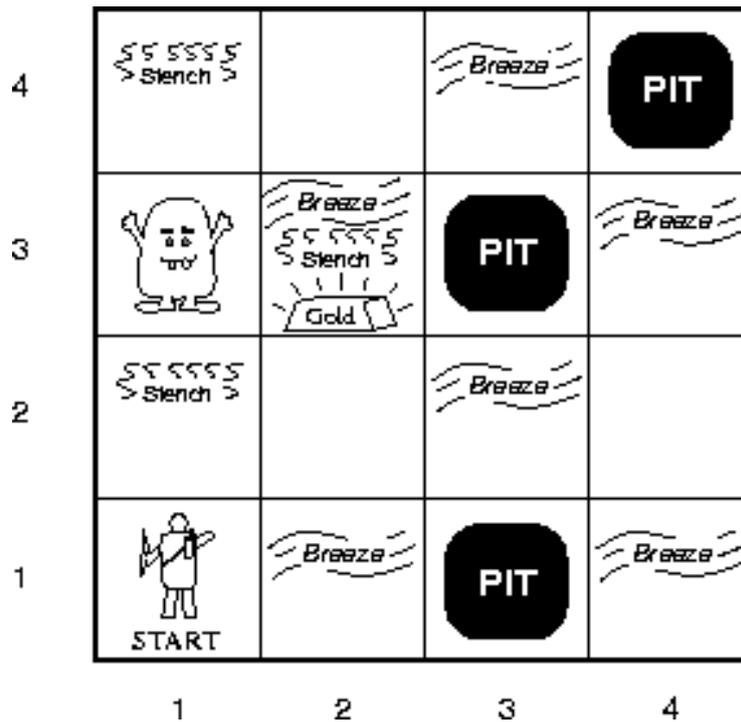


Figura 15: Modelagem do jogo do Wumpus para agentes inteligentes (RUSSEL e NORVIG, 2003).

O Mundo do Wumpus foi proposto em 1972 por Gregory Yob que cansado dos jogos da época que eram baseados em grades cartesianas decidiu então criar um novo tipo de jogo para computador (YOB, 1976). Este mundo é caracterizado por um labirinto repleto de abismos, habitado por um terrível monstro, Wumpus. Além disso, o mundo também esconde perigosas armadilhas. Manter-se vivo é a principal tarefa para se concluir o objetivo. Porém, isso não é muito fácil, no interior da caverna, deve-se ficar muito atento às indicações de perigo uma vez que o agente é dotado de percepções, como por exemplo, ele é capaz de sentir a brisa que sai dos abismos espalhados pela caverna Também é possível sentir o mal-cheiro exalado pelo terrível Wumpus. Após essa perigosa busca, deve-se encontrar a o ouro para que jogo termine.

O raciocínio não-monotônico pode ser visto como uma extensão da LPO onde a cada novo fato acrescentado à base é feita uma verificação de consistência pois neste caso, trabalha-se com um domínio que pode ser mutável ou incompleto. Neste tipo de raciocínio são admitidas inferências realizadas na ausência de informações contrárias e que podem ser validadas ou invalidadas por novas informações através de

um mecanismo de revisão de crenças. Este tipo de raciocínio não-monotônico é denominado raciocínio de exceções.

Um exemplo clássico do raciocínio não-monotônico é que podemos afirmar que os pássaros voam, se dissermos que tweety é um pássaro, o sistema, na ausência de informação contrária infere que tweety também voa. Este fato é então acrescentado à base e é considerado como verdadeiro até que informemos ao sistema que tweety é um pingüim (e pingüins não voam). Neste caso, então, é necessário rever a afirmação de que tweety voa através do mecanismo de revisão de crenças, invalidando-o (ou tornando falso).

Há ainda o raciocínio minimalista, onde parte-se do princípio de que se algo é verdadeiro e relevante, está na base de conhecimento, o raciocínio de abdução que utiliza um mecanismo de inferência permitindo raciocinar a partir dos efeitos para uma possível causa, entre outros.

O raciocínio analógico baseia-se na determinação de semelhanças e relações entre dois domínios objetivando aplicar o conhecimento adquirido num domínio específico em um outro domínio semelhante. Este tipo de raciocínio pressupõe que existe conhecimento prévio, fornecido por um especialista, acerca dos problemas e respectivas soluções em domínios diversos. Uma utilização prática do raciocínio analógico se dá com relativo sucesso no teste de prova automatizado de teoremas baseando-se em outras demonstrações já conhecidas.

Para aplicação de uma solução pré-existente à um novo caso, deve existir no sistema uma forma de mensurar a eficácia/eficiência das soluções existentes, classificando-as de acordo com o grau de similaridade entre o problema conhecido e o problema a ser solucionado, possibilitando assim a escolha da melhor solução possível. Esta abordagem não garante uma solução ótima do problema, o que pode ser visto como uma desvantagem. Além disso, nem todo domínio de problemas e soluções é facilmente modelável de forma a permitir este tipo de comparação sobretudo se considerarmos que os parâmetros levados em consideração ao realizar a comparação de similaridade entre dois problemas serão decisivos para o sucesso do sistema, sendo a recíproca verdadeira.

O raciocínio plausível utiliza uma abordagem numérica para tratamento de incerteza. Nesta abordagem um determinado fato é caracterizado dentro de um intervalo numérico que determina níveis de evidência e crença (ou crença e plausibilidade) associados à uma incerteza resumida. Assim, ao invés de inferir um nível pontual de certeza (verdadeiro ou falso, por exemplo), utiliza-se uma medida numérica para cada proposição. A adição de novos fatos demanda uma combinação e propagação da incerteza à ele associada como forma de rever os níveis de crença e plausibilidade dos outros fatos contidos na base.

1.5.2. Abordagem Conexionista

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 GOFAI. No entanto, numa abordagem diferente pode-se construir programas inteligentes utilizando modelos matemáticos que simulam sistemas biológicos: neuronais ou evolutivos.

Pode-se afirmar que a abordagem que raciocina baseando-se na formalização de conhecimento declarativo não é a única capaz de produzir resultados inteligentes. As 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 importantes 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 modelagem de comportamento dos neurônios, por volta de 1997, surgiu através de considerações neurovasculares, onde, por um longo período, foi estudada a ação muscular e a condução de estímulos nervosos conjuntamente. Foram propostos também vários modelos hidráulicos, mecânicos, ópticos, elétricos ou eletroquímicos, até que em 1938, Rashevsky (RASHEVSKY, 1945) propôs o primeiro modelo

matemático que utilizava equações diferenciadas para descrever o comportamento neuronal.

Os sistemas conexionistas, como as Redes Neurais Artificiais ou RNA, se baseiam no funcionamento neuronal onde o neurônio simulado passa a ser a unidade computacional básica do sistema em questão. Segundo Lippman (1997), (LIPPMANN, 1997) as RNAs são sistemas físicos que podem adquirir, armazenar e utilizar conhecimentos experimentais, alcançando uma boa performance devido à sua densa interconexão entre nós da rede.

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).

Neste caso, o conhecimento é representado através de *strings* de conexão entre elementos e do reforço ou inibição mútua dos elementos através dos outros elementos. Isso implica que não há a necessidade de um formalismo ou estruturação completa acerca do domínio pois o sistema desenvolve um comportamento inteligente através da experiência que adquire manipulando o domínio em questão.

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,

aquí, 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 projeto Geopartitura, figura 16, projeto foi desenvolvido num processo transdisciplinar, unindo sociologia, arquitetura, engenharia acústica, computação ubíqua, design, inteligência artificial e arte musical (VENTURELLI, BARRETTO, *et al.*, 2003). 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. 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.

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.

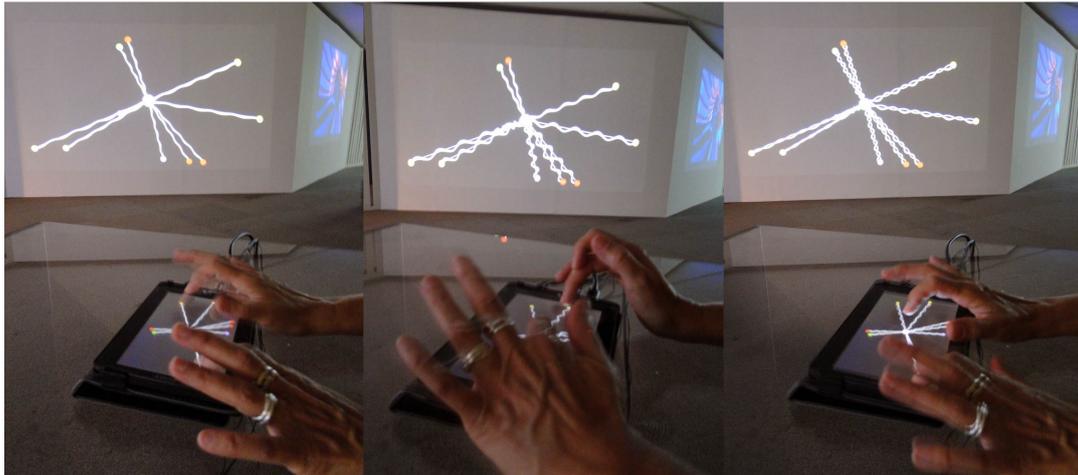


Figura 16: Geopartitura em exposição durante o 10º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia, Brasília. (2011)

O geoposicionamento de cada celular permite 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, criando assim uma rede de conexões entre os usuários que utiliza um modelo semelhante ao das redes neurais artificiais, figura 17.

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.

Ao conectar os dispositivos/usuários/agentes geramos uma topologia onde cada nó da rede age como um neurônio artificial. O estímulo gerado pelo interagente ao tocar as cordas virtuais que aparecem na tela do dispositivo móvel é analisado por uma função de ativação $f(i)$ que possui um limiar pré-definido. Se o estímulo ultrapassa o limiar estabelecido, uma mensagem é então enviada aos outros dispositivos que estão conectados ao que foi estimulado, como em uma sinapse neuronal biológica.

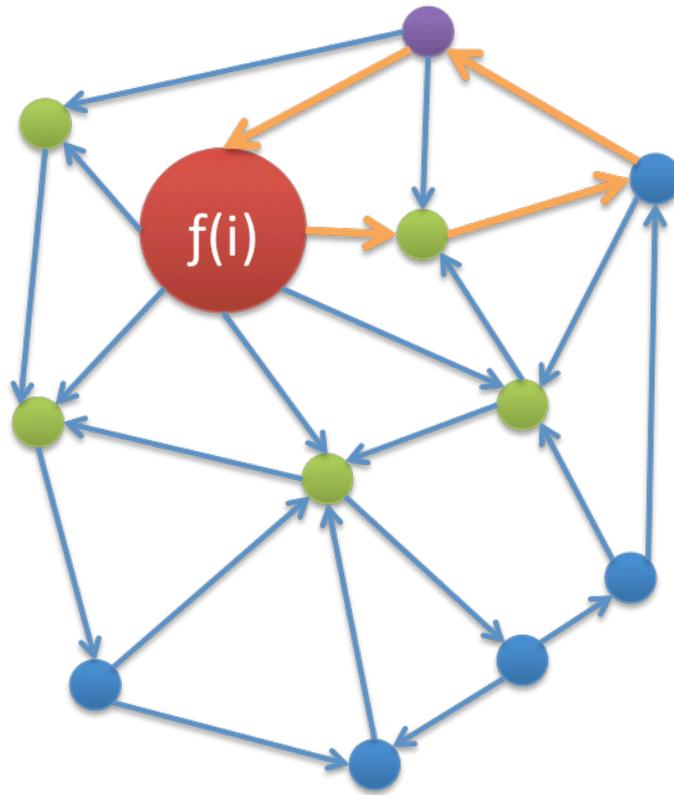


Figura 17: Topografia das conexões entre usuários no sistema Geopartitura (do autor).

Esta rede de conexões e sinapses resulta em paisagens sonoras geradas como concerto e 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 e a interação trabalharem.

A aprendizagem no sistema geopartitura se faz através do ajuste dos pesos sinápticos associados à cada conexão. Quanto mais estímulos uma determinada conexão recebe, maior torna-se o seu limiar, ou seja, menos sensível ela será. Podemos considerar, de um ponto de vista poético, que o conhecimento representado no sistema relaciona imagem e som, no *ritmo* do 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.

Percebe-se, então, que não há um consenso quanto à definição formal de Inteligência Artificial. Pode-se concluir que, apesar de correta considerando as abordagens da GOFAI, a afirmação de Barr e Feigenbaum, não se aplica, necessariamente, às abordagens da IA “moderna” como as Redes Neurais, por exemplo. Neste caso, seria mais prudente adotar uma definição mais ampla como a de Inteligência Artificial como uma espécie de automação de comportamento inteligente, segundo Luger e Stubblefield (LUGER, 2004).

1.5.3. Abordagem Social e Emergente

Assim como a abordagem conexionista, que teve sua inspiração inicial apoiada no modelo neuronal biológico a fim de gerar um modelo computacional equivalente, uma série de outras analogias biológicas também acabou influenciando a concepção de novos modelos de representação, cognição e aprendizagem de máquina. Estes novos modelos inspiram-se principalmente nos processos subjacentes à evolução através da adequação de uma população de indivíduos através da sobrevivência dos seus membros mais ajustados. O poder de seleção dos indivíduos através deste processo se demonstra através da própria emergência de espécies na evolução natural, assim como os processos sociais subjacentes às mudanças sociais (LUGER, 2004).

Os modelos emergentes de representação de conhecimento funcionam através do processo de introdução de variações em sucessivas gerações ao passo que se eliminam os indivíduos menos ajustados. Assim, emerge, uma população cuja adaptação exibe uma crescente capacidade e diversidade. Evolução e emergência acontecem em populações de indivíduos corporificados, cujos princípios são discutidos no item 2.1. Estes indivíduos desempenham ações que afetam outros indivíduos e, por sua vez, são afetados por outros indivíduos. Assim, as pressões seletivas não são unicamente oriundas do ambiente no qual os indivíduos estão inseridos mas também da interação com outros membros da população, configurando assim uma ecossistema mais complexo.

Conforme pudemos ver no item 1.5.2, a representação do conhecimento se dá através do genótipo, formado por um conjunto de alelos. Este modelo, assim como na evolução biológica, produz conhecimento operando sobre unidades de informação que são transmitidas e adaptadas socialmente. A corporificação do indivíduo, usualmente referida como seu fenótipo, descreve o seu comportamento e características físicas do indivíduo baseadas na codificação do genótipo.

Neste sentido, quando utilizamos um algoritmo genético para solucionar um problema genérico temos três estágios distintos: primeiro, os indivíduos (potenciais soluções) são representados de tal forma que sejam capazes de suportar variações evolutivas através de operadores de seleção. No segundo estágio, são definidos alguns mecanismos de acasalamento e mutação, análogos às atividades sexuais e mutantes de formas biológicas. Estes mecanismos são capazes de produzir uma nova geração de indivíduos através da recombinação de características de seus pais e da introdução de uma variação genética. Finalmente, uma função de aptidão julga quais indivíduos mais adaptados serão favorecidos através de uma maior probabilidade de propagação de seus alelos.

Os algoritmos genéticos abordam a aprendizagem como uma competição numa população de possíveis soluções. Este aprendizado é guiado pela função de avaliação que determina o grau de adaptação de cada indivíduo a fim de determinar para cada um deles um índice (geralmente numérico). O procedimento pode ser descrito no algoritmo adaptado de Luger (2004) a seguir:

1. Inicializar o tempo (t)
2. Inicializar a população $P(t)$;
3. Avaliar a aptidão de cada membro da população $P(t)$;
4. Selecionar probabilisticamente os membros da população $P(t)$ com base na aptidão;
5. Produzir descendentes $P'(t)$ utilizando operadores genéticos;
6. Substitua probabilisticamente os membros de $P(t)$ por $P'(t)$ para formar $P(t+1)$;
7. Ajuste o tempo $t := t+1$;
8. Volte ao passo 3.

Esta estrutura básica de algoritmo é capaz de descrever a aprendizagem genética, porém são cabíveis diferentes implementações. Pode-se, por exemplo especificar qual o percentual da população que deve permanecer para a próxima geração além da frequência em que os operadores genéticos são aplicados.

Abordagens mais sofisticadas podem ordenar uma população pela sua aptidão e utilizar este fator para determinar uma medida de probabilidade de eliminação onde esta seria uma função inversa da sua aptidão. Este tipo de abordagem torna-se interessante pois, ao utilizar esta medida como um dos fatores para eliminar um candidato, a probabilidade de eliminação de um indivíduo com alta avaliação de aptidão é muito pequena mas não impossível. Assim, mesmo os indivíduos mais aptos da sociedade podem ser removidos, fazendo com que alguns indivíduos cuja aptidão global seja pobre sejam “salvos”. Neste sentido há uma enorme vantagem sobre a abordagem genérica, pois os indivíduos de baixa aptidão podem conter algum componente que possivelmente contribuirá para uma solução mais poderosa futuramente, além de manter uma maior diversidade genética.

Outro fator importantíssimo para a abordagem emergente é a escolha dos operadores genéticos. Os operadores genéticos podem ser interpretados como equivalentes à parte da máquina de inferência da abordagem simbólica pois são responsáveis pela engrenagem que representaria o raciocínio, cognição e aprendizagem nestes sistemas.

Existem vários operadores genéticos capazes de produzir descendentes que resgatem características de seus pais, como a transposição e inversão. Dentre eles, o mais comum é o operador de recombinação (*crossover*). A recombinação parte de dois indivíduos previamente selecionados (probabilisticamente ou não) e os divide, trocando seus componentes internos para produzir dois novos candidatos. Considerando dois indivíduos cujo genótipo está representado em um byte (8 bits), o operador divide as cadeias no meio e forma dois filhos cujo segmento inicial se origina de um pai e cujo segmento final vem do outro pai, conforme ilustra a figura 18.

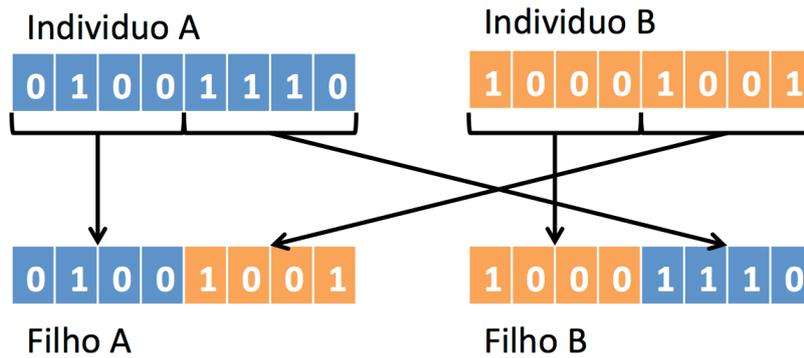


Figura 18: Aplicação do operador de recombinação entre dois indivíduos previamente selecionados A e B para geração de dois filhos A e B (do autor).

