

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE INFORMÁTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO

FILIPO STUDZINSKI PEROTTO

**Inteligência Artificial  
Construtivista: uma nova  
perspectiva teórica para uma nova  
arquitetura de agente  
computacional inteligente**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da  
Computação

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosa Maria Vicari  
Orientadora

Porto Alegre, julho de 2004.

## CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

Perotto, Filipo Studzinski

Inteligência Artificial Construtivista: uma nova perspectiva teórica para uma nova arquitetura de agente computacional inteligente / Filipo Studzinski Perotto – Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Computação, 2004.

135 f.: il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Computação, Porto Alegre, RS, Brasil, 2004. Orientadora: Rosa Maria Vicari.

1. Inteligência Artificial Construtivista. 2. Inteligência Artificial. 3. Agentes. 4. Aprendizagem de Máquina. 5. Piaget. I. Vicari, Rosa Maria. II. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitora: Prof.<sup>a</sup> Wrana Maria Panizzi

Pró-Reitor de Ensino: Prof. José Carlos Hennemann

Pró-Reitora Adjunta de Pós-Graduação: Prof.<sup>a</sup> Jocélia Grazia

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Philippe Olivier Navaux

Coordenador do PGCC: Prof. Carlos Alberto Heuser

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha orientadora, Rosa Maria Vicari, e aos professores que me apoiaram e contribuíram para a realização deste trabalho, entre eles, Antônio Carlos da Rocha Costa, Luís Otávio Campos Álvares, Ana Lúcia Bazzan, Maria Luíza Becker, Fernando Becker, Maria Alice Pimenta Parente, Dante Barone e Paulo Martins Engel.

Também agradeço aos colegas que me ajudaram a pensar sobre os problemas da Inteligência Artificial e sobre as próprias rotinas da vida acadêmica, muitas vezes em conversas de bar. Entre eles, faço questão de lembrar os nomes de Licurgo Almeida, Bruno Castro da Silva e Juliano Bittencourt, mas haveria ainda outros.

Ainda quero poder deixar gravado aqui um agradecimento sincero aos amigos e amigas, próximos ou não, mais especiais ou menos, aqueles que ajudam a fazer muito boa a vida, e isso é essencial para se poder fazer bem qualquer trabalho.

Dedico finalmente esta obra à minha família, Maria, Adelino e Raffaello Studzinski Perotto, meus pais e meu irmão, que sempre me apoiaram incondicionalmente, e fizeram tudo o que estava a seu alcance para me dar ótimas condições, em todos os aspectos, para que eu pudesse fazer meu melhor.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 O Desenvolvimento da IA como Disciplina Científica.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 A Concepção Construtivista da Inteligência Artificial.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Objetivos e Contribuições .....</b>	<b>13</b>
<b>2 CONCEPÇÃO DE SUJEITO INTELIGENTE .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Ciências Cognitivas.....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Origem Funcionalista e Contraposições Neuropsicológicas.....	15
2.1.2 A Redescoberta do Cérebro .....	16
2.1.3 A Influência Genética .....	18
2.1.4 Integração e Semi-Modularização do Sistema Nervoso .....	19
2.1.5 Corpo e Emoções, Afetividade e Racionalidade.....	21
<b>2.2 A Teoria Psicológica Construtivista .....</b>	<b>24</b>
2.2.1 Jean Piaget .....	24
2.2.2 Princípios da Teoria Construtivista .....	25
2.2.3 Inato e Adquirido .....	27
2.2.4 A Construção do Real e a Descentração .....	28
2.2.5 Estruturas e Funções .....	29
2.2.6 Equilíbrio Dinâmico .....	29
2.2.7 Passagem dos Estágios.....	31
2.2.8 Construtivismo como Superação do Inatismo e do Empirismo.....	32
2.2.9 Auto-organização.....	34
<b>3 CONCEPÇÃO DE AGENTE INTELIGENTE .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Inteligência Artificial Construtivista .....</b>	<b>36</b>
3.1.1 Fundamentos Paradigmáticos .....	36
3.1.2 Maneiras de Conceber a IA.....	38
3.1.3 Influências Iniciais da Psicologia na IA.....	39
3.1.4 A Psicologia Construtivista na IA Construtivista .....	41
3.1.5 IA com Corpo e Emoção.....	42
<b>3.2 Agentes em Inteligência Artificial .....</b>	<b>44</b>
3.2.1 Agente Reativo e Agente Cognitivo .....	45
3.2.2 Agente Adaptativo .....	47
3.2.3 Agente Corporal.....	48
3.2.4 Agente Emocional.....	49
<b>4 MODELOS DA IA CONSTRUTIVISTA.....</b>	<b>51</b>