Vale ressaltar que a decisão de divisão das cadeias ao meio é arbitrária e poderia se dar em qualquer ponto da representação, definido de forma aleatória ou adaptado de acordo com a evolução do processo.

O operador de mutação também exerce um papel essencial na evolução da população como um todo, além de garantir uma diversidade genética. A mutação toma um único indivíduo e troca aleatoriamente alguns de seus aspectos. A mutação pode, por exemplo, alterar o valor de um alelo de 0 para 1 e vice-versa. Este processo é importante pois na população inicial gerada aleatoriamente podemos deixar algum componente essencial para a solução, sobretudo se relação entre o tamanho do genótipo e a quantidade de indivíduos é pequena, ou seja, quanto maior o genótipo e menor o tamanho populacional, menor a quantidade de possíveis combinações representadas.

Considere que os indivíduos de uma população tem seu genótipo representado por um byte e que na população inicial gerada aleatoriamente não há nenhum indivíduo com um bit 1 na primeira posição. O operador de recombinação não seria capaz de gerar qualquer descendente que possua esta característica uma vez que nenhum dos possíveis pais a exibe. O operador de mutação não garante que haverá uma mutação específica para este alelo mas torna possível a possibilidade de que isso aconteça de forma emergente.

De acordo com o algoritmo genérico citado anteriormente, toda a operação genética de recombinação, por exemplo, se baseia na função de adaptação. Esta função normalmente determina o grau de adaptação dos indivíduos através da

mensuração da distância atual entre o indivíduo e o objetivo: quanto mais próximo do objetivo proposto, maior o grau de adaptação. Neste sentido, as funções retornam valores numéricos fixos para as mesmas configurações de genótipos. Assim, dois indivíduos que possuem os mesmos genes na mesma ordem em qualquer tempo de execução do algoritmo.

Uma vez que a aprendizagem em um sistema dessa natureza se dá através da adaptação dos indivíduos e esta adaptação por sua vez é guiada por uma função fixa, podemos pensar que há pouco ou nenhum espaço para o surgimento de características emergentes. Isto é real se considerarmos apenas a última geração de indivíduos, que tendem à convergir cada vez mais para um conjunto de possíveis soluções que maximizam a resposta da função de adaptação.

O ponto crítico desta abordagem padrão é justamente a linearidade evolutiva no sentido de maximizar sempre a função de adaptação. Assim, a responsabilidade do designer ao desenvolver um sistema adaptativo é grande pois a função escolhida pode determinar completamente o conjunto final de indivíduos assim como o curso evolutivo. Interessante perceber que a utilização de funções de adaptação “duras” geram, ainda assim, durante o curso evolutivo potenciais resultados emergentes discutidos na próxima seção.

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 cujos resultados serão analisados no item 2.4

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 2.

Semitons	Intervalo
0	Uníssono
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	8º Justa

Tabela 2: 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 3.

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

Tabela 3: 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 tetrade, conforme a tabela 4 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 4: 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). influência.

1.6. Relevância da Inteligência Artificial e Suas Abordagens

O comportamento inteligente modelado computacionalmente é primordial no desenvolvimento desta pesquisa. Se considerarmos que o principal objetivo de um sistema Artelligent é exibir um comportamento que possa ser compreendido como criativo, devemos entender que a base, alicerce, que possibilita este tipo de manifestação encontra-se exatamente nas técnicas de IA.

Nesta seção foi realizado um recorte teórico e técnico da IA visando ressaltar os três primeiros princípios que compõem um sistema considerado Artelligent: (a) utilização de um agente ou conjunto de agentes inteligentes e seu ambiente de tarefa, (b) a utilização de alguma técnica de IA para descrever o agente e (c) a sua respectiva representação de conhecimento.

As técnicas e exemplos de IA apresentados aqui, além de ilustrar a enorme gama de aplicações possíveis, compõem a base teórica-técnica sobre a qual a pesquisa se desenvolve. A utilização de agentes inteligentes ou sistemas de agentes inteligentes em um determinado ambiente de tarefa pressupõe certamente a utilização destes algoritmos de IA, além de considerar também a representação de conhecimento.

Os ambientes de tarefa podem ser definidos através de diversas dimensões como a discretização do tempo, a capacidade de observação parcial ou total do agente sobre o ambiente, a discretização das ações do agente e a previsibilidade das mudanças do ambiente. Neste sentido, compreender e descrever o ambiente torna-se

uma tarefa tão importante quanto escolher corretamente o modelo de agente à ser implementado. Considerando o framework que está sendo apresentado, propõe-se que a identificação do ambiente seja considerada a fim de possibilitar a melhor escolha quanto às definições do próprio agente.

Uma vez definido o ambiente, devemos considerar durante o planejamento do nosso modelo de agente (a) as técnicas de desenvolvimento de agente e (b) a representação do conhecimento, cognição e aprendizagem. Muito embora os dois pontos estejam fortemente interligados, podemos em um nível mais avançado propor estruturas híbridas como sistemas multi-agentes de redes neurais ou algoritmos genéticos de redes neurais, por exemplo. No entanto, o nível de complexidade aumenta consideravelmente quando tratamos de estruturas híbridas, podendo a complexidade organizacional gerada pela arquitetura confundir-se com os resultados emergentes oriundos do(s) agente(s). Dentre as técnicas de IA, foram destacadas aqui as abordagens alternativas à GOFAI e a representação lógica/simbólica: Algoritmos Genéticos, Redes Neurais Artificiais e Sistemas Multiagentes.

Por fim, o agente deve ter capacidade de compreender o ambiente onde esta inserido e raciocinar sobre ele a fim de definir quais ações deve desempenhar. Neste framework propomos que a representação do conhecimento, cognição e aprendizagem devem ser consideradas sob três perspectivas distintas: simbólica, conexionista e social/emergente. O raciocínio lógico ocupa um lugar predominante no campo da IA considerada como GOFAI (Good Old-Fashioned Artificial Intelligence) onde persiste a abordagem simbólica, que muito embora não pareça a mais adequada para facilitar o surgimento de resultados emergentes pode dotar o agente de algum nível de criatividade (discutidos na seção 2) quando se introduz a capacidade de aprendizagem e adaptação e/ou cria-se um sistema multiagentes modelados utilizando a abordagem simbólica onde o resultado das interações entre os agentes é emergente.

As abordagens conexionista e social proveem uma maior liberdade na representação do conhecimento, uma vez que não estão necessariamente associadas à abordagem lógica. Nestas duas abordagens a representação do conhecimento não é necessariamente explícita reduzindo o papel do designer de agentes na sua construção cognitiva. Na abordagem conexionista, o agente realiza a aprendizagem através da interação com o ambiente não sendo obrigatório algum treinamento prévio. Por outro

lado, a abordagem social pode utilizar algum tipo de representação explícita que pode estar distribuída entre os agentes e normalmente será modificada e adaptada através da interação entre eles.

SEÇÃO II | Arte, Inteligência e Criatividade Computacionais

Para um sistema Artelligent o ambiente tem papel fundamental na construção cognitiva do agente. Neste sentido aqui são descritos alguns princípios de design de agentes oriundos do campo de pesquisa da IA cognitiva e corporificada que corroboram esta tese. Esta relação também está bem descrita nas abordagens sobre a criatividade oriundas da psicologia. Além disso, vale à pena ressaltar que a pesquisa realizada sobre a criatividade nos fornece poderosos *frameworks* para compreender, categorizar e classificar os diferentes níveis e manifestações da criatividade.

Estas abordagens da criatividade são de suma importância, ainda que em alguns pontos sejam contrastantes entre si, pois fornecem uma base sobre a qual podemos analisar a criatividade computacional, componente dos sistemas Artelligentes. Tanto as pesquisas do campo da IA quanto da psicologia, no que tange a questão da criatividade, apontam para um comportamento eminentemente autopoietico e emergente. Estes dois conceitos também são abordados no que concerne o comportamento criativo emergindo tanto do resultado de mecanismos cognitivos internos quanto da interação social entre indivíduos.

2.1. Princípios para Design de Agentes

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 5, 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 5: 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).

2.2. Criatividade Artística e Computacional

Uma breve recapitulação sobre a historia da pesquisa sobre criatividade sugere que varias ideias ligadas ao tema são discutidas literalmente há centenas de anos. A principio, pode-se facilmente listar entre estas ideias relacionadas à criatividade: a imaginação, a originalidade, a genialidade, o talento, a liberdade e a individualidade (ENGELL, 1981) (MARTINDALE, 2007) (SINGER, 1981).

A conceitualização da criatividade nasce da dialética sobre a própria natureza humana. A pesquisa sobre criatividade tem florescido nos últimos anos sobretudo graças ao avanço das pesquisas científicas nas psicologia cognitivas e neurociências. De acordo com Mark Runco e Robert Albert (2010), entre os anos 1920 e 1950 dentre os 121.000 títulos listados na *Psychological Abstracts*⁶ apenas 186 abordavam o tema

⁶ <http://psyresearch.org/abstracts/>

da criatividade, o que significa aproximadamente 0,002% das publicações disponíveis no acervo. De 1960 a 1997 o número de artigos subiu para aproximadamente 9.000 títulos, representando 0,1% do total. Apesar de parecer insignificante a quantidade de títulos publicados, podemos perceber claramente a aceleração do número de pesquisadores envolvidos e investigadores da área. Praticamente todos os maiores psicólogos do século XXI (Freud, Piaget, Rogers, Skinner) debruçaram-se seriamente, em algum momento, sobre a questão da criatividade humana.

Assim como as pesquisas em IA, o campo da criatividade computacional baseia-se notadamente nos estudos realizados sobre a criatividade humana e, em alguns aspectos, tenta mimetizar os aspectos biológicos da criatividade ou utiliza da categorização e definição da criatividade para definir em termos computacionais os seus algoritmos e sistemas. Portanto, nesta pesquisa, será traçado um panorama das visões sobre criatividade que podem ser computacionalmente aplicadas, sobretudo no que concerne a definição e categorização dos níveis de criatividade.

2.2.1. Pesquisa em Criatividade(s)

De um ponto de vista histórico, muito antes da visão cristã de criatividade emergir, o conceito de gênio normalmente associado com poderes místicos e uma certa proteção ou influência divina já era utilizado. Este conceito nos influenciou (e influencia) durante séculos. A capacidade criativa ocupava e denotava, portanto, um valor social. Na época aristotélica, junto com o desenvolvimento dos princípios lógicos que embasam a GOFAI, o conceito de criatividade passou a ser associado com a “louca” e frenética inspiração. A visão romana de inspiração tem duas características adicionais: era vista como uma função primariamente masculina e poderia ser passada hereditariamente.

A visão ocidental de criatividade tem origem bíblica na Genesis, seguida pela ideia do “artesão executando trabalhos divinos”. Esta crença se diferencia da visão oriental sobretudo no que diz respeito aos objetivos da criatividade e do papel do participante no processo criativo. Para os taoístas e budistas a criatividade era no máximo uma forma de descoberta e mimetismo, uma vez que a ideia de criação de algo completamente novo, ex nihilo, seria impossível em um universo completo (BOORSTIN, 1992). Platão corroborava esta teoria ao considerar que nada novo seria

possível e que a arte à seu tempo fazia um esforço para mimetizar formas ideais (RUNCO e ALBERT, 2010). Originalidade, que tornou-se um marco crítico contemporâneo da criatividade, não era portanto uma atributo considerado nestas discussões.

Estas premissas não foram seriamente discutidas ou questionadas por aproximadamente 1.200 anos até que na idade média, uma nova perspectiva surgiu como um talento especial ou incomum era manifestado por um indivíduo (normalmente homem). Durante a renascença uma mudança significativa de paradigma aconteceu e o atributo divino dos grandes artistas passou a ser reconhecido e enfatizado como habilidades e perspectivas próprias dos indivíduos (RUNCO e ALBERT, 2010).

Apesar da interessante mudança paradigmática no entendimento da criatividade, os avanços foram lentos e pouco significativos. Através dos anos, mesmo havendo algumas discussões filosóficas sobre o assunto, apenas no século XXVIII houve duas mudanças significativas sobre a perspectiva intelectual que moldou o pensamento ocidental: o movimento iluminista se tornou um movimento identificável com uma filosofia intelectualmente coerente, o rompimento com a indesejada autoridade que emanava de uma gama de dogmáticas fontes não científicas.

Ao passo que o iluminismo atingia uma massa crítica, as ciências naturais enquanto filosofia e metodologia institucionalizadas tomava forma. Com o surgimento da ciência e invenção da pesquisa, juntamente com o movimento iluminista, foi possível iniciar um processo que utilizasse algum tipo de metodologia a fim de lançar luz sobre o processo criativo humano.

Vários desdobramentos intelectuais aconteceram antes que um conceito de criatividade fosse, de fato, desenvolvido. Um destes desdobramentos aconteceu durante a primeira metade do século XVIII quando a premissa científica do direito natural foi largamente aceita (STRAUSS, 1968). Runco e Albert (2010) apontam que ainda que tangencialmente acelerou-se o processo de debates de onde surgiram quatro principais distinções: (a) genialidade foi dissociada do sobrenatural, (b) genialidade, apesar de excepcional, era um potencial em cada indivíduo, (c) talento e genialidade

eram distinguíveis um do outro e (d) o potencial e o exercício dependem da atmosfera política da época.

Posteriormente, em 1961, Melvin Rhodes desenvolveu um estudo que buscava identificar a multifacetada criação construtiva utilizada nesta pesquisa. De acordo com Rhodes, existem quatro Ps: *Person* (Pessoa), *Process* (Processo), *Product* (Produto) e *Press/Place* (Ambiente/Local). Pessoa inclui as habilidades cognitivas, traços biológicos e de personalidade. Processos descrevem os processos cognitivos que operam ao criar ideias, que incluem as etapas de preparação, incubação, iluminação e verificação. Produto inclui as ideias expressas em forma de linguagem, objeto ou outro resultado final. Ambiente inclui a relação entre o criativo e o seu ambiente (RHODES, 1961).

Neste sentido, resultados criativos são o resultado de processos criativos engajados por pessoas criativas, que são suportadas por um ambiente criativo. Mais recentemente, versões estendidas deste framework surgiram com mais dois Ps: *Persuasion* (Persuasão) e *Potential* (Potencial) (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010)

Assim como para a Inteligência Artificial, também não há um consenso quanto à definição de criatividade até os dias de hoje. No entanto há algumas definições que convergem no sentido de que há no processo criativo alguma função emergente de ressignificar ou criar algo novo, implicando na reconstrução do passado ou reinterpretação do presente (BAHIA, 2008) (HENNESSEY e AMABILE, 2010) (RUNCO e ALBERT, 2010) (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010).

Apesar de ficar claro que há diversos níveis de criatividade, Mihaly Csikszentmihalyi (apud KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010) propõe uma categorização dos níveis de criatividade de *little-C* (pequeno-C) à *Big-C* (Grande-C). Este tipo de categorização nos permite avaliar os diferentes algoritmos de acordo com a potencial geração de resultados emergentes e criativos. Ao comparar concepções teóricas se faz necessária esta distinção quantitativa entre o pequeno e o Grande-C. O Grande-C se refere a exemplos não ambíguos de expressão criativa, como o Jazz de Miles Davis ou a pintura de Picasso. Em contraponto, o pequeno-C foca na criatividade diária cotidiana, por exemplo quando uma pessoa desenvolve uma nova

forma de cozinhar quando não há um ingrediente necessário e posteriormente recebe elogios pela comida feita.

Assim como a maior parte das dicotomias, no entanto, falta à esta abordagem uma certa suavidade para os casos que se encontram nos níveis intermediários. Paradoxalmente esta abordagem pode parecer excessivamente inclusiva para alguns casos e não-inclusiva para outros. Por exemplo, se compararmos três pessoas: (a) um artista não eminente que trabalha profissionalmente com o ensino e venda de aquarelas, (b) um pintor de aquarelas amador que utiliza o seu tempo livre para pintar e (c) um estudante secundarista que gosta de pintar esporadicamente. Cada um dos casos exhibe qualitativamente níveis diferentes de criatividade, muito embora nenhum deles possa ser caracterizado como Grande-C (se comparamos com Cézanne ou Kandinsky, por exemplo).

Neste sentido, será que deve-se incluir os três casos citados acima na mesma categoria? Ao fazer este agrupamento podemos obscurecer potenciais diferenças entre subcategorias. Uma forma de resolver este tipo de limitação é criar categorias mais restritivas com cortes mais precisos seguindo exemplos “claros” de criatividade. Porém, ao realizar cortes mais ríspidos há o risco já mencionado de excluir potenciais manifestações criativas de natureza mais subjetiva.

No intuito de atenuar esta limitação na tradicional dicotomia, podemos considerar duas novas categorias: mini-C e Pro-C (KAUFMAN e BEGHETTO, 2009). A categoria mini-c ajuda a diferenciar as formas subjetivas e objetivas de criatividade que se encaixariam na categoria pequeno-C, abrindo espaço para formas mais subjetivas, pessoais, internas, mentais ou emocionais de criatividade (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010). A categoria Pro-C ajuda a distinguir a área nebulosa que existe entre pequeno-C e Grande-C. Pro-C abre espaço para criadores “profissionais” (como os artistas profissionais) que ainda não atingiram (e podem nunca atingir) o status eminente, mas ainda assim estão bem além dos criadores pequeno-C (como os hobbistas, por exemplo).

Por mais que ainda hajam lacunas e a quantidade de categorias não seja suficiente para descrever todos os níveis de criatividade possíveis, serão utilizadas

nesta pesquisa as 4 categorias para ajudar a descrever o potencial criativo dos algoritmos.

Além da categorização dos níveis de criatividade, Kozbelt propõe uma categorização das teorias sobre criatividade, organizadas em 10 categorias das quais destacam-se pela convergência com os conceitos apresentados no desenvolvimento deste pesquisa: *Developmental* (desenvolvimentista⁷), *Stage & Componential Processes* (estágios e processos componentes), *Evolutionary* (evolutiva) e *Systems* (sistêmica) (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010). Um resumo das categorias é apresentado nas figuras 19 e 20.

⁷ Tradução livre do termo inglês *developmental* que significa um olhar interessado pela compreensão do desenvolvimento de algo ou alguém, também utilizado para referir-se ao estudo das características evolutivas de animais e plantas (biologia do desenvolvimento).

<i>Category</i>	<i>Primary Assertion</i>	<i>Key Concepts</i>	<i>Six P's Focus</i>	<i>Levels of Magnitude</i>	<i>Major Studies and Examples</i>
Developmental	Creativity develops over time (from potential to achievement); mediated by an interaction of person and environment.	Place and family structures Role of play Support during transitions Longitudinal process Multivariate influences	Person, Place, Potential, & Product	Mini-c to Pro-c	Helson (1999) Subotnik & Arnold (1996) Albert & Runco (1989)
Psychometric	Creativity can be measured reliably and validly; differentiating it from related constructs (IQ) and highlighting its domain-specific nature.	Reliable and valid measurement Discriminant validity Thresholds Domain specificity	Primarily Product	Little-c to Big-C	Guilford (1968) Wallach & Kogan (1965)
Economic	Creative ideation and behavior is influenced by "market forces" and cost-benefit analyses.	Influence of macro-level factors Psychoeconomic perspective Markets of creativity Investment decisions	Person, Place, Product, & Persuasion	Little-c to Big-C	Rubenson & Runco (1992, 1995) Florida (2002) Sternberg & Lubart (1992, 1995)
Stage & Componential Process	Creative expression proceeds through a series of stages or components; the process can have linear and recursive elements.	Preparation stages Incubation and insight Verification and evaluation Component mechanisms	Primarily Process	Mini-c to Big-C	Wallas (1926) Runco & Chand (1995) Amabile (1999)
Cognitive	Ideational thought processes are foundational to creative persons and accomplishments.	Remote association Divergent/convergent thinking Conceptual combination, expansion Metaphorical thinking, imagery Metacognitive processes	Person & Process	Little-c to Big-C	Mednick (1962) Guilford (1968) Finke, Ward, & Smith (1992)

Figura 19: Sumário da categorização das teorias da criatividade (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010)

<i>Category</i>	<i>Primary Assertion</i>	<i>Key Concepts</i>	<i>Six P's Focus</i>	<i>Levels of Magnitude</i>	<i>Major Studies and Examples</i>
Problem Solving & Expertise-Based	Creative solutions to ill-defined problems result from a rational process, which relies on general cognitive processes and domain expertise.	Ill-defined problems Cognitive, computational approach Expertise-based approaches Problem representation & heuristics	Person, Process, & Product	Little-c to Big-C	Ericsson (1999) Simon (1981, 1989) Weisberg (1999, 2006)
Problem Finding	Creative people proactively engage in a subjective and exploratory process of identifying problems to be solved.	Subjective creative processes Exploratory behaviors On-line discovery	Process, Person, & Potential	Primarily Mini-c	Getzels & Csikszentmihalyi (1976) Runco (1994)
Evolutionary (Darwinian)	Eminent creativity results from the evolutionary-like processes of blind generation and selective retention.	Chance-configuration Blind generation of ideas Selective retention of ideas Equal-odds rule Social judgment and chance	Person, Process, Place, & Product	Primarily Big-C	Campbell (1960) Simonton (1988, 1997)
Typological	Creators vary along key individual differences, which are related to both macro- and micro-level factors and can be classified via typologies.	Individual differences Categories of creators Seekers versus finders Integrate multiple levels of analysis	Primarily Person; but also Process, Product, & Place.	Little-c to Big-C	Galenson (2001, 2006) Kozbelt (2008c)
Systems	Creativity results from a complex system of interacting and interrelated factors.	Evolving systems Network of enterprises Domain and field Gatekeepers Collaborative Creativity Chaos and Complexity	Varying emphasis across all P's.	Little-c to Big-C	Gruber (1981a) Csikszentmihalyi (1988a) Sawyer (2006)

Figura 20: Continuação do sumário da categorização das teorias da criatividade (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010).

2.2.1.1. Abordagem Desenvolvimentista

As teorias ligadas à abordagem desenvolvimentista (tradução livre do termo original) são interessantes para o objeto desta pesquisa pois facilitam a compreensão de como planejar ambientes propícios para que o potencial criativo seja atingido. Neste sentido, esta abordagem enfatiza os aspectos criativos Pessoa, Ambiente e Potencial e seus resultados podem variar de mini-C a Pro-C. Apesar dos Produtos não ocupem um lugar de destaque nesta abordagem, eles desenvolvem um papel importante, porém tácito. Esta participação implícita do Produto acontece pois esta teoria considera que há uma trajetória temporal que inicia-se com formas mais subjetivas de criatividade (mini-C) e evolui para formas mais tangíveis e maduras de expressão criativa (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010).

Esta relação temporal é de significativa importância no contexto desta pesquisa pois se analisarmos uma geração inicial de algoritmos genéticos aleatórios, não podemos afirmar (ainda) que algum processo criativo se expressa. Porém, após algumas gerações podemos começar a visualizar algum avanço no que diz respeito aos processos criativos emergentes. Outro aspecto relevante é a questão da interação entre o indivíduo e o meio (ambiente/lugar) onde esta interação é principal responsável pela evolução do processo criativo do indivíduo. Através desta interação é que se desenvolve cognitivamente o indivíduo criativo, portanto a criatividade seria também um resultado co-evolutivo do ambiente e indivíduo.

2.2.1.2. Estágios e Processos Componentes

A tentativa de compreender a estrutura e natureza dos processos criativos em termos de estágios e processos sequenciais ou recursivos, que estão envolvidos nos processos cognitivos individuais, pode gerar modelos e critérios interessantes que ajudam a compreender as características da criatividade além de permitirem a implementação de algoritmos e sistemas que exibam comportamento criativo. Claramente esta abordagem enfatiza o Processo sobre os outros Ps e em termos de magnitude criativa pode variar entre mini-C a Big-C.

As teorias que encaixam-se nesta abordagem baseiam-se nos quatro processos descritos por Graham Wallas em 1926. O estágio inicial é o de *preparação* (a) onde o indivíduo reúne informações acerca do ambiente e define um problema ou objetivo

que deve ser solucionado. Posteriormente, há o processo de *incubação* (b) que envolve uma certa dedicação temporal para distanciar-se do problema e dedicar-se ao processo cognitivo de compreendê-lo. Caso o segundo estágio seja efetivo, temos então o que Wallas considera como *iluminação* (c). Neste terceiro estágio uma solução ou ideia se apresenta ao indivíduo (ou é descoberta por ele). Por fim, o último estágio é o de *verificação* (d) onde o indivíduo de fato aplica a solução, executa a ideia e verifica as possíveis implicações (WALLAS, 1926).

No entanto, o modelo proposto por Wallas sugere uma linearidade que dificilmente pode ser verificada mas propõe um modelo de processos que se aplicados recursivamente em ciclos iterativos e incrementais executados diversas vezes pode ajudar a refinar uma ideia potencial a fim de torná-la cada vez mais adaptada.

É importante ressaltar que os quatro processos descritos do ponto de vista cognitivo humano encontram perfeita equivalência nos estágios vistos nos agentes inteligentes simples, figura 21. Para um agente, o primeiro estágio (a) é o de aquisição de conhecimento, onde ele deve perceber o ambiente através de seus sensores por exemplo. No segundo estágio (b), o agente utiliza essa representação de mundo para desenvolver algum tipo de raciocínio. No terceiro estágio (c), o agente toma uma decisão de qual é a “melhor” ação à ser executada. Por fim, o agente executa esta ação (d) através de seus atuadores e volta ao primeiro estágio para dar sequência de forma iterativa ao processo como um todo (RUSSEL e NORVIG, 2003).

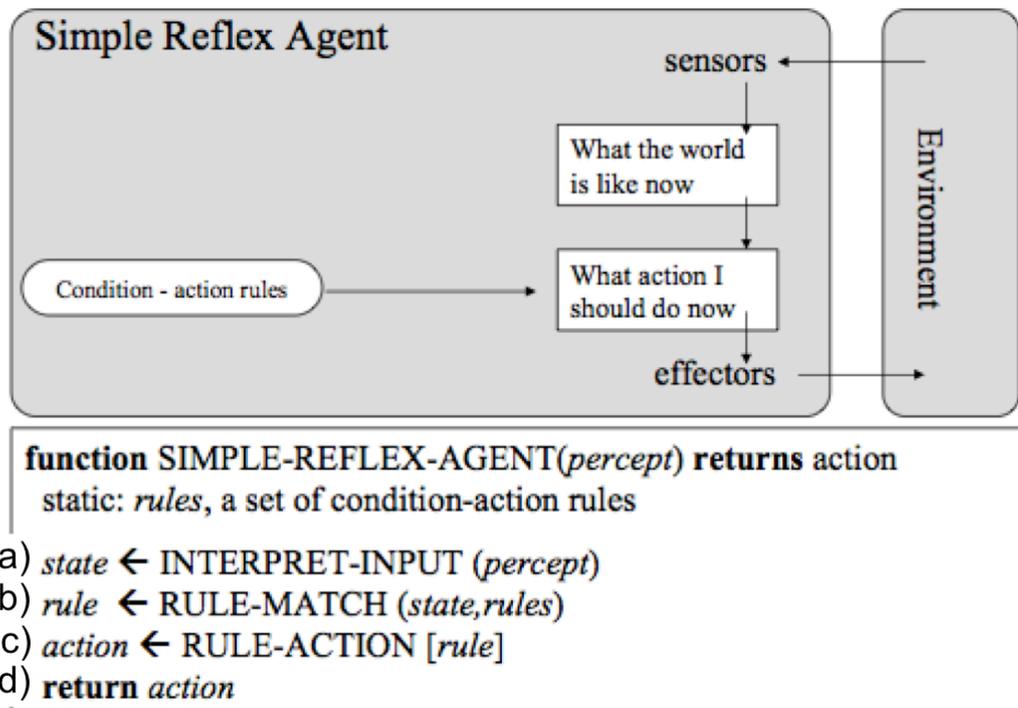


Figura 21: Modelo e algoritmo de agente reflexivo simples destacados os processos de (a) preparação, (b) incubação, (c) iluminação e (d) verificação adaptado de Russel e Norvig (2003).

A possibilidade de criação de um algoritmo, baseado nestes processos, abre as portas para que sistemas computacionais possam incrementar a sua magnitude criativa através de repetição interativa e recursiva de tais processos. No entanto, por mais que esta equivalência possa ser demonstrada em um agente reativo simples, este tipo de evolução criativa demanda que o agente ou sistema desenvolvido dê suporte ao aprendizado, pois fica claro que nesta abordagem o desenvolvimento criativo é incremental e sobrepõe-se ao que foi criado em iteração anterior de forma evolutiva. Na ausência de mecanismos de aprendizagem, dadas as mesmas condições do ambiente o agente executará sempre o mesmo conjunto de ações deixando pouco ou nenhum espaço para o surgimento de resultados emergentes.

2.2.1.3. Abordagem Evolutiva (Darwinista)

Segundo Kozbelt, Beghetto e Runco (2010), vários pesquisadores como Lumsden, Simonton e Johnson-Laird, propuseram diversas teorias da criatividade baseando-se nas ideias da evolução biológica, Darwinista e/ou Lamarckista. Dentre estas teorias destaca-se como forte candidata à mais compreensiva, genericamente

falando, a teoria baseada no modelo Darwinista de Dean Keith Simonton (1984, 1988, 1991, 2003, 2004).

Em diferentes graus, Simonton aborda todos os Ps da criatividade: Pessoa e Potencial na identificação de idiosincrasias disposicionais⁸ e desenvolvimentistas normalmente associadas à capacidade de concretizar um determinado potencial criativo inicial; Processo, ao determinar um modelo com duas etapas – idealização e elaboração – onde a aleatoriedade das combinações entre ideias desenvolve um papel central pois gera uma complexidade difícil de ser controlada ou limitada; Produto, ao apontar o embate entre avaliações iniciais de curto prazo e julgamentos estáveis de longo-prazo no que diz respeito aos artefatos criativos; Ambiente, ao identificar fatores sociais que levam à comportamentos criativos; Persuasão, ao enfatizar como as relações sociais dinâmicas podem estabelecer o veredito sobre uma expressão criativa (SIMONTON, 2003).

A base do modelo de Simonton é, de fato, o processo de dois estágios descritos por Campbell (apud. KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010), envolvendo a geração “cega” de um conjunto de ideias/hipoteses e a retenção e elaboração seletiva sobre este conjunto. Sob este ponto de vista, as ideias são combinadas de forma aleatória (SIMONTON, 2004), abaixo do nível de consciência. As combinações mais interessantes são então conscientemente elaboradas a fim de elaborar produtos criativos que por sua vez são julgados por outros indivíduos.

O argumento de Campbell de um sofisticado modelo quantitativo de como a produtividade criativa se desenvolve durante o processo ontogênico de um indivíduo se assemelha aos algoritmos descritos na computação evolutiva e tem importante impacto na compreensão da natureza eminente dos processos e ambientes criativos. Este modelo assume que existem diferenças iniciais no que tange o potencial criativo entre diferentes indivíduos. Neste sentido, ao passar do tempo, um determinado

⁸ Tradução livre do termo inglês *dispositional* que possui melhor definição no francês *dispositionnel* que na terminologia do empirismo lógico descreve um termo que não descreve uma característica imediatamente observável de um determinado objeto, mas uma regularidade manifestada por eventos ou comportamentos em condições apropriadas.

indivíduo é capaz de expandir o seu potencial criativo através, principalmente, do exercício do processo de criação e da aprendizagem oriunda deste processo (SIMONTON, 1997). Esta visão, de certa forma, vai ao encontro do descrito na abordagem desenvolvimentista.

2.2.1.4. Abordagem Sistêmica

Uma forma mais ampla e ambiciosa de se abordar a criatividade é caracterizá-la como sendo um resultado emergente de um sistema complexo que contém vários subcomponentes interagindo uns com os outros. Cada um destes subcomponentes deve ser considerado a fim de propor uma compreensão mais rica e significativa dos processos e resultados criativos. A abordagem sistêmica propõe uma visão mais qualitativa e contextualizada da criatividade, quase que se contraponto à visão quantitativa evolutiva. No entanto, assim como a abordagem evolutiva, o ponto de vista sistêmico aborda todos os Ps, porém com diferente ênfase de acordo com o teórico como Csikszentmihalyi, Gruber, Wallace e Dasgupta (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010).

A teoria sistêmica de Csikszentmihalyi (1988) tem um foco menos acentuado no indivíduo criativo se comparado à abordagem evolutiva, mas ambas as teorias convergem no sentido de que consideram a criatividade como sendo uma característica multifatorial e deve ser observada a partir de um olhar mais amplo. Neste sentido, enfatiza-se o papel ubíquo do ambiente sobre os demais Ps, especialmente quando se trata do surgimento de resultados criativos de magnitude Grande-C (CSIKSZENTMIHALYI, 1988). Além disso, deve-se considerar a natureza do indivíduo criativo através do detalhamento de como os indivíduos (além do criador) contribuem para a emergência da criatividade.

Csikszentmihalyi introduziu a sua visão sistêmica ao reinterpretar a questão “o que é criatividade?” como “onde está a criatividade?”. Ao invés de observar a criatividade como um atributo intrínseco de alguns artefatos, ele propôs que a análise da criatividade emerge através de três componentes: (a) o domínio ou corpo de conhecimento que existe em uma determinada disciplina em um determinado recorte temporal; (b) o indivíduo que adquire conhecimento sobre um determinado domínio e produz alguma variação do domínio em questão; (c) o campo, compreendendo

também os especialistas e membros de determinada disciplina, que decidem quais novidades produzidas são validas para uma nova geração (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010).

Esta visão enfatiza uma criatividade mais colaborativa e dependente das condições sociais em detrimento de uma visão de processos intrapsíquicos e contribuições individuais. Neste sentido de criatividade colaborativa, podemos considerar que sistemas e populações de indivíduos com “menor” poder cognitivo podem também demonstrar uma característica criativa que emerge da interação entre esses indivíduos. Portanto, se considerarmos um sistema multiagentes, capazes de desenvolver processos cognitivos além de agir de forma autônoma sobre o ambiente torna-se possível modelar também algoritmos que de certa forma demonstrem um comportamento criativo emergente.

2.3. Autopoiesis: auto-organização e autonomia

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 vivo 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 22). 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.

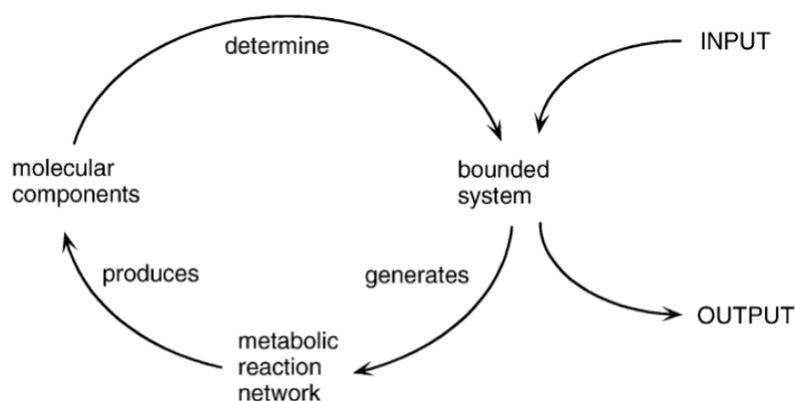


Figura 22: O ciclo de auto-regulação de uma célula enquanto unidade autopoietica (LUIZI, 2003).

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).

O 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 23. 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.