<b>4.1</b>	<b>Modelos Inspiradores .....</b>	<b>51</b>
4.1.1	O Nível do Conhecimento .....	51
4.1.2	Os Sistemas de Frames .....	53
4.1.3	Os Sistemas Classificadores .....	54
4.1.4	As Redes Auto-Organizáveis .....	55
<b>4.2</b>	<b>O Agente de Drescher .....</b>	<b>56</b>
4.2.1	Made-Up Minds .....	56
4.2.2	O Mecanismo Esquemático .....	57
4.2.3	Esquemas .....	58
4.2.4	Itens e Ações .....	59
4.2.5	Controle .....	61
<b>4.3</b>	<b>O Agente de Wazlawick .....</b>	<b>62</b>
4.3.1	Um Mecanismo Cognitivo Operatório .....	63
4.3.2	Tratando Níveis de Abstração.....	67
<b>4.4</b>	<b>O Agente de Muñoz .....</b>	<b>68</b>
4.4.1	O Agente Sensório-Cognitivo Piagetiano.....	69
4.4.2	Objetivação dos Esquemas .....	71
<b>5</b>	<b>O NOVO AGENTE CONSTRUTIVISTA .....</b>	<b>75</b>
<b>5.1</b>	<b>Princípio do Agente Construtivista Proposto.....</b>	<b>75</b>
5.1.1	Mundo, Objetos, Organismos e Agentes .....	75
5.1.2	Arquitetura do Corpo .....	76
5.1.3	Integração Corpo-Mente e Razão-Emoção .....	78
5.1.4	Sistema Emocional .....	80
5.1.5	Sistema Cognitivo.....	82
5.1.6	Mecanismos de Aprendizagem.....	86
<b>5.2</b>	<b>Implementação .....</b>	<b>92</b>
5.2.1	Universo, Objetos, Eventos e Fenômenos .....	93
5.2.2	Implementação dos Organismos .....	98
5.2.3	Implementação das <i>Mentes</i> Construtivistas.....	101
<b>5.3</b>	<b>Experimentos.....</b>	<b>116</b>
5.3.1	Descrição do Universo e de seus Objetos .....	117
5.3.2	Descrição do Organismo do Agente .....	119
5.3.3	Descrição da Mente do Agente .....	122
5.3.4	Resultados do Experimento .....	124
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E CONTINUIDADE .....</b>	<b>127</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>130</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Pensamento como Máquina de Estados .....	39
Figura 3.2: Rato no Labirinto: inspiração behaviorista em IA .....	40
Figura 4.1: Exemplo de Sistema Classificador.....	55
Figura 4.2: Ajuste dos neurônios no centro das nuvens conceituais.....	56
Figura 4.3: Esquema representado como grafo (contexto, ação, resultado). .....	58
Figura 4.4: Item Sintético .....	59
Figura 4.5: Ação Composta .....	60
Figura 4.6: ES x Observáveis .....	64
Figura 4.7: ES x Observáveis com #.....	64
Figura 4.8: Problema da distribuição dos conceitos nas nuvens de pontos .....	65
Figura 4.9: Representação de um meta-esquema RA .....	67
Figura 4.10: Representação de um meta-esquema CR .....	67
Figura 4.11: Ajuste dos Esquemas.....	71
Figura 4.12: Encadeamento de Esquemas .....	72
Figura 4.13: Encadeamento de Sensores e Atuadores .....	72
Figura 5.1: Estrutura Interna do Corpo.....	77
Figura 5.2: Estrutura do Agente (Mundo-Corpo-Mente).....	78
Figura 5.3: Estrutura do Agente (Mente Cognitivo-Afetiva).....	79
Figura 5.4: Estrutura Interna do Sistema Emocional .....	80
Figura 5.5: Estrutura de um Esquema.....	81
Figura 5.6: Relação Percepção-Contexto, Ação-Atuação.....	82
Figura 5.7: Exemplo de Compatibilidade .....	82
Figura 5.8: Hierarquia de Esquemas .....	84
Figura 5.9: Um Esquema Inicial: expectativa indefinida, contexto genérico. ....	86
Figura 5.10: Generalização de Expectativas .....	86
Figura 5.11: Exemplo de caso de Diferenciação .....	87
Figura 5.12: Mudança na estrutura dos conjunto de esquemas: Diferenciação .....	88
Figura 5.13: Exemplo de caso de Integração .....	88
Figura 5.14: Integração entre irmãos .....	89
Figura 5.15: Integração entre primos .....	89
Figura 5.16: Relação ótima entre generalidade e especificidade .....	91
Figura 5.17: Ambiente de Simulação .....	116
Figura 5.18: Gráficos que demonstram os processos de aprendizagem .....	124
Figura 5.19: Redução de colisões e exaustões .....	125
Figura 6.1: Aumento de capacidade de construção cognitiva.....	127