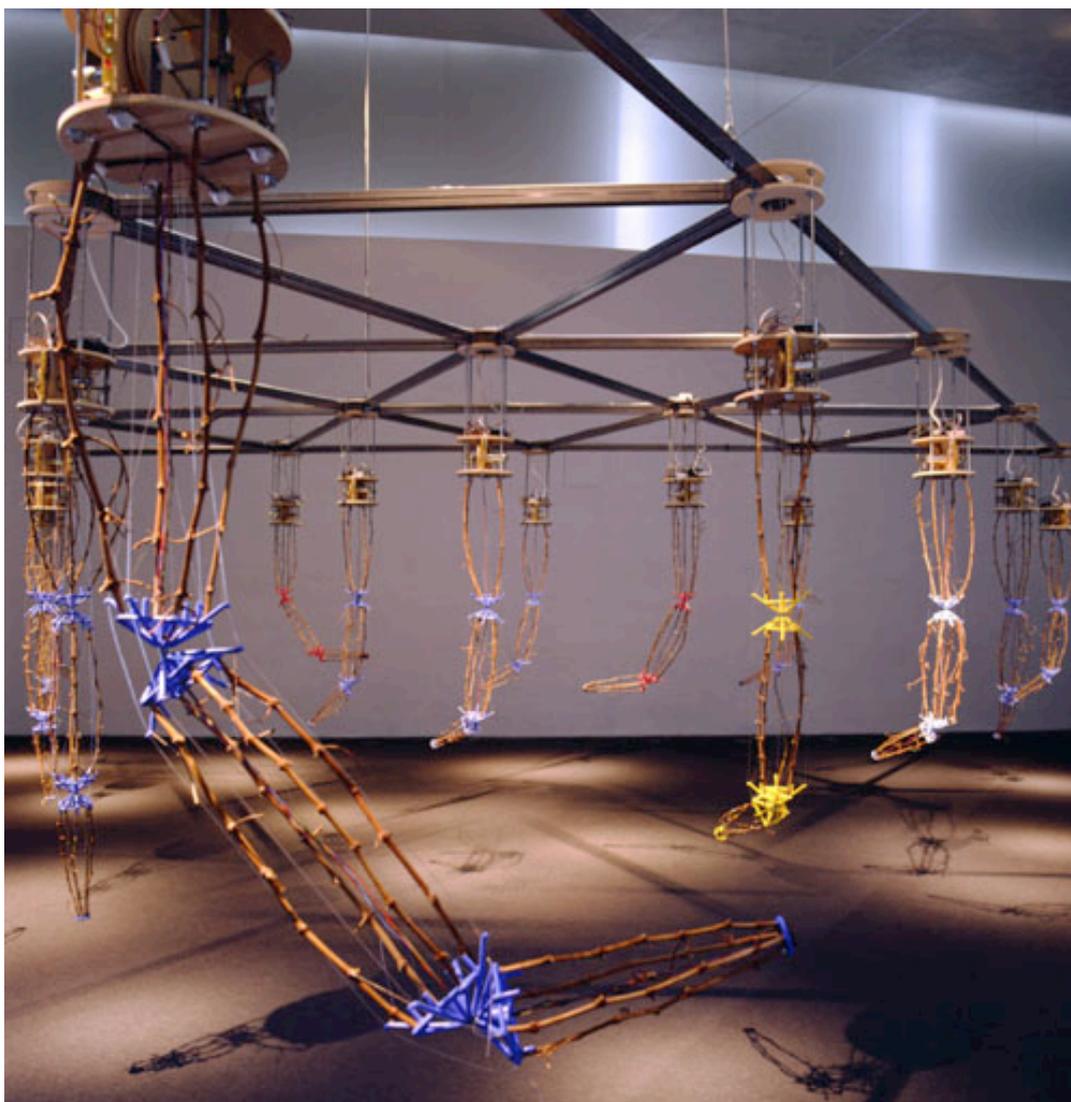


Figura 23: Em destaque, um dos 15 braços robóticos da instalação *Autopoiesis*, do artista Ken Rinaldo (2000)

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.

Ao optar por 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 24.

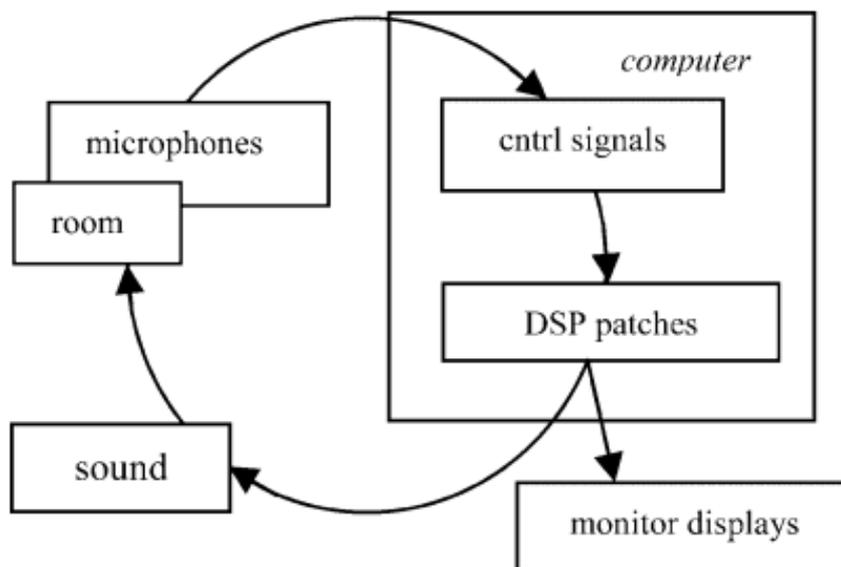


Figura 24: Esquema básico da interface da obra Audible Ecosystems (DI SCIPIO, 2003).

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 (a) emergência através da auto-organização, (b) autonomia através de fechamento organizacional e (c) 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, (a), (b) e (c) 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 (b), o tipo de emergência apresentado pode ser denominado co-emergência dinâmica, figura 25. 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.

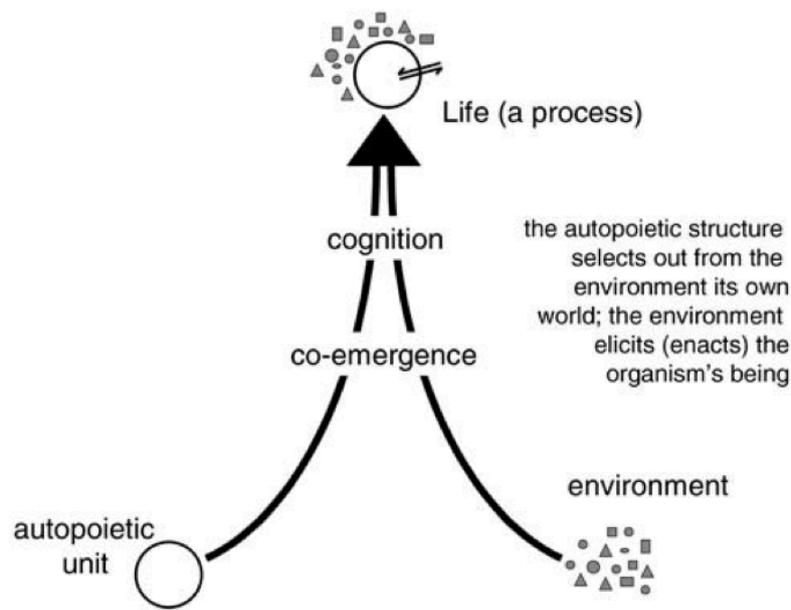


Figura 25: Representação gráfica do processo de co-emergência, segundo Luisi (2003).

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 (a) a autonomia constitutiva é fundamentalmente um processo de construção de identidade e (b) 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.

2.4. Emergência, heurística para criatividade

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: (a) fenômeno global surgindo de um comportamento coletivo, (b) comportamento individual como resultado de uma interação do agente com o ambiente e (c) 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 sós, 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 26, 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.

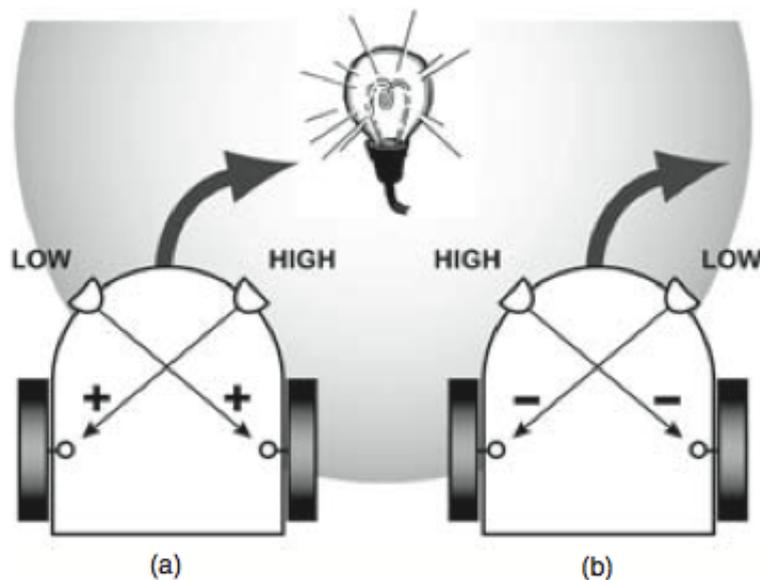


Figura 26: Veículos simples de Braitenberg: (a) veículo que busca a luz e (b) veículo que evita a luz (PFEIFER e BONGARD, 2007).

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 27.

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 o 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).

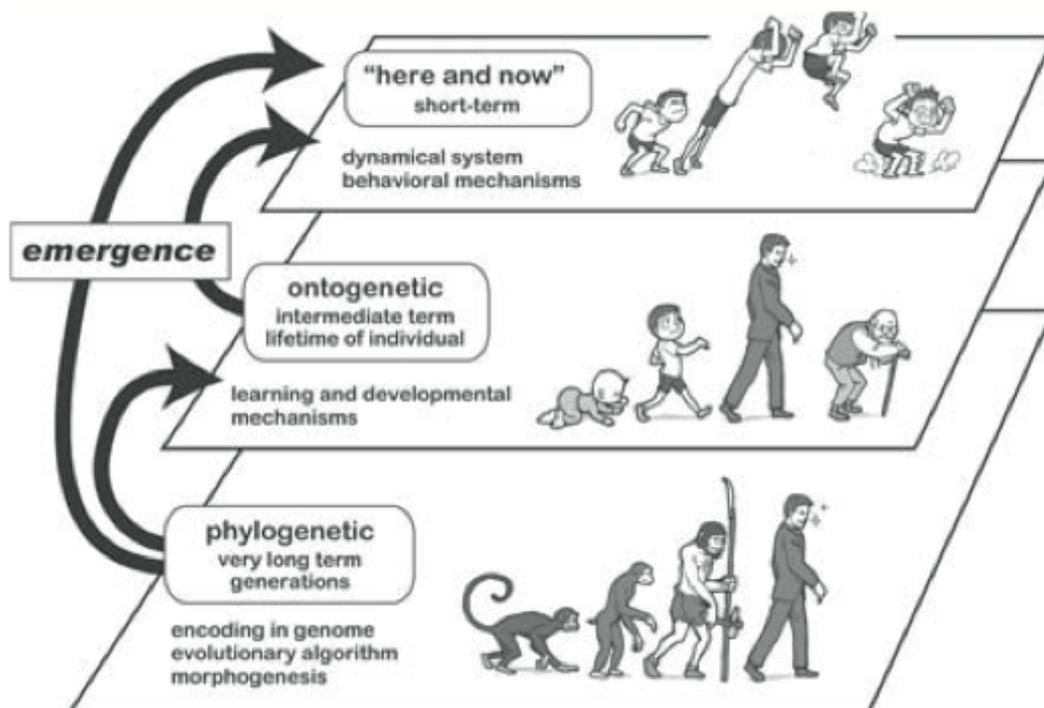


Figura 27: Escalas de tempo e emergência: “aqui e agora”, ontogenético e filogenético (PFEIFER e BONGARD, 2007).

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, o nascimento, a sobrevivência ou a morte de indivíduos é uma função de seu próprio estado e do estado dos seus vizinhos. Apesar da sua simplicidade, os experimentos do jogo da vida mostram que ele é capaz de evoluir estruturas de complexidade e habilidades

extraordinárias, incluindo “organismos” multicelulares autorreplicáveis (LUGER, 2004).

No jogo da vida, cada célula sobrevive ou morre segundo regras simples: (a) cada célula com dois ou três vizinhos sobreviverá até a próxima geração, (b) 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 (c) 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 28 (GARDNER, 1970).

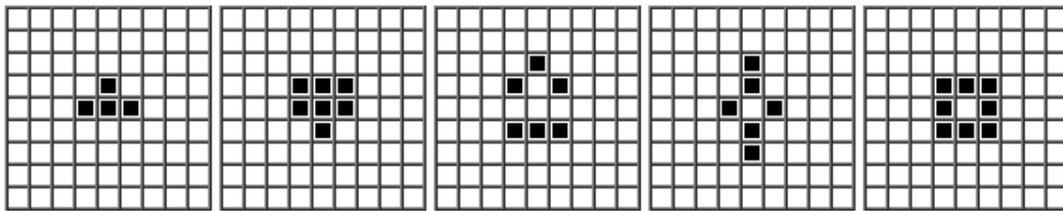


Figura 28: Sequência de passos da esquerda para a direita considerando as regras do jogo da vida, segundo John Conway (apud. GARDNER, 1970).

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 29.

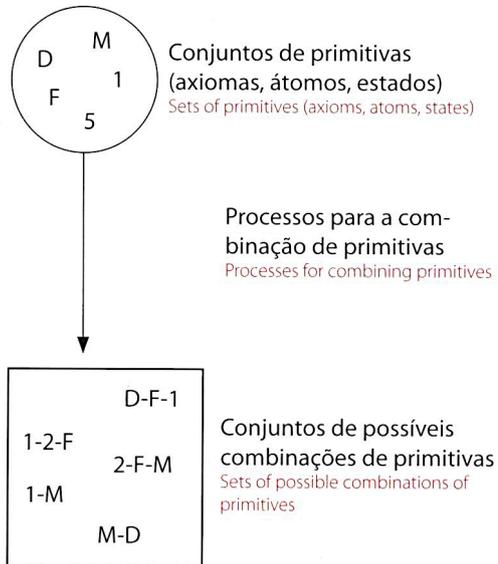
Os algoritmos genéticos são claros exemplos de novidade combinatória. Nesta abordagem uma codificação específica em linguagem genética as primitivas de um sistema que deverão ser combinadas para formar produções complexas enquanto um processo seletivo heurístico orienta a geração destas novas combinações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

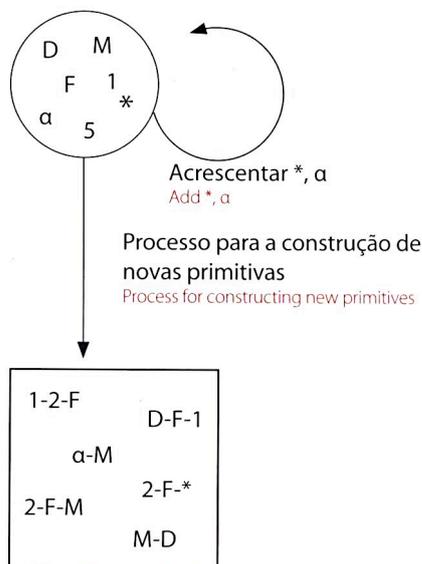


Figura 29: Emergência combinatória versus emergência criativa (Cariani, 2009).

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 30. 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* (BARRETTO, 2012).

- **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:
interpolo *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 30: 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 31.

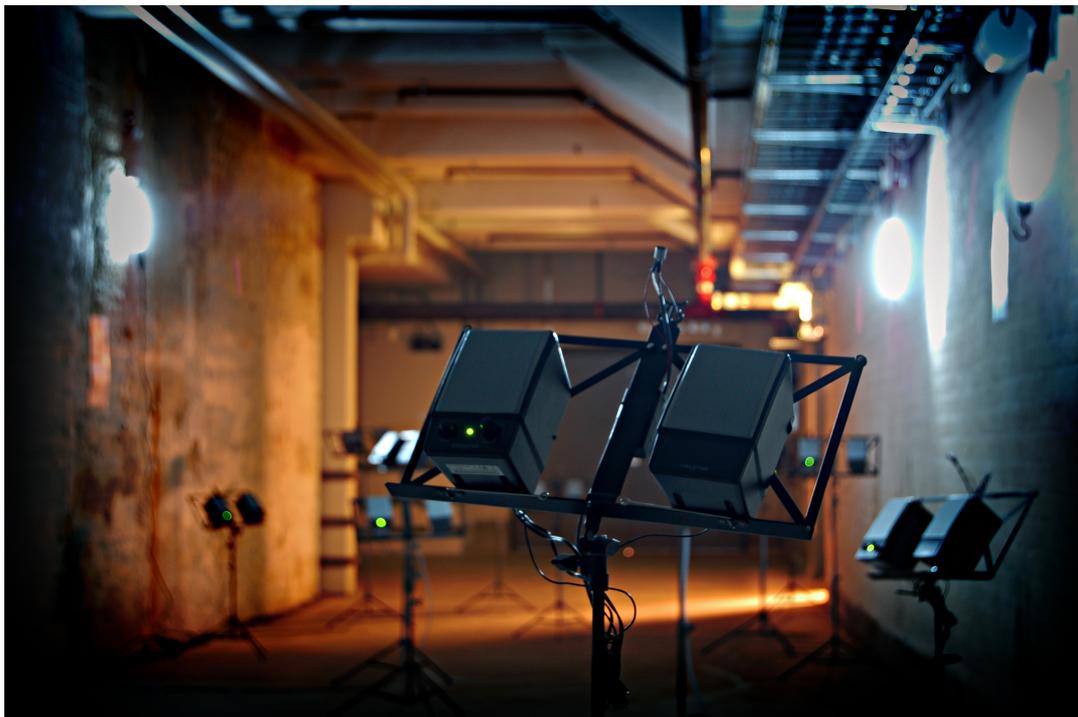


Figura 31: The Bacterial Orchestra no encontro de novas mídias em Norrköping (2006).

O conjunto de células que compõem a instalação caracterizam o que Lübcke 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 32.

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.

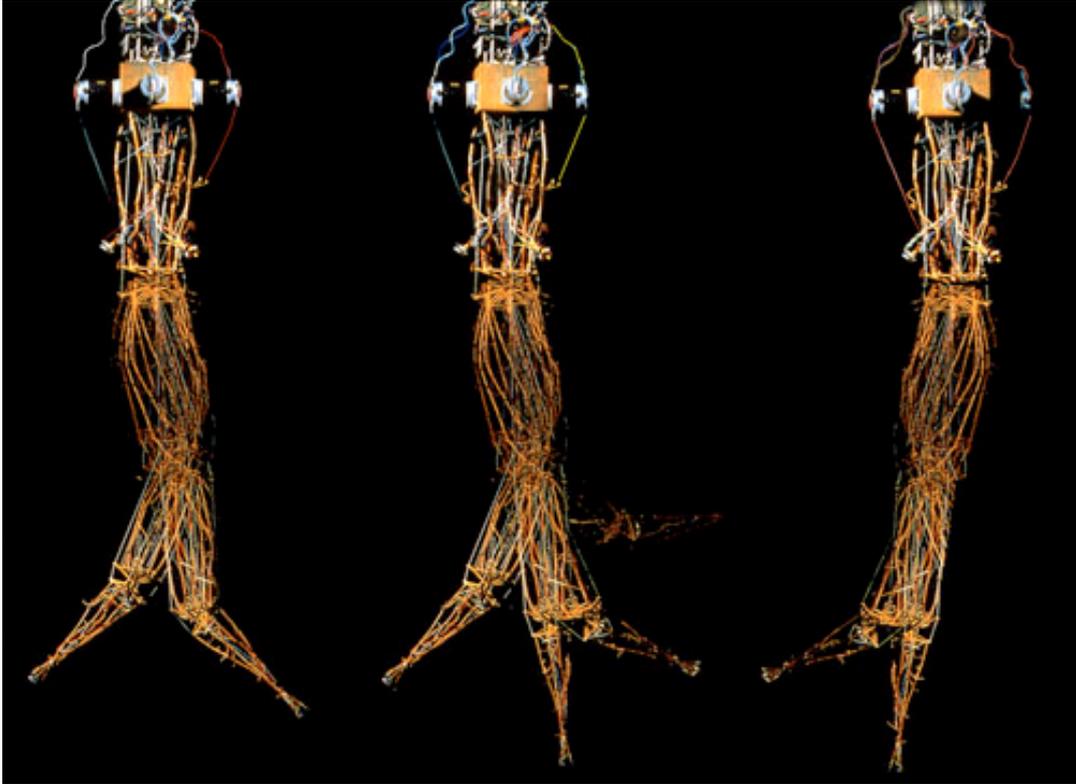


Figura 32: Três braços robóticos da obra *The Flock* que demonstram comportamento emergente de bando (Rinaldo, 1994).

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.

2.5. Criatividade, Autopoiesis e Emergência em Sistemas

Quando se aborda a questão da emergência enquanto heurística para criatividade (BARRETTO, 2012), pode parecer um caminho direto e natural para qualquer tipo de emergência atingida. No entanto, dados os vários níveis de emergência aqui apresentados, podemos perceber claramente que nem todo resultado

emergente é necessariamente criativo. No entanto, é possível modelar um agente com esse objetivo utilizando parte do framework teórico apresentado nesta seção.

Ainda na primeira seção, quando discutimos as técnicas e abordagens para desenvolvimento de agentes inteligentes, pudemos perceber a grande variedade de modelos de agentes que poderiam ser implementados. Neste sentido, torna-se evidente que o papel do designer de agentes tem uma influência direta no resultado exibido pelo sistema. Portanto, é interessante que o designer de agentes tenha à disposição uma série de informações para que possa minimizar sua influência.

Neste sentido são descritos, no início desta seção, alguns princípios de design de agentes oriundos do campo de pesquisa da IA cognitiva e corporificada que corroboram a ideia de que quanto menos o agente depender do seu designer, maior será o grau de emergência. Esta relação também está bem descrita nas abordagens sobre a criatividade oriundas da psicologia. Além disso, vale à pena ressaltar que a pesquisa realizada sobre a criatividade nos fornece poderosos frameworks para compreender, categorizar e classificar os diferentes níveis e manifestações da criatividade.

Do ponto de vista da psicologia, deve-se considerar o histórico das pesquisas em criatividade para que se possa compreender dois pontos importantes: (a) ainda há muito à se pesquisar dada a recente origem da área, (b) há muitas abordagens e notações possíveis dentre as quais destacamos algumas cuja descrição se familiariza mais com o objeto desta tese e que mantêm algum tipo de correlação entre si (e com as técnicas apresentadas na seção 1).

As abordagens para criatividade (listadas no item 2.1) consideram que uma relação temporal é significativa na construção/evolução criativa. Para estas abordagens, essa importância se aplica na evolução criativa ao longo do tempo, através de sucessivas interações entre o indivíduo e o meio. A abordagem baseada em processos e componentes, por exemplo, considera que através da repetição de uma série de processos aplicados recursivamente, durante um certo período de tempo, é possível refinar cada vez mais um determinado resultado, tornando-o cada vez mais adaptado.

Da mesma maneira, a abordagem evolutiva considera que ao passar do tempo, um determinado individuo é capaz de expandir o seu potencial criativo através, principalmente, do exercício do processo de criação e da aprendizagem oriunda deste processo (SIMONTON, 1997). Por fim, a abordagem sistêmica também considera, além da relação temporal, a criatividade como sendo um resultado emergente de um sistema complexo que contém vários subcomponentes (como agentes, por exemplo) interagindo entre si.

Estas abordagens da criatividade são de suma importância, ainda que em alguns pontos sejam contrastantes entre si, pois fornecem uma base sobre a qual podemos analisar a criatividade computacional, componente dos sistemas Arteligentes. Tanto as pesquisas do campo da IA quanto da psicologia, no que tange a questão da criatividade, apontam para um comportamento eminentemente autopoietico e emergente. Estes dois conceitos também são abordados no que concerne o comportamento criativo emergindo tanto do resultado de mecanismos cognitivos internos quanto da interação social entre indivíduos.

Estas abordagens da criatividade são de suma importância, ainda que em alguns pontos sejam contrastantes entre si, pois fornecem uma base sobre a qual podemos analisar a criatividade computacional, componente dos sistemas Arteligentes. Tanto as pesquisas do campo da IA quanto da psicologia, no que tange a questão da criatividade, apontam para um comportamento eminentemente autopoietico e emergente. Estes dois conceitos também são abordados no que concerne o comportamento criativo emergindo tanto do resultado de mecanismos cognitivos internos quanto da interação social entre indivíduos.

SEÇÃO III | Zer0: um sistema Artelligent

Além dos outros trabalhos apresentados anteriormente, do autor ou de outros artistas/cientistas, foi desenvolvido de forma concomitante à abordagem teórica um gameart que demonstra todas as características elencadas aqui para que um sistema seja considerado Artelligent.

Inicialmente serão abordadas as questões poéticas que norteiam o desenvolvimento do gameart (item 3.1). Além disso, discutiremos o papel do designer de agentes no que tange a escolha da técnica de IA utilizada, o ambiente, a representação de conhecimento e construção cognitiva dos agentes utilizando os conceitos discutidos na primeira seção. Posteriormente, apresentamos também quais implicações as escolhas do designer e suas implicações sob a ótica das abordagens para a criatividade, considerando a autopoiese e a emergência, discutidas na segunda seção.

3.1. Do zero ao um

É interessante perceber que as pessoas, normalmente, vivem em um ambiente competitivo onde há sempre a necessidade de maximizar a sua performance na realização das tarefas. Nos jogos “tradicionais” normalmente são confrontantes os objetivos dos jogadores, desencadeando uma concorrência onde o mais forte normalmente vence. Neste sentido, no fluxo de execução de um jogo comercial, normalmente, os jogadores tendem à acumular artefatos que incrementem o seu poder. Na contramão desta tendência, Zer0⁹ propõe um universo colaborativo onde pode-se estabelecer uma série de relações mutuamente benéficas.

O jogo baseia-se na teoria *flow* desenvolvida por Mihaly Csikszentmihalyi em 1990. De acordo com Jen Chenova, as pessoas normalmente associam vários sentimentos com o conceito de *fun* (diversão), como a sensação de atemporalidade, alegria, foco e imediatismo (CHENOVA, 2006). Existe praticamente um consenso universal que a ausência de equilíbrio entre o desafio de uma determinada atividade e

⁹ Um vídeo descrevendo o processo de interação pode ser visto em <https://vimeo.com/84191758>

a habilidade necessária para superar o desafio descaracterizaria completamente a sensação de divertimento, aniquilando a experiência de diversão (BARRETTO e VENTURELLI, 2015).

De acordo com a pesquisa de Csikszentmihalyi, a fenomenologia do *flow* tem oito principais componentes:

1. Um desafio que requer algum tipo de habilidade;
2. A confluência entre ação e consciência;
3. Objetivos claros;
4. *Feedback* direto;
5. Concentração na tarefa sendo desempenhada;
6. A sensação de controle;
7. A “perda” de autoconsciência;
8. A transformação da experiência temporal.

A fim de proporcionar a experiência descrita por Csikszentmihalyi, o jogo convida o jogador à apreciar um passeio em um universo dominado por formas geométricas, figura 33, onde o jogador também desempenha o papel de uma das formas geométricas.

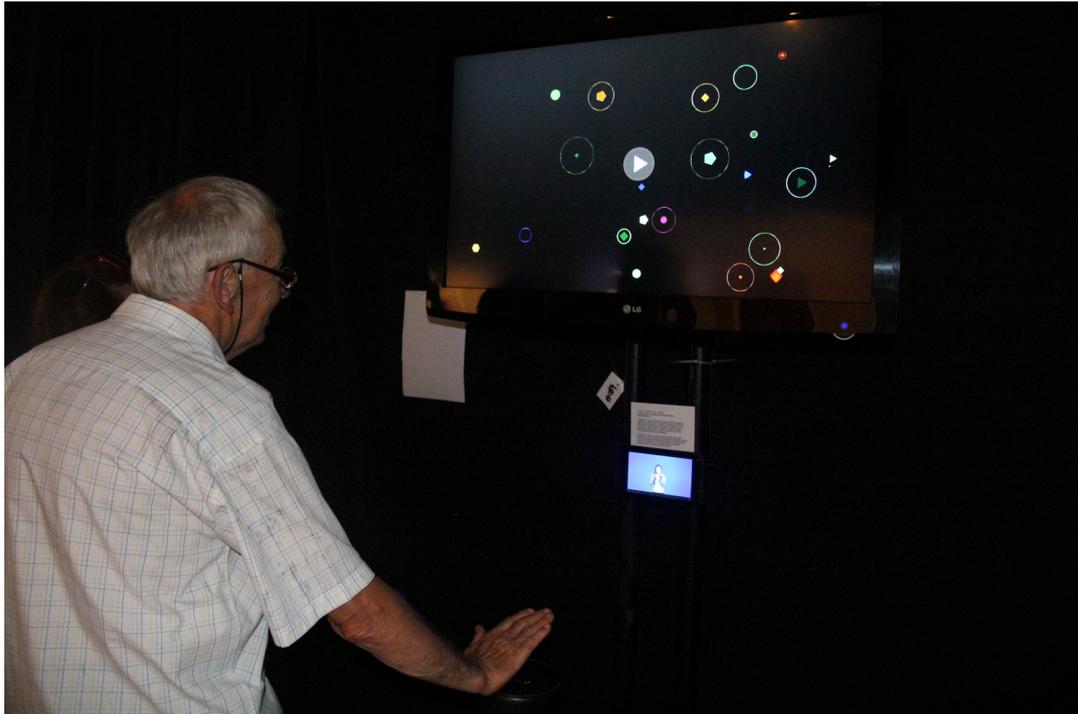


Figura 33: Interagente realizando uma incursão no universo do jogo Zer0 (do autor).

Neste sistema multiagentes, cada agente é visualmente representado por uma forma geométrica capaz de emitir pulsos. Cada indivíduo possui um relógio interno próprio que regula os seus próprios pulsos. Cada vez que um pulso intersecta outro, um evento sonoro é gerado, gerando a trilha sonora do jogo.

Outro ponto que constitui a poética do jogo, aborda de forma sutil e lúdica a questão da discretização da informação através da representação binária. Neste tipo de representação, qualquer informação é representada através de uma cadeia de bits composta por 0s e 1s. O processo de transição discreta se contrapõe à representação contínua (figura 34), onde há um infinito número de estados possíveis entre os valores 0 e 1.

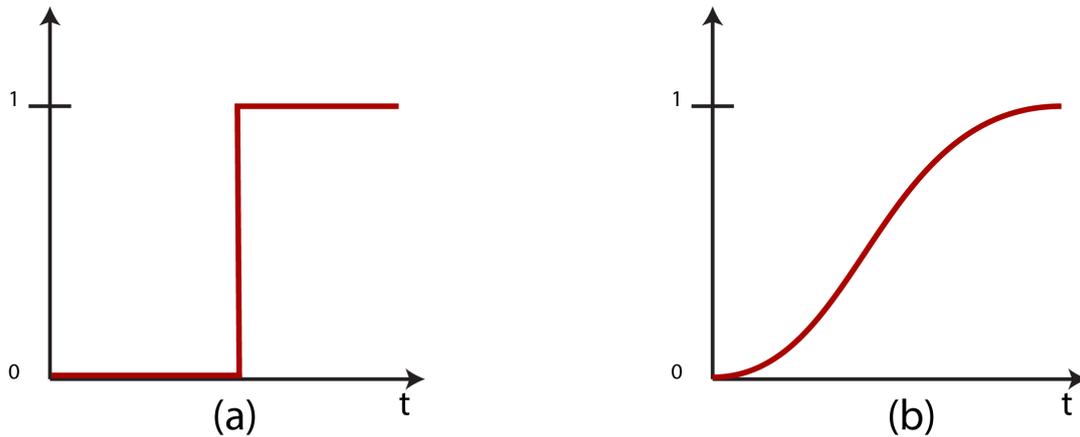


Figura 34: Transição discreta e contínua: (a) sinal degrau unitário, (b) sinal contínuo unitário (do autor).

O percurso natural, portanto, é a transição entre 0 e 1, independentemente do sistema de representação contínua ou discreta, tendo em ambos os casos o mesmo ponto de partida e chegada. No entanto, o percurso difere enormemente em ambas as transições. Na discreta temos uma transição direta, imediata e íngreme, que causa uma ruptura no estado atual. Por outro lado, na transição contínua, temos um conjunto infinito de estados intermediários que podem ser ocupados.

A fim de inverter esta lógica de forma lúdica, o agente, controlado pelo usuário, também representado por uma forma geométrica, busca evoluir e ganhar mais lados através da interação com os outros agentes. Sua forma inicial é a de uma reta, forma geométrica com o menor número de lados possível neste contexto, visualmente representando o número 1 (figura 35).

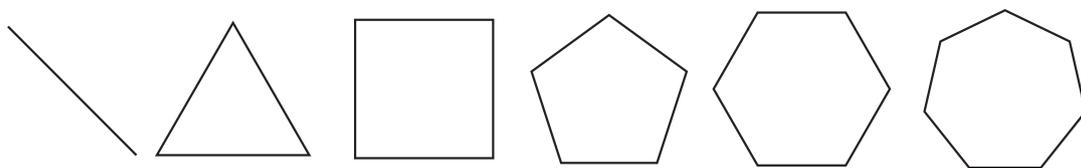


Figura 35: Evolução das formas geométricas através do acúmulo de lados.

À medida em que o agente evolui e ganha lados, passa a ser representado progressivamente por forma geométricas mais complexas como triângulo, quadrado, pentágono, assim por diante. O agente desenvolve, portanto, uma série de transições discretas entre formas geométricas a partir da linha e a cada transição aproxima-se cada vez mais de tornar-se um círculo.

Paradoxalmente, ainda que ganhe lados e essa transição entre formas seja discreta o agente ocupa infinitos estados intermediários na jornada inversa entre o 1 e 0. Neste sentido, o agente jamais tornar-se-á um 0, posto que como acrescenta lados à sua figura geométrica, poderá ter infinitos lados e visualmente se assemelhará à um círculo porém sem jamais sê-lo. Assim, a transição mista discreta/contínua que o agente desenvolve durante a sua interação no jogo não pode ser completa.

De um ponto de vista pragmático, a figura geométrica é desenhada por um método que recebe como parâmetro a quantidade de lados que um determinado indivíduo possui. Esta quantidade de lados pode ser interpretada como a “resolução” de um círculo posto que quanto mais lados houver maior será a semelhança com um círculo perfeito. No entanto, a partir deste método, independente da quantidade de lados teremos sempre um polígono regular e nunca um círculo.

Neste sentido, contrapondo-se também à questão da concorrência entre jogadores e maximização de recursos nos jogos “tradicionais”, temos aqui o caminho exatamente inverso. A quantidade de lados aproxima o jogador do zero e, portanto, da própria anulação. Neste contexto onde o acúmulo de recursos, neste caso o número de lados, produz um efeito inverso ao esperado busca-se questionar a natureza desta expectativa de maximização

3.2. Ecologia de um Sistema Artelligent

Ao se desenvolver um sistema Artelligent, devemos inicialmente considerar que utilizaremos alguma (ou uma hibridização) das técnicas listadas na primeira seção. Assim, sugerimos que abstraindo a implementação seja delimitada primeiramente a questão poética ou o contexto onde o sistema estará inserido. É importante ter em mente os possíveis pontos de partida, interações e objetivos que podem ser alcançados a fim de possibilitar que seja escolhida uma técnica adequada.

3.2.1. Descrevendo o Ambiente de Tarefa

Antes de iniciar a modelagem do agente, propriamente dita, devemos analisar, descrever e especificar o ambiente, tabela 6. Para que possamos compreender melhor o ambiente onde o agente estará inserido, podemos descrevê-lo utilizando as dimensões apontadas no item 1.3.2.

No caso do Zer0, podemos dizer que sob o ponto de vista do agente, o ambiente é parcialmente observável uma vez que o agente é capaz de perceber o mundo apenas dentro de um espaço restrito, limitado ao raio dos seus pulsos. Apesar disso, o ambiente pode mostrar-se algumas vezes completamente inobservável se dentro da área de influência do agente não houver outros agentes, por exemplo. Neste caso específico, o agente pode decidir ficar parado ou mover-se para uma direção aleatória que não necessariamente maximizará a sua probabilidade de interação com outros agentes.

Uma vez que teremos vários agentes dentro de um mesmo ambiente, capazes de interagir entre si, podemos ainda classificar este contexto como multiagentes. A interação entre os agentes não é de natureza competitiva, mas de natureza colaborativa. Uma vez que há uma interação entre dois agentes, ambos beneficiam-se do resultado da ação ao estender as suas expectativas de vida.

As mudanças que acontecem neste contexto não são previsíveis para os agentes, não sendo possível para eles deduzir o próximo estado do ambiente ou determinar precisamente quais serão as consequências das suas ações. Se considerarmos que a mudança de estado do ambiente depende das ações tomadas pelos agentes que estão no ambiente e que estas ações são fruto de um mecanismo interno de inferência, não observável externamente, podemos deduzir que para o agente o ambiente apresenta-se incerto ou estocástico, dada a natureza parcialmente observável da ação dos demais agentes.

Além disso, a experiência do agente dentro deste ambiente possui uma natureza episódica uma vez que não é representada internamente no agente uma narrativa temporal que correlacione um histórico de percepções e ações realizadas pelo agente. Esta representação episódica, neste caso, dispensa o agente de possuir algum tipo de memória de estados, que implicaria em maior necessidade de recursos, reduzindo a complexidade computacional da modelagem do agente.

No entanto, apesar de não haver necessidade de registrar um histórico de ações realizadas pelo agente, cada indivíduo deve utilizar algum tipo de mecanismo de inferência para avaliar as informações obtidas através de seus sensores. Durante este espaço de tempo em que o agente desenvolve um raciocínio a fim de definir uma ação

adequada, o ambiente continua a se modificar. A principal implicação disto é que, por exemplo, enquanto um agente decide se deve tentar comunicar-se e executa esta ação o outro agente com o qual este se comunicaria já pode ter se distanciado, frustrando a comunicação. É importante perceber que neste tipo de ambiente dinâmico pode-se notar uma necessidade de definir uma forma de representação temporal: contínua ou discreta. No caso dos eventos deste ambiente, foi definido que estes acontecem de forma concorrente ao invés de realizadas em turnos, assemelhando-se à uma representação temporal contínua (porém naturalmente discretizada dada a sua representação computacional).

Dimensões	Ambiente de Tarefa – Zer0
Capacidade de Observação	<i>Parcialmente Observável</i>
Previsibilidade	<i>Estocástico</i>
Experiência do Agente	<i>Episódico</i>
Mudanças no Ambiente	<i>Dinâmico</i>
Representação Temporal	<i>Contínuo</i>
Agentes	<i>Multiagentes</i>

Tabela 6: Descrição resumida do ambiente de tarefa do Zer0.