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Descrição do Universo Experimental.....	117
Tabela 5.2: Propriedades Internas .....	118
Tabela 5.3: Funções Metabólicas .....	118
Tabela 5.4: Descrição do Organismo Experimental.....	119
Tabela 5.5: Descrição dos parâmetros da mente utilizada no experimento .....	122
Tabela 5.6: Principais esquemas aprendidos com carga emocional.....	123

## RESUMO

A presente pesquisa propõe uma arquitetura de agente computacional inteligente fundamentada nos princípios da Inteligência Artificial Construtivista. A IA Construtivista é um ramo alternativo dentro do panorama paradigmático da IA.

Realiza-se preliminarmente um estudo sobre as conseqüências teóricas promovidas pela incorporação das concepções da Psicologia Construtivista à Inteligência Artificial, uma vez que essa nova abordagem cria um novo sentido para procedimentos já bem estabelecidos nos paradigmas clássicos deste campo científico. São examinadas, então, novas posturas epistemológicas, surgidas com a proposta construtivista para a IA.

Finalmente, a partir desse estudo, propõe-se um modelo de agente capaz de uma aprendizagem autônoma e eficiente, na perspectiva de um modelo de aprendizagem geral. O agente é capaz de aprender com as próprias experiências, construindo e reconstruindo hipóteses sobre os fenômenos vivenciados e identificando as regularidades do ambiente.

**Palavras-Chave:** Inteligência Artificial Construtivista, Inteligência Artificial, Agentes, Aprendizagem de Máquina, Piaget.

# **Constructivist Artificial Intelligence: a new theoretical perspective for a new intelligent agent architecture**

## **ABSTRACT**

This research proposes an agent architecture based on the Constructivist Artificial Intelligence approach. Constructivist AI is an alternative branch into AI paradigmatic field.

We proceed with an initial study about the theoretical consequences promoted by the incorporation of constructivist psychological conceptions in artificial intelligence. We argue that this new approach creates a new meaning to some well-established procedures coming from the classic paradigms of the field. Then we examine new epistemological positions born with the constructivist approach.

Finally, after that, we propose an agent model able to learn about its universe in an autonomous and efficient way, and from a general learning perspective. Our agent is able to learn with its own experience, building and rebuilding hypotheses about the phenomena that it observes and identifying the environment regularities.

**Keywords:** Constructivist Artificial intelligence, Artificial Intelligence, Agents, Machine Learning, Piaget.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 O Desenvolvimento da IA como Disciplina Científica

Existe grande consenso entre os pesquisadores do campo da Inteligência Artificial (IA), de que esta ciência foi fundada em 1956, com a famosa conferência de Dartmouth. Porém o intento de reproduzir essa característica distinta do ser humano – a inteligência – data de muito antes, havendo registros históricos desse pensamento desde a antiguidade na literatura, na engenharia e na filosofia.<sup>1</sup>

Havia assim, na metade do século XX, um contexto propício para o florescimento da Inteligência Artificial como ciência. De um lado, a inquietante curiosidade do ser humano por conhecer a si mesmo serviu como motivação para ir em busca deste empreendimento pretensioso: desvendar os mistérios relacionados à inteligência e construir uma inteligência artificial. De outro lado, as Ciências Humanas e as Ciências da Computação forneciam um ferramental interessante e um quadro otimista para esse surgimento.

A Inteligência Artificial nasceu como uma ciência interdisciplinar. Formas de pensamento mais estruturais e sistêmicas da década de 40 em Filosofia, Psicologia, Antropologia, e Biologia, admitiam conceber o ser humano como um sistema complexo. A Matemática, a Teoria da Computação, e a Cibernética mostravam como uma estrutura era capaz de processar informações. No encontro dessas duas marchas é que surgiu a IA.