3.2.2. Modelando os Agentes

Considerando o arcabouço poético descrito no item 3.1 e o ambiente descrito no item 3.2.1 como ponto de partida, podemos identificar a necessidade de realizar o design e implementação de pelo menos um agente. Através de um mecanismo de abstração, exercitamos a capacidade de extrairmos as características relevantes de um determinado contexto enquanto ignoramos características menos importantes ou acidentais. A capacidade de abstrair nos permite pensar de forma macro em como o sistema deve comportar-se, além de nos permitir identificar claramente os pontos

relevantes que serão considerados ao desenharmos o agente em seu nível de implementação.

Durante o processo de abstração, baseado na descrição macro do sistema, podemos extrair algumas características que deverão ser incluídas pelos agentes, como possuir uma determinada quantidade de lados, uma cor específica e uma descrição dos seus pulsos internos. Dentre as características elencadas, devemos selecionar algumas que serão representadas internamente, como fazendo parte da construção cognitiva do agente, enquanto outras serão exibidas externamente como compondo o fenótipo do agente.

Uma boa metodologia para representar estas informações, a fim de facilitar a identificação das características e sua respectiva modelagem, é a representação através do PEAS (discutida no item 1.3.2). Para o Zer0, existem basicamente dois tipos semelhantes de agentes: controlado pelo usuário e autônomo. O segundo é descrito a seguir, enquanto o primeiro é apenas uma versão levemente modificada da versão autônoma a fim de permitir que o movimento da forma seja controlado pelo interagente. Os agentes autônomos tem suas principais características descritas através do seguinte PEAS (*Performance, Environment, Actuators, Sensors*):

- *Performance*:
 - Aumentar a expectativa de vida (interagir);
 - Mover-se;
- *Environment*:
 - Espaço 2D infinito;
 - Multiagente.
 -
- *Actuators*:
 - Pulsar;
 - Mover-se;
 - Permanecer na mesma posição;
- *Sensors*:
 - Posição;
 - Outros agentes;
 - Expectativa de vida (idade atual);

Cada agente tem codificado internamente uma expectativa de vida que é inicializada aleatoriamente. Uma vez que esta expectativa decai, os indivíduos tentam maximizá-la através da interação com outras formas geométricas. Cada vez que dois pulsos colidem, ambos os agentes tem sua expectativa de vida incrementada e ganham uma certa quantidade de pontos. Quanto mais pontos um agente tem, mais lados ele possui visualmente.

O agente controlado pelo interagente é iniciado com um lado único (uma linha), então desenvolve-se lado a lado: triângulo, quadrado, pentágono e assim por diante. Conforme podemos ver na figura 36, a percepção do agente se baseia no componente de percepção.

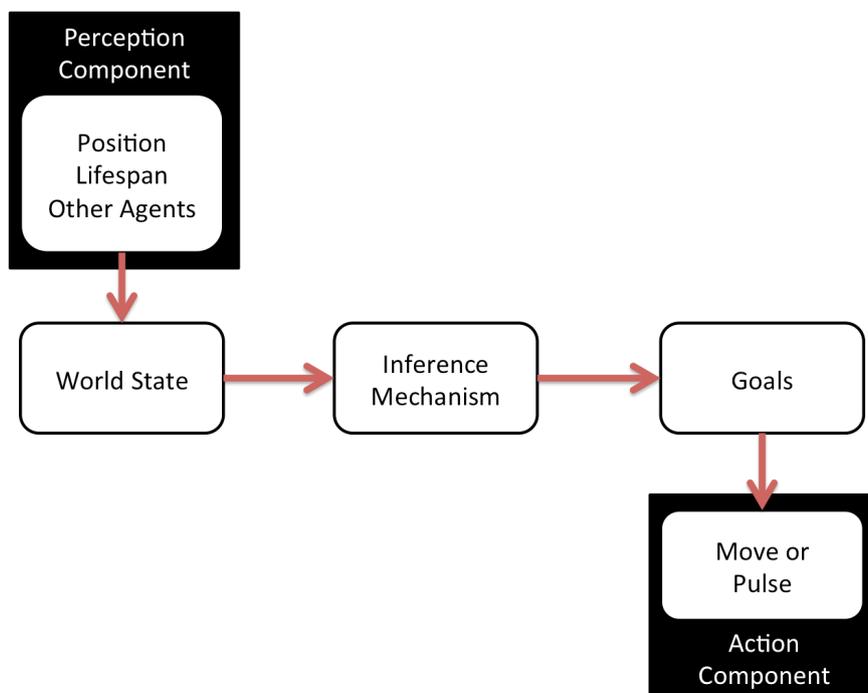


Figura 36: Arquitetura interna do agente autônomo (BARRETTO e VENTURELLI, 2015).

Este componente é o responsável por informar ao agente como está o mundo em um determinado momento, considerando a sua esfera de influência, tornando visíveis para o agente as informações acerca da sua posição atual e o tempo de vida (a expectativa está internamente codificada, portanto o agente não tem como prever quando irá perecer). Além disso, o agente é capaz de perceber se há outros agentes dentro daquele determinado espaço, delimitado pelo alcance dos seus pulsos, figura 37.

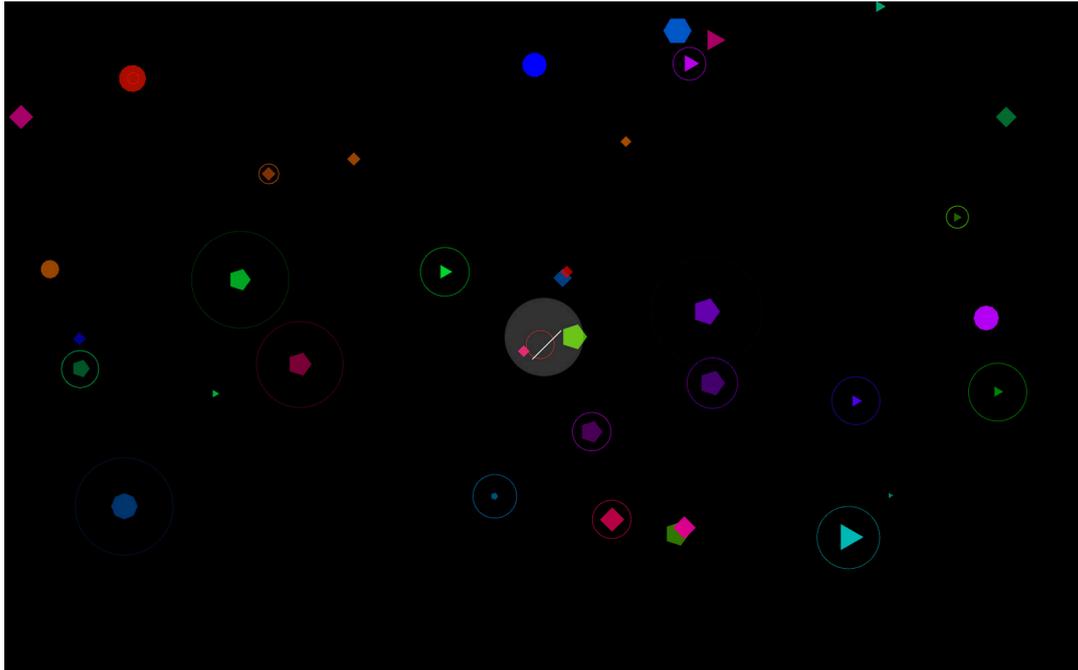


Figura 37: Representação do ambiente onde o agente está inserido, com agentes tentando se comunicar (do autor).

Baseado neste conjunto de informações, o agente atualiza a sua representação interna do mundo (conhecimento), incluindo a existência ou não de outros agentes próximos, sua posição atual e sua expectativa de vida. Após atualizar a sua representação interna, a máquina de inferência desenvolve um raciocínio a fim de determinar quais ações podem ser mais adequadas.

A máquina de inferências neste caso é representada através de uma arquitetura de regras de condição-ação. Por exemplo, se não é o momento de gerar um pulso (de acordo com o relógio interno do agente) e não há agentes dentro da esfera de influência o agente pode decidir por mover-se.

3.2.3. Interação Multiagentes

Conforme dito anteriormente, os agentes são capazes de estabelecer comunicação através dos pulsos que emitem e cada um destes pulsos é um sinal. Cada vez que os pulsos interagem, estendem a sua expectativa de vida. Além disso, cada uma das interações gera um evento sonoro, assim, compondo em tempo real a trilha sonora do jogo. Estas possíveis interações estão brevemente representadas na figura

38, de acordo com a metodologia TROPOS, utilizada para o desenvolvimento de software baseado em agentes (CASTRO, KOLP e MYLOPOULOS, 2000).

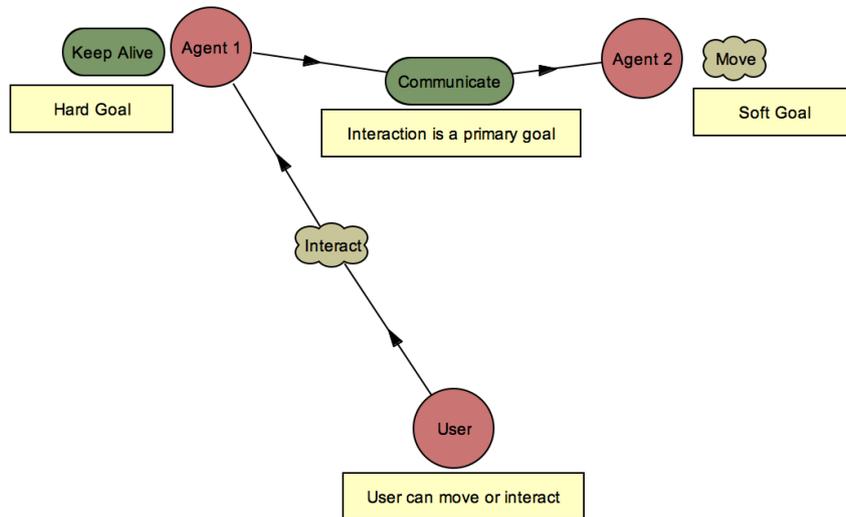


Figura 38: Interações entre dois agentes autônomos e um agente humano, descritos de acordo com a metodologia TROPOS.

O ambiente no qual estão inseridos os agentes pode ser descrito como parcialmente observável, pois cada agente tem apenas uma visão restrita e limitada do ambiente. Considerando que o estado seguinte do ambiente depende de outros fatores além das próprias ações de cada agente, podemos dizer que o ambiente é estocástico. Além disso, enquanto o agente raciocina o ambiente continua em constante evolução não havendo divisão temporal em intervalos. Estas últimas duas características impõem algumas limitações de tempo forçando o agente a responder rapidamente.

É importante ressaltar que a modificação e atualização do estado interno do agente não pode ser feita através de imposição externa, mas apenas através dos seus próprios mecanismos internos. O sistema de mecanismos internos ao passo em que define os limites entre o agente e o ambiente também é o responsável por manter e atualizar a si mesmo. Assim, define-se o agente autopoieticamente dotando-o da capacidade e responsabilidade de manter a si próprio.

Esta abordagem vai de encontro aos princípios de design de agentes destacados no item 2.1 onde foi discutida a necessidade de minimizar o impacto do designer sobre a representação de mundo do agente e a sua capacidade de tomada de

decisão. Assim, os agentes tornam-se mais facilmente adaptáveis à mudanças o ambiente, reagindo e adaptando suas ações à medida em que co-evoluem com o ambiente.

Neste sentido, a co-evolução dinâmica entre agente e ambiente, discutida no item 2.5, torna-se essencial tanto para a construção cognitiva dos agentes quanto para a definição da configuração do ambiente no que tange a forma como ele interfere nas ações do agente. Assim, a disposição dos agentes e a respectiva comunicação entre eles é emergente como um resultado da sua representação autopoietica interna e também das propriedades dinâmicas do ambiente.

3.3. Criatividade e Emergência(s)

Dentre os requisitos listados para definir um sistema Artelligent, mostram-se dentre os mais relevantes a necessidade de considerar pelo menos uma abordagem para criatividade além da capacidade de exibir um comportamento emergente. Considerar uma das abordagens para criatividade listadas anteriormente não restringe necessariamente a utilização de uma outra abordagem posto que, conforme discutido no item 2.1, a área de pesquisa em criatividade está constantemente evoluindo. A necessidade de pensar e buscar uma forma de correlacionar ao menos uma abordagem sobre criatividade com a modelagem de agentes tem como principal motivo fazer com que o processo de design de agentes considere premissas ligadas à estas abordagens.

Se consideramos do ponto de vista computacional as premissas oriundas das pesquisas em criatividade humana, podemos aplicar os frameworks que também descendem destas abordagens como a categorização dos resultados criativos utilizando a escala C e a decomposição do processo criativo em componentes utilizando e metodologia dos Ps. Neste sentido, a “escolha” de uma abordagem leva à utilização da categorização C e decomposição em Ps, ajudando o designer de agentes à considerar também estes aspectos, tão relevantes quanto a descrição correta do agente e do ambiente, por exemplo.

No caso do Zer0, todo o sistema pode ser visto sob a ótica da abordagem sistêmica da criatividade, muito embora exiba algumas características descritas na abordagem evolutiva. Do ponto de vista evolutivo, o resultado criativo é modificado à medida em que o tempo passa gerando estados diferentes de forma ininterrupta

através da constante evolução da interação entre os indivíduos. A visão sistêmica pode ser adotada pois, neste caso, a expressão criativa é caracterizada como sendo um resultado emergente de um sistema complexo que contém vários subcomponentes interagindo uns com os outros. Cada um destes subcomponentes é considerado a fim de propor uma compreensão mais rica e significativa dos processos e resultados criativos.

Nesta abordagem, o foco está principalmente no *Place* (Ambiente) e em um menor grau nos outros Ps: *Person* (Pessoa), *Product* (Produto) e *Process* (Processo). O ambiente desempenha um papel fundamental posto que é o meio de interação entre os diversos agentes, influenciando também diretamente na decisão individual de cada agente mas, sobretudo, no contexto geral de interações. O ambiente e o produto se intersectam uma vez que a composição musical que emerge da interação entre os agentes é uma representação sonora do ambiente e, ao mesmo tempo, a expressão criativa do sistema. A relativamente simples construção cognitiva do agente faz com que os processos que operam também sejam simples.

No entanto, devemos nos questionar sobre o nível ideal de complexidade que propomos no sistema. À primeira vista podemos supor que quanto maior for a complexidade da construção cognitiva do agente maior será a probabilidade de encontrarmos algum comportamento emergente. No entanto, existe uma linha tênue que divide o comportamento emergente do aleatório conforme apontado em estudos anteriores (SILVA, 2013) (GALANTER, 2003). À medida em que partimos de um sistema simples, completamente determinista, incapaz de exibir algum comportamento emergente e adicionamos alguma “desordem” à ele, aumentamos a sua capacidade de produzir tal comportamento.

Conforme a definição de emergência adotada aqui, como sendo o surgimento de algo que não poderia ser previsto com base no que o antecedeu, podemos dizer que o comportamento emergente demanda necessariamente algum nível de imprevisibilidade. Isto significa que ao incrementarmos o nível de complexidade adicionamos também alguma instância de aleatoriedade. No entanto, em determinado ponto o nível de complexidade passa a ser traduzido progressivamente em desordem ou pura aleatoriedade. A principal diferença, neste caso, é que muito embora o comportamento emergente não pudesse ser previsto ele pode ser explicado, enquanto

na aleatoriedade o desenvolvimento desse raciocínio explicativo posterior ao evento torna-se praticamente impossível.

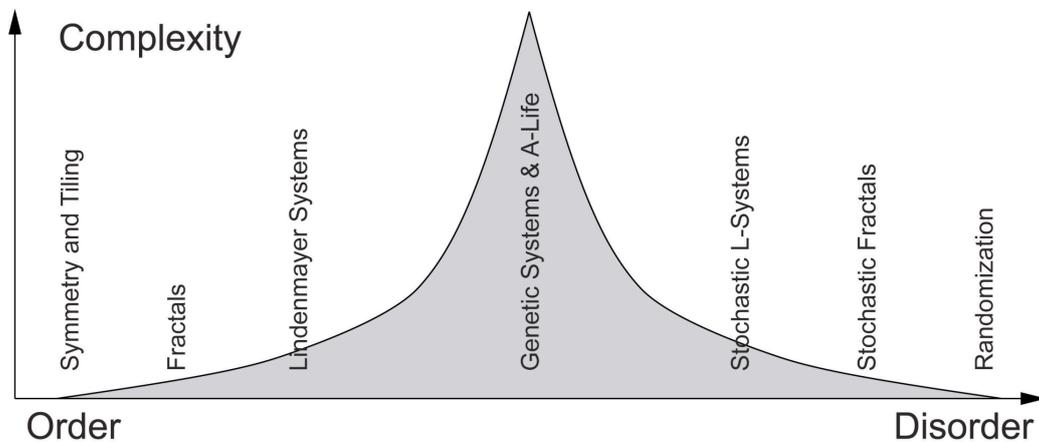


Figura 39: Relação entre complexidade e ordem x desordem (GALANTER, 2003).

A fim de gerenciar o nível de complexidade (figura 39), mantendo-o abaixo do nível de aleatoriedade, foi proposto para este sistema um modelo de agente relativamente pouco complexo. Os resultados emergentes listados à seguir, oriundos da interação entre os agentes, representados na forma da trilha sonora e composição visual do gameart podem ser considerados como mini-C (KAUFMAN e BEGHETTO, 2009) podendo ser estendido até pequeno-C (KOZBELT, BEGHETTO e RUNCO, 2010).

3.3.1. Cor e Opacidade

O modelo de agente desenvolvido utiliza-se do princípio de fenótipo oriundo dos algoritmos genéticos para exibir visual e sonoramente uma expressão da sua configuração interna. Tal qual nos algoritmos genéticos, os agentes do jogo Zer0 tem codificados uma estrutura baseada no genótipo (DNA) dos algoritmos genéticos que contém informações relevantes tais como a sua cor e o seu ritmo (*clock*) interno de pulsos.

Muito embora não haja uma função de avaliação (*fitness*) explícita, os indivíduos que não interagem com outros agentes por decisão deliberada ou por encontrarem-se isolados em alguma parte do universo 2D, gradativamente são eliminados. Um operador de recombinação é aplicado utilizando uma distribuição

normal de probabilidade, que teoricamente provê uma equânime escolha entre os indivíduos que irão reproduzir-se. Portanto, partindo de uma população aleatória, a ecologia tende a favorecer naturalmente os indivíduos que (a) possuem uma maior tendência de comunicação ou (b) possuem um *clock* mais acelerado.

Apesar da cor estar, ainda que fracamente, relacionada dentro da representação do genótipo com os atributos listados acima, esperava-se que houvesse um agrupamento de indivíduos com cores semelhantes. No entanto, o que se verificou foi que a variedade de cores se manteve equilibrada. Esta característica emergente do sistema de manutenção do equilíbrio entre as diferentes cores suscita que o próprio sistema, enquanto composto por outros sistemas, pode funcionar de forma autopoietica ao manter internamente as estruturas que o definem enquanto sistema.

Por fim, a opacidade está relacionada à expectativa de vida e ao tempo de vida restante de um indivíduo. Quanto mais próximo do fim do seu tempo de vida, mais translucido fica o indivíduo. É interessante perceber que, de fato, os indivíduos tendem a tentar comunicar-se mais à medida em que vão perdendo sua opacidade. Isto demonstra que o mecanismo interno de inferência adaptou-se de forma autopoietica e emergente ao avaliar uma nova condição do indivíduo.

3.3.2 Movimentação, Pulsos e Composição Sonora

O caráter comunicativo dos agentes tem papel fundamental na construção poética do Zer0. A comunicação entre os agentes é a maneira disponível à eles de estender a sua expectativa de vida. No entanto, esta capacidade de comunicação depende necessariamente de uma propriedade interna dos indivíduos: emitir pulsos.

Esta representação interna é feita através de uma matriz unidimensional com 8 posições que contém o intervalo em milissegundos entre um pulso emitido e o próximo. O exemplo extraído de um agente do sistema (tabela 7), ilustra que entre o pulso 0 e o pulso 1 deve-se aguardar 50 milissegundos e entre o pulso 7 e o pulso 0 deve-se esperar 121 milissegundos, por exemplo. Assim, pode-se verificar que os indivíduos que possuem os menores valores armazenados internamente tendem a comunicar-se de forma mais ágil.

Tempo(ms)	50	32	137	147	0	85	92	121
Indice	0	1	2	3	4	5	6	7

Tabela 7: Representação interna do intervalo entre pulsos de um agente.

Enquanto um próximo pulso não pode ser emitido, os agentes podem movimentar-se ou permanecer onde estão. A decisão depende da análise do agente sobre a possibilidade de maximizar a sua expectativa de vida. Para tal, um peso foi associado à cada uma das possibilidades e é adaptado cada vez que o agente toma uma decisão e ele atinge ou não o seu macro-objetivo. O mecanismo de inferência considera também a quantidade de agentes visíveis dentro da sua esfera de influência ao tomar uma decisão.

A visão do agente da sua área de influência se dá através da intersecção dos seus pulsos com outros emitidos por agentes vizinhos. Ao acontecer a intersecção entre os pulsos emitidos, cada agente emite o seu evento sonoro. Logo, a composição sonora depende de ambos aspectos aqui mencionados: movimentação e pulsação dos agentes. Assim, uma vez que o movimento dos agentes influencia na posição relativa entre eles e, por sua vez, a distância entre os agentes influencia na comunicação entre eles podemos concluir que a composição musical resulta de um processo de co-emergência dinâmica entre agentes e meio-ambiente.

3.4. Zer0, Artelligent

Ao descrever o processo de implementação do gameart Zer0, foram destacados ao longo dos tópicos como as premissas e requisitos elencados para definir um sistema Artelligent foram atendidos:

- a. Utilizar um agente inteligente ou um conjunto/sistema de agentes inteligentes e seu ambiente de tarefa (itens 3.2.1 e 3.2.2);
- b. Utilizar alguma técnica de IA, para descrever e implementar o item acima, que facilite o surgimento de um comportamento emergente (item 3.2.2 e 3.2.3);
- c. Represente o conhecimento de tal forma que ele seja extensível ou emergente (item 3.2.2);

- d.** Utilize os princípios para design de agentes, minimizando o papel do designer na construção do conhecimento agente ao passo em que se maximiza o papel da aprendizagem e/ou adaptação (item 3.2.3);
- e.** Considere pelo menos dois Ps: *Person* (Pessoa), *Process* (Processo), *Product* (Produto) e *Press/Place* (Ambiente/Local) (item 3.3);
- f.** Seja capaz de gerar Produto(s) considerados no mínimo mini-C (item 3.3);
- g.** Considere pelo menos uma das abordagens para criatividade: desenvolvimentista, processual, evolutiva ou sistêmica (3.3);
- h.** Demonstre um comportamento autopoiético no que diz respeito ao gerenciamento das suas estruturas internas de conhecimento e/ou cognição (3.2.3);
- i.** Seja capaz de exibir comportamento emergente (combinatória ou epistêmica) ou demonstre algum tipo de co-emergência dinâmica com o ambiente (item 3.3).

Considerando a descrição proposta para o conceito de Artelligent nesta tese, pode-se afirmar que o sistema implementado apresenta as características necessárias. Muito embora fossem possíveis diferentes implementações e variações da modelagem aqui proposta para o sistema, a escolha da implementação utilizando algoritmos relativamente menos complexos tende a facilitar a compreensão de como podem ser aplicados os princípios levantados.

CONCLUSÃO

Em um primeiro momento, se faz necessário reafirmar a que um sistema Artelligent pode ser definido como um sistema autopoietico que através da utilização de técnicas específicas de inteligência artificial, representa o conhecimento de forma extensível e, considerando os princípios que regem o processo criativo humano, é capaz de exibir resultados de caráter reconhecidamente emergentes em um determinado ambiente.

Para um sistema Artelligent, é notável a importância do campo da IA no sentido de que sem as técnicas oriundas deste campo, provavelmente, seria extremamente difícil propor um sistema capaz de representar conhecimento, aprender e evoluir. Em um sistema Artelligent a representação de conhecimento desempenha um papel fundamental pois, sobre ela desenrolam-se os processos cognitivos ou evolutivos. Muito embora não se possa afirmar enquanto regra, podemos perceber que notadamente um sistema cuja representação de conhecimento está mais aberta à modificações e preparada para um processo adaptativo já denota, por si só, o surgimento emergente de novo conhecimento.

Fica muito clara, na definição de Artelligent, que o objetivo de um sistema Artelligent é alcançar resultados emergentes. Para que isto seja possível, deve-se utilizar em todos os aspectos possíveis os princípios e técnicas que favoreçam e facilitem o surgimento deste comportamento. Neste sentido, o papel do designer deve ser de criar uma plataforma sobre a qual o agente ou sistema deve ser capaz de construir através de um processo iterativo o seu próprio conhecimento.

Dentre as técnicas disponíveis atualmente, destacam-se as que transitam próximas aos modelos biológicos como os algoritmos genéticos, as redes neurais artificiais e os sistemas multiagentes. As três abordagens já exibem naturalmente um comportamento emergente intrínseco. No caso do algoritmo genético, o próprio percurso evolutivo é emergente no sentido de que pode-se determinar qual o objetivo evolutivo através de uma função de adaptação mas não o processo evolutivo que se dá entre sucessivas gerações de indivíduos, como se pode perceber no exemplo do gerador de acordes.

O comportamento emergente exibido pelos algoritmos genéticos é semelhante ao observado nas redes neurais artificiais. Para as RNAs a própria representação do conhecimento é emergente, uma vez que ela se faz através do ajuste dos pesos sinápticos entre as conexões neurais. Por mais que inicializemos duas redes neurais iguais, com os mesmos pesos e quantidade de neurônios, e as utilizemos sobre um mesmo ambiente não podemos afirmar que o conhecimento será representado de forma idêntica em ambas.

Os sistemas multiagentes são capazes de exibir uma auto-organização emergente e baseiam-se no fato de que cada agente é autônomo e pode definir as suas próprias metas e objetivos a fim de determinar quais ações deve realizar. Neste tipo de abordagem, podemos desenvolver agentes cuja capacidade cognitiva é baixa pois o caráter emergente se encontra na interação entre os diversos indivíduos que compõem uma determinada população ou sociedade. Este caráter social dos SMAs é emergente e, notadamente, facilita o surgimento de resultados emergentes.

No que diz respeito à representação de conhecimento, deve-se levar em conta que a representação do conhecimento não é determinante para o surgimento de resultados emergentes mas deve ser considerado seriamente dependendo da abordagem. Ao tratar-se de uma abordagem multiagentes verifica-se que o foco passa a ser a construção coletiva de um comportamento. Para que seja possível um comportamento emergente oriundo de uma interação entre diversos agentes é necessária que haja algum tipo de comunicação explícita ou implícita, mediada ou direta. Neste sentido, podemos considerar que a comunicação e a sua forma fazem parte da representação de conhecimento para os agentes.

Ao pensar em um agente que fará parte de um sistema Artelligent, devemos considerá-lo autopoietico no sentido de que ele deve ser autossuficiente e autônomo para gerenciar seus próprios mecanismos internos, conforme descrito na seção 2. Devemos considerar os princípios de agente e considerar não apenas representação interna do agente mas também levar em consideração o ambiente e as relações que ele estabelecerá com ele. Sob este ponto de vista, o designer tem um papel fundamental ao escolher corretamente como representar o ambiente de maneira suficiente para que o agente consiga desempenhar uma interação com o ambiente mas ao mesmo tempo considerando que deve haver espaço suficiente para que a construção cognitiva ou a

auto-organização social dos agentes aconteça de forma emergente através de um processo autopoietico.

Nesta pesquisa, portanto, mostram-se evidências que podem ajudar a esclarecer por que o conceito autopoiese pode ser bastante interessante para os artistas e cientistas. Artistas computacionais, especialmente, pode encontrar neste conceito vários desafios tecnológicos que possam inspirá-los a produzir arte. Teóricos da IA pode achar fascinante e inspiradora a ontologia por trás do que foi apresentado. Os artigos que tratam de interatividade, autonomia e criatividade podem ser enriquecidos quando consideram todos os aspectos de autopoiese e emergência.

Muito embora pareça claro que o conceito de emergência oferece para o campo da arte e tecnologia uma heurística para a criatividade, se fazia necessária a criação de um framework que abarcasse uma série de princípios que pudessem facilitar o surgimento desta emergência com um grau de complexidade controlado. Se a emergência pode ser definida como o surgimento de novidade pura, então a compreensão dos processos que levam a esses eventos, estruturas, funções e perspectivas emergentes podem ser relevantes para a construção de artefatos que utilizam esses processos para criar novidade. Neste sentido, é possível conceber e implementar algoritmos baseados em processos emergentes naturais a fim de expandir a criatividade humana ou construir sistemas artificiais capazes de demonstrar criatividade autônoma.

Para concluir, seria interessante para listar algumas possíveis desafios para a investigação futura. A compreensão teórica do comportamento inteligente e criativo seria um deles uma vez que apesar de mais de meio século de pesquisa em AI, ele ainda carece de uma compreensão profunda dos mecanismos que controlam, facilita ou permite o comportamento inteligente. Além disso, seria interessante também desenvolver a compreensão nos termos da neurociência, que pode nos prover modelos matemáticos mais precisos a fim de desenvolver outros algoritmos baseados no comportamento biológico do cérebro humano. A implementação destes algoritmos utilizando diferentes técnicas computacionais pode, por fim, ajudar a compreender o próprio funcionamento do cérebro através da análise dos resultados obtidos.

Como uma extensão do gerador de acordes com uma função de *fitness* fixa, foi proposto que a função de *fitness* utilizada poderia ser variável e relacionada esteticamente utilizando sinais de EEG (Eletroencefalograma) (BARRETTO, REGO e VENTURELLI, 2013). Nesta abordagem, a ERAN (Early Right Anterior Negativity) aparece como um sinal EEG possível de ser utilizado porém ainda pouco estudado em processamento em tempo real. O ERAN é um marcador de quebra de expectativa no estímulo auditivo e esta expectativa esta baseada no conhecimento prévio de um determinado campo harmônico. Pode-se verificar a descrição de um algoritmo para detectar o ERAN e analisá-lo no que diz respeito à sua utilização como função de *fitness* para avaliar os indivíduos a fim de orientar a evolução do algoritmo genético baseado na experiência musical e estética do indivíduo. Esta pesquisa está em andamento em parceria com o Laboratório de Neurociência e Cognição da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Por fim, no Zer0, a representação visual e a trilha sonora do jogo emergem de um ambiente complexo definido com regras simples. Os agentes evoluem junto com o meio ambiente, criando uma espécie de auto-identidade, necessária para atingir um nível autopoietico. Seria interessante evoluir esses agentes ao utilizar representações de conhecimento mais complexas. Por exemplo, um modelo BDI poderia provocar grandes mudanças na partitura musical.

REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2001: Uma Odisséia no Espaço. Direção: Stanley KUBRICK. [S.l.]: [s.n.]. 1968.

AKCORA, C. G.; DERMIBAS, M.. **Twitter: Roots, Influence, Applications**. State University of New York at Buffalo. New York. 2010.

ARANTES, P. **@rte e Mídia: perspectivas da estética digital**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.

BAHIA, S. Criatividade e universidade entrecruzam-se? **Revista de Ciências de Educação**, v. 7, p. 51-62, 2008.

BARR, A.; FEIGENBAUM, E. A. **The Handbook of artificial intelligence**. Stanford: Butterworth-Heinemann, v. 1, 1981. ISBN 9780865760899.

BARR, A.; FEIGENBAUM, E. A. **The Handbook of Artificial Intelligence**. [S.l.]: Addison-Wesley Pub, 1986.

BARRETTO, F. D. P. **ARTelligent: Arte e Inteligência Artificial no contexto da emergência e da autopoiese**. Brasília: Dissertação (Mestrado em Artes) - Universidade de Brasília, 2011.

BARRETTO, F. D. P. Emergência Enquanto Heurística Para Criatividade Em Agentes De Inteligência Artificial Aplicados À Composição Algorítmica. **Seminário Música Ciência Tecnologia**, São Paulo, v. 1, n. 4, 2012.

BARRETTO, F. D. P.; REGO, G. G. D.; VENTURELLI, S. Towards an Emergent and Autopoietic Approach to Adaptative Chord Generation through Human Interaction. In: ABSTRACTS, H. I. 2.-P. E. **International Conference, HCI International 2013, Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013, Proceedings, Part I**. Las Vegas: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 579-583. ISBN 978-3-642-39473-7. Communications in Computer and Information Science.

BARRETTO, F. D. P.; VENTURELLI, S. Zer0: An Emergent and Autopoietic Multi-agent System for Novelty Creation in Game Art through Gesture Interaction. **Procedia Manufacturing**, v. 3, p. 850-857, 2015. ISSN 2351-9789. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, \

BARRETTO, F. P. Arte Inteligente: Abordagens para o Desenvolvimento de Sistemas Criativos. In: VENTURELLI, S. **Anais do 9º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia**. Brasília: [s.n.], 2010. p. 171-180.

BEAUCHAMP, J. School of Music - Music 4C. **University of Illinois at Urbana-Campaign Website**, 1996. Disponível em: <http://ems.music.uiuc.edu/beaucham/software/m4c/m4c_intro_html/M4C_intro.html>. Acesso em: 03 Outubro 2009.

BILES, J. A. **GenJam**: A Genetic Algorithm for Generating Jazz Solos. Proceedings of The International Computer Music Conference. [S.l.]: [s.n.]. 1994. p. 131-137.

BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial**: Ferramentas e Teorias. [S.l.]: Editora da UFSC, 2006.

BLADE Runner: o caçador de androids. Direção: Ridley SCOTT. [S.l.]: [s.n.]. 1982.

BOORSTIN, D. J. **The creators**: A history of heroes of imagination. New York: Random House, 1992.

BOURGINE, P.; STEWART, J. Autopoiesis and Cognition. **Artificial Life**, Cambridge - MA, v. 10, n. 3, p. 327-345, 2004.

BREEDLOVE, S. M.; ROSENZWEIG, M. R.; WATSON, N. V. **Biological Psychology**: an introduction to behavioral, cognitive and clinical neuroscience. [S.l.]: Sinauer Associates, 2007.

CABIN (ORG.), P. **La Communication**: etat des savoirs. [S.l.]: Sciences Humaines Éditions, 1998.

CAPRA, F. **O Tao da Física**. São Paulo: Cultrix, 1991.

CARIANI, P. Emergência e Criatividade. In: ITAULAB **Emoção Art.ficial 4.0**. São Paulo: Itaú Cultural, 2009. p. 21-41.

CARRIERRE, J.-C. **O círculo dos mentirosos**. São Paulo: Códex, 2004.

CARVALHO, R. The Magical Features of Immersive Audiovisual Environments. **Interactions**, Outubro 2013. 32-37.

CASTELLS, M. **A Sociedade Em Rede**. [S.l.]: Paz e Terra S.A., v. 1, 1999.

CASTRO, J.; KOLP, M.; MYLOPOULOS, J. Tropos: Toward Agent-Oriented Information Systems Engineering. **Second International Bi-Conference Workshop on Agent-Oriented Information Systems (AOIS2000)**, 2000.

CHARNIAK, E.; MCDERMOTT, D. **Introduction to Artificial Intelligence**. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., 1985.

CHENOVA, J. **Flow in Games**. [S.l.]: Dissertação (Mestrado) , 2006.

CLARKE, J. A. Morphology, Phylogenetic Taxonomy and Systematics of Ichthyornis and Apatornis (Avialae: Ornithurae). **Bulletin of American Museum of Natural History** **286**, 2004. 1-179.

CORNÉER, O.; LÜBCKE, M. Bacterial Orchestra. **Cornéer & Lubcke Website**, 2006. Disponível em: <<http://www.corneerlubcke.com/works/bacterial-orchestra/>>. Acesso em: 12 Novembro 2011.

COUCHOT, E. **A Tecnologia Na Arte: da fotografia à realidade virtual**. [S.l.]: Editora UFRGS, 2003.

COUTINHO, L. M. **Audiovisuais: arte, técnica e linguagem**. Brasília: Ministério da Educação, 2006. 96 p.

CRAIK, K. J. W. **The Nature of Explanation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1943.

CSIKSZENTMIHALYI, M. Society, Culture and Person: a systems view of creativity. In: STERNBERG, R. J. **The nature of creativity: Contemporary**

psychological perspectives. New York: Cambridge University Press, 1988. p. 225-228.

CSIKSZENTMIHALYI, M. **Flow: the Psychology of Optimal Experience**. [S.l.]: Harper Perennial, 1990.

DEBRAY, R. **Vida e Morte da Imagem: uma história do olhar no Ocidente**. Tradução de Guilherme Teixeira. [S.l.]: Editora Vozes, 1993. ISBN 8532610927.

DETOEUF, M. S. **La Danse Dans L'univers**. Paris: Glacs, 1986.

DICK, P. K. (Writer), & SCOTT, R. (Director). (1982). **Blade Runner: o caçador de androids** [Motion Picture]. USA: Warner Bross.

DI SCIPIO, A. Sound is the interface: from interactive to ecosystemic signal processing. **Organised Sound**, Cambridge-MA, v. 8, n. 3, p. 269-277, December 2003.

DOLSON, M. Machune Tongues XII: neural networks. **Computer Music Journal**, v. 13, n. 3, p. 28-40, 1989.

DOMINGUES, D. **A Arte no Século XXI: a humanização das tecnologias**. [S.l.]: Editora UNESP, 1997.

DOMINIQUE, D. B. Espécies de Espaços. In: DOMINGUES, D. **A Arte no Século XXI**. São Paulo: Fundação UNESP, 1997. p. 195-200.

DORSEY, J. Twitter creator Jack Dorsey illuminates the site's founding document. **L.A. Times**, 18 February 2009. Disponível em: <<http://latimesblogs.latimes.com/technology/2009/02/twitter-creator.html>>. Acesso em: 17 May 2010.

ECO, U. **Apocalípticos e Integrados**. [S.l.]: Perspectiva, 2004.

EIBEN, A. E.; SMITH, J. E. **Introduction do Evolutionary Computing**. 2nd Edition. ed. [S.l.]: Springer, 2007.

ENGELL, J. **The creative imagination: Enlightenment to romanticism**. Cambridge: Harvard University Press, 1981.

- FARNELL, A. **Designing Sound**. Massachusetts: MIT Press, 2010.
- FERNANDES, A. M. R. **Inteligência Artificial: noções gerais**. Florianópolis: VisualBooks, 2008.
- FININ, T. et al. **KQML as an Agent Communication Language**. In the Proceedings of the Third International Conference on Information and Knowledge Management [CIKM]. [S.l.]: ACM Press. 1994.
- FLICHY, P. **Une Histoire de La Communication Moderne: espace public et vie privée**. Paris: La Découverte, 1997.
- FLUSSER, V. **Ensaio Sobre a Fotografia**. Tradução de Arlindo Machado. [S.l.]: [s.n.], 1983. ISBN 972708513X.
- FORNARI, J.; MAIA, A.; MANZOLLI, J. Soundscape Design Through Evolutionary Engines. **Journal of The Brazilian Computer Society**, v. 14, p. 51-64, 2008.
- FORNARI, J.; SHELLARD, M.; MANZOLLI, J. **Creating Evolutionary Soundscapes with Gestural Data**. 6th Brazilian Music Computing Proceedings. [S.l.]: SBC. 2009.
- FREED, A.; MOMENI, A.; WRIGHT, M. OpenSound Control: State of the Art. **Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression**, Singapore, p. 153-160, May 2003.
- FROESE, T.; VIRGO, N.; IZQUIERDO, E. **Autonomy: a review and a reappraisal**. Advances in Artificial Life: Proc. of the 9th Euro. Conf. on Artificial Life. Berlin: Springer-Verlag. 2007. p. 455-464.
- FROESE, T.; ZIEMKE, T. Enactive artificial intelligence: Investigating the systemic organization of life and mind. **Artificial Intelligence**, v. 173, n. 3-4, p. 466-500, March 2009.
- GALANTER, P. What is Generative Art? Complexity theory as a context for art theory. **International Conference on Generative Art**, 2003.

GARDNER, M. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". **Scientific American**, 223, October 1970. 120-123.

GAYE, L.; MAZE, R.; HOLMQUIST, L. **Sonic City**: the urban environment as a musical interface. International Conference on New Interfaces for Musical Expression. Montreal: [s.n.]. 2003.

GEORGEFF, M. P. et al. **The Belief-Desire-Intention Model of Agency**. ATAL '98 Proceedings of the 5th International Workshop on Intelligent Agents V, Agent Theories, Architectures, and Languages. Paris: Springer-Verlag. 1998. p. 1-10.

GIBSON, W. **Neuromancer**. São Paulo: Aleph, 2003.

HENNESSEY, B.; AMABILE, T. Creativity. **Annual Review of Psychology**, v. 61, p. 569-598, 2010.

HOLLAND, J. H. **Adaptation In Natural and Artificial Systems**. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.

HOLLAND, J. Studying Complex Adaptive Systems. **Journal of Systems, Science and Complexity**, 2006, v. 19, p. 1-8.

JACOB, B. L. **Composing With Genetic Algorithms**. Proceedings of The International Computer Music Conference. [S.l.]: [s.n.]. 1995. p. 454-455.

JAMESON, F. **Pós-modernismo**: a lógica cultural do capitalismo tardio. São Paulo: Atica, 1996.

JAVA, A. et al. Why We Twitter: Understanding Microblogging Usage and Communities. **Proceedings of the Joint 9th WEBKDD and 1st SNA-KDD**, 12 August 2007.

JEFFERSON, G. The Mind of Mechanical Man. **British Medical Journal**, 25 Junho 1949.

JOHANSON, B.; POLI, R. **GP-Music**: an interactive genetic programming system for music generation with automated fitness raters. Proceedings of the Third International Conference on Genetic Programming. [S.l.]: [s.n.]. 1998.

JOHNSON, S. **Cultura da Interface**: como o computador transforma a nossa maneira de criar e comunicar. Nova York: Jorge Zahar Editor, 1997.

KANDEL, A. **Fuzzy Expert System**. Florida: CRC Press, 1992.

KAUFMAN, J. C.; BEGHETTO, R. A. Beyond big and little: The four C model of creativity. **Review of General Psychology**, v. 13, p. 1-12, 2009.

KAY, S. M. Spectrum Analysis - a modern perspective. **Proceedings of The IEEE**, 69, Novembro 1981. 1380-1419.

KELLNER, D. **A Cultura da Mídia**. [S.l.]: EDUSC, 1995.

KNEALE, W. Reviewed Work: The Logical Structure of the World, and Pseudoproblems in Philosophy by Rudolph Carnap, Rolf A. George. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v. 18, p. 340-432, Feb 1968.

KOCK, N. The Psychobiological Model: towards a new theory of computer-mediated communication based on Darwinian evolution. **Organization Science**, p. 327-348, 2004.

KOELLREUTTER, H. J. **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: [s.n.]. 1985.

KOELLREUTTER, H. J. **Terminologia de uma nova estética da música**. Porto Alegre: Novas Metas, 1990.

KOZBELT, A.; BEGHETTO, R. A.; RUNCO, M. A. Theories of Creativity. In: KAUFMAN, J. C.; STERNBERG, R. J. **The Cambridge Handbook of Creativity**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

KUJAWSKI, G. Emergência - a expressão do inesperado. In: ITAULAB **Emoção Art.ficial 4.0**. São Paulo: Itáu Cultural, 2009. p. 15-19.

LÉVY, P. **Cibercultura**. São Paulo: Editora 34, 2008.

LAHUD, M. **A vida clara**: linguagens e realidade segundo Pasolini. São Paulo: Cia das Letras, 1993.

LANGTON, C. G. **Artificial Life**. Artificial Life: Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems. Redwood City: Addison-Wesley Pub. Co. 1989. p. 1-47.

LAURENTIZ, S. **A Poética dos Recursos Computacionais que Simulam a Vida**. Anais do 6º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia. Brasília: UnB. 2007.

LEMONS, A. Mídias Locativas e Territórios Informacionais. In: ARANTES, P.; SANTAELLA, L. **Estéticas Tecnológicas**. São Paulo: PUC-SP, 2007.

LEVIN, G. **Painterly Interfaces for Audiovisual Performance**. [S.l.]. 2000.

LIPPMANN, R. P. Speech recognition by machines and humans. **Speech Communication**, Amsterdam, v. 22, n. 1, p. 1-15, jul. 1997.

LOURENÇO, B. F.; RALHA, J. C.; BRANDÃO, M. C. **L-Systems, Scores and Evolutionary Techniques**. Proceedings of The 6th Brazilian Music Computing Conference. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Computação. 2009.

LUGER, G. F. **Inteligência Artificial: estruturas e estratégias para a solução de problemas complexos**. Tradução de Paulo Engel. [S.l.]: Bookman, 2004.

LUISE, P. L. Autopoiesis: a review and a reappraisal. **Naturwissenschaften**, v. 90, n. 2, p. 49-59, 10 January 2003.

LYNDENMAYER, A. Mathematical models for cellular interaction in development. **Journal of Theoretical Biology**, v. 18, p. 280-315, 1968.

MANZOLLI, J.; VERSCHURE, P. Roboser: a real-world composition system. **Computer Music Journal**, v. 29, p. 55-74, 2005.

MARTINDALE, C. **The clockwork muse. The predictability of artistic change**. New York: Basic Books, 2007.

MATEAS, M. **Interactive Drama, Art and Artificial Intelligence**. Pittsburgh: [s.n.], 2002.

MATURANA, H.; VARELA, F. **De Máquinas e Seres Vivos: a organização do vivo**. 3rd Edition. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

MCCARTHY, J. et al. A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955. **AI Magazine**, v. 27, n. 4, p. 12-14, dec 2006. ISSN 0738-4602.

MCCULLOCH, W.; PITTS, W. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, 5, 1943. 115-133.

MIKELSON, H. Bird Calls. **Csound Magazine**, 2002.

MINKSY, M. **The Society of Mind**. [S.l.]: Simon & Schuster, 1988.

MORONI, A. et al. Vox Populi: an interactive evolutionary system for algorithmic music composition. **Leonardo Music Journal**, v. 10, p. 49-54, 2000.

MOSS, B.; WARDRIP-FRUIIN, N. The Impermanence Agent: Project and Context. **Performing Arts Journal**, v. 24, n. 1, p. 52-83, 2002.

NEGROPONTE, N. **A Vida Digital**. [S.l.]: Companhia Das Letras, 1995.

NEWELL, A.; SIMON, H. A. **Computer Science as Empirical Inquiry: symbols and search**. ACM Turing Award Lecture. [S.l.]: Communications of the ACM. 1976. p. 113-126.

NICOLESCU, B. **O Manifesto da Transdisciplinaridade**. 4ª Edição. ed. [S.l.]: Editora Triom, 2006.

PAUL, C. **L'Art Numérique**. [S.l.]: Thames & Hudson, 2008.

PEIXOTO, N. B. **Paisagens Urbanas**. São Paulo: SENAC, 2004.

PFEIFER, R. **Building 'Fungus Eaters': Design Principles of Autonomous Agents**. 4: Proc. of the 4th Int. Conf. on Simulation of Adaptive Behavior. Cambridge: The MIT Press. 1996. p. 3-12.

PFEIFER, R.; BONGARD, J. **How the Body Shapes the Way We Think: A New View of Intelligence**. Cambridge: The MIT Press, 2007.

PFEIFER, R.; GOMEZ, G. Interacting with the real world – design principles for intelligent systems. **Artificial Life and Robotics**, v. 9, n. 1, p. 1-6, 2005.

PFEIFER, R.; IIDA, F.; BONGARD, J. New Robotics: Design Principles for Intelligent Systems. **Artificial Life**, v. 11, n. 1-2, p. 99-120, January 2005.

PLAZA, J. Arte e Interatividade: autor-obra-recepção. **Revista do Mestrado em Arte**, v. 3, n. 3, p. 29-42, 1998.

PLAZA, J.; TAVARES, M. **Processos Criativos Com os Meios Eletrônicos**. São Paulo: Hucitec, 1998.

POHLMANN, K. C. **Princípios de Audio Digital**. Madrid: Espanha, 2002.

PRADO, G. Arte e Tecnologia: produções recentes no evento 'A Arte no Século XXI'. In: DOMINGUES, D. **Arte no Século XXI: a humanização das tecnologias**. São Paulo: Editora da Unesp, 1997. p. 243-246.

PRUSINKIEWICS, P.; LINDENMAYER, A. **The Algorithmic Beauty of Plants**. Nova York: Springer-Verlag, 1990.

RAMALHO, G. **Construction d'un Agent Rationnel Jouant du Jazz**. Université Paris VI. [S.l.]. 1997.

RASHEVSKY, N. A reinterpretation of the mathematical biophysics of the central nervous system in the light of neurophysiological findings. **The bulletin of mathematical biophysics**, v. 7, n. 3, p. 151-160, 1945. ISSN 1522-9602.

REAS, C.; FRY, B. **Processing: a programming handbook for visual designers and artists**. 1st Edition. ed. London: The MIT Press, 2007.

REIS, L. P. **Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico**. Porto: FEUP, 2003.

REYNOLDS, C. W. **Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model**. ACM SIGGRAPH '87 Conference Proceedings. Anaheim - California: Computer Graphics. 1987. p. 25-34.

RHODES, M. An analysis of creativity. **Phi Delta Kappan**, v. 42, p. 305-310, 1961.

RICH, E.; KNIGHT, K. **Artificial Intelligence**. Nova Iorque: McGrawHill, 1993.

RINALDO, K. The Flock: Artificial Life Sculpture. **Kenneth Rinaldo Website**, 1994. Disponível em: <<http://www.ylem.org/artists/krinaldo/works/flock/>>. Acesso em: 23 October 2011.

RINALDO, K. Autopoiesis: Artificial life robotic sculpture installation. **Ken Rinaldo Official Website**, 2000. Disponível em: <<http://accad.osu.edu/~rinaldo/works/autopoiesis/autopoiesis.html>>. Acesso em: 23 October 2011.

ROADS, C. **The Computer Music Tutorial**. Massachusetts: MIT Press, 1996.

ROLNIK, S. **Cartografia Sentimental, Transformações Contemporâneas do Desejo**. São Paulo: Estação Liberdade, 1989.

ROWE, R. **Machine Musicianship**. Massachusetts: The MIT Press, 2001.

RUNCO, M. A.; ALBERT, R. S. Creativity Research: A Historical Review. In: KAUFMAN, J. C.; STERNBERG, R. J. **The Cambridge Handbook of Creativity**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 3-19.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: a moder approach**. New Jersey: Prentice Hall, 2003.

SANTAELLA, L. **Culturas e Artes do Pós Humano**. [S.l.]: Paulus, 2003.

SANTAELLA, L.; NOTH, W. **Comunicação e Semiótica**. [S.l.]: Hacker Editore, 2004.

SCHAFFER, M. R. **The Soundscape: our sonic environment and the soundscape**. [S.l.]: Destiny Books, 1994.

SCHAFFER, R. M. **A Afinação do Mundo**. São Paulo: UNESP, 2001.

SCHMEDER, A.; FREED, A.; WESSEL, D. Best Practices for Open Sound Control. **Linux Audio Conference '10**, Utrecht, May 2010.

SERRA, F. **Áudio Digital: A tecnologia aplicada à música e ao tratamento de som**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2002.

SILVA, T. B. P. E. **Morfogênese**: sistema autopoietico emergente de vida artificial. Brasilia: Tese (Doutorado) - Universidade de Brasilia, 2013.

SIMONTON, D. K. **Genius, creativity and leadership**. Cambridge: Harvard University Press, 1984.

SIMONTON, D. K. **Scientific Genius**. New York: Cambridge University Press, 1988.

SIMONTON, D. K. Emergence and realization of genius: the lives and works of 120 classical composers. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 61, p. 829-840, 1991.

SIMONTON, D. K. Creative productivity: a predictive and explanatory model of career landmarks and trajectories. **Psychological Review**, v. 104, p. 66-89, 1997.

SIMONTON, D. K. Scientific Creativity as constrained stochastic behaviour: The integration of product, person and process perspectives. **Psychological Bulletin**, v. 129, p. 475-494, 2003.

SIMONTON, D. K. **Creativity in Science**: Chance, logic, genius and zeitgeist. New York: Cambridge University Press, 2004.

SINGER, J. L. Towards the scientific study of imagination. **Imagination, Cognition and Personality**, v. 1, p. 5-28, 1981.

SODRÉ, M. **Atropológica do Espelho**. [S.l.]: Editora Vozes, 2002.

STRAUSS, L. Natural Law. **International Encyclopedia of the Social Sciences**, 1968.

TEMPOS Modernos. Direção: Charles Chaplin. Intérpretes: Charles Chaplin. [S.l.]: Continental. 1936.

THOMPSON, E. **Mind in Life**: Biology, Phenomenology, and the Sciences of Mind. Cambridge: The MIT Press, 2007.

TODD, P. M. A Connectionist approach to algorithmic composition. **Computer Music Journal**, v. 13, n. 4, p. 27-43, 1989.

TRAMUS, M.-H.; CHEN, C.-Y. **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: [s.n.]. 2005.

TURING, A. M. Computing Machinery and Intelligence. **Mind**, p. 433-460, 1950.

VENTURELLI, S. **Perceptos e Afectos:** a relação entre arte computacional e inteligência artificial. 10th International Congress of the Deutsche Gesellschaft für Semiotik. Kassel: [s.n.]. 2002.

VENTURELLI, S. **ARTE:** espaço_tempo_imagem. 1ª. ed. Brasília: Editora UnB, 2004.

VENTURELLI, S. **#6.Art Arte e Tecnologia:** interseções entre arte e pesquisas tecno-científicas. Brasília: Editora UnB, 2007.

VENTURELLI, S. Estética, Arte e Tecnologia. **Revista VIS**, 2007.

VENTURELLI, S. Interatividade Computacional, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/moringa/issue/curren>>. Acesso em: 10 out. 2011.

VENTURELLI, S. et al. GeoPartitura: Collective concert with music, image, technology and interactivity. **Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research**, 2003. ISSN 1477965X.

VENTURELLI, S. et al. **Ciberintervenção Urbana Interativa.** Anais do 9º Encontro Internacional de Arte e Tecnologia. Brasília: [s.n.]. 2010. p. 89-93.

WALLAS, G. **The Art Of Thought.** New York: Harcourt Brace and World, 1926.

WALLAS, G. **The Art Of Thought.** New York: Hartcourt Brace and World, 1926.

WIENER, N. **Cibernética e sociedade:** o uso humano de seres humanos. São Paulo: Cultrix, 1968.

WILSON, S. Artificial Intelligence Research as Art. **Stanford Electronic Humanities Review: Constructions of the Mind**, 4, n. 2, 1995.

WILSON, S. **Information Arts**. Cambridge: The MIT Press, 2002.

WOOLDRIDGE, M. **Introduction to Multiagent Systems**. 2nd Edition. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2009. ISBN 047149691X.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. Intelligent Agents: Theory and Practice. **Knowledge Engineering Review** , October 1995.

WRIGHT, M. Open Sound Control 1.0 Specification. **OpenSound Control**, 2002. Disponível em: <http://opensoundcontrol.org/spec-1_0>. Acesso em: 17 May 2011.

YOB, G. Hunt the Wumpus: The Genesis of Wumpus. **The Best of Creative Computing**, v. 1, p. 247-250, 1976.

ZUKAV, G. **A Dança dos Mestres Wu Li**: uma visão geral da nova física. São Paulo: Cultura Espiritual, 1989.