A primeira década de existência da IA pode ser marcada por duas características: Em primeiro lugar, os pesquisadores encarregaram-se de vislumbrar as possibilidades que se abriam com esta nova ciência, e, ainda embebedos de uma forte sensação de otimismo, encarregaram-se de fazer ambiciosas promessas, e estabelecer as grandes metas e sonhos da IA. Em segundo lugar, as diversas inspirações filosóficas que deram origem a estes ideais seriam concretizadas sob a forma de linhas de pesquisa.

A IA logo se tornaria independente das disciplinas que lhe deram origem, desenvolvendo suas próprias concepções sobre a inteligência e afirmando-se em torno de seus paradigmas clássicos: IA Simbólica e IA Conexionalista.

---

<sup>1</sup> Todas as informações relacionadas à história da IA e seus paradigmas estão embasadas nos trabalhos de Buchanan (2002), Perotto (2002), Coelho (1999), Barreto (1999), Bittencourt (1996), Simons (1986) e McCorduck (1979).

Nos anos que se seguiram, as dificuldades, os fracassos e a falta de resultados convincentes arrebatarem aquele otimismo inicial dos pesquisadores da IA. O empenho dos pesquisadores não foi suficiente para evitar a constatação de que reproduzir no computador os comportamentos inteligentes do ser humano era uma tarefa muitíssimo mais árdua do que se imaginava.

A necessidade de concretizar suas proposições fez com que a IA passasse por um processo de fechamento e especialização: os cientistas voltaram seus esforços para o aperfeiçoamento das técnicas que já haviam sido propostas. As pesquisas tornaram-se mais específicas e menos ambiciosas. Esse fechamento teve seu ápice na década de 1970, quando o pragmatismo tomou o lugar dos sonhos da década de 1950 e 1960, e levou os pesquisadores a uma busca por resultados concretos.

A velha vontade de desvendar os mistérios da inteligência foi sendo substituída pela pesquisa de técnicas específicas. De início, isso foi necessário, uma vez que até a década de 1960 havia um otimismo excessivo agravado pela falta de ferramentas e conhecimentos sobre cognição. Como efeito colateral, a IA concebeu a maioria de seus cientistas contemporâneos ausentes das discussões epistemológicas e céticos quanto aos sonhos colocados pelo seu passado. Se o pragmatismo vivido pela IA na década de 1970 teve seu lado positivo (pois finalmente os conhecimentos adquiridos pela disciplina passavam a ser utilizados em larga escala na prática), também teve seu lado negativo (desarticulando a IA enquanto um grande projeto de compreensão da inteligência).

Se por um lado esse processo permitiu o crescimento da Inteligência Artificial enquanto campo acadêmico, por outro lado, afastou os pesquisadores das discussões relacionadas ao estudo dos processos cognitivos e inteligentes, e das próprias discussões sobre os fundamentos teóricos da disciplina. Esse processo também resultou em um afastamento entre o conceito de inteligência utilizado na IA e o conceito de inteligência humana que se desenvolveu nas Ciências Humanas, a partir das novas descobertas da Psicologia e das Neurociências.<sup>2</sup>

Além disso, os paradigmas clássicos, à medida que iam sendo exaustivamente explorados, começavam a dar sinais de saturação. O desenvolvimento da IA em cima das mesmas e velhas técnicas ia gradativamente mostrando limites. Em qualquer ciência, quando isso acontece, ocorre um retorno dos cientistas aos questionamentos mais fundamentais. Dessa maneira, a IA precisou novamente abrir-se, e buscar inspiração para superar seus modelos clássicos e encontrar modelos alternativos. As décadas de 1980 e 1990 viram surgir, então, propostas de novos paradigmas, de novas técnicas (muitas delas nascidas de hibridização das técnicas clássicas), e de uma busca por novas concepções teóricas, provenientes de um renovado contato com outras disciplinas.

---

<sup>2</sup> Evidentemente, a noção de inteligência não deve estar atrelada à inteligência humana. A inteligência humana é uma instância dentre uma gama de sistemas inteligentes possíveis. A máquina, tendo uma constituição sistêmica própria, não surpreendentemente pode comportar um tipo de inteligência distinta. Essa desantropomorfização do conceito de inteligência não será alcançada através da ignorância, mas sim da aceitação das peculiaridades do ser humano, enquanto sistema, e da compreensão de como a inteligência humana é fruto da operação desse próprio sistema. Uma discussão mais aprofundada sobre esse assunto pode ser vista em (VICARI, 1993).

O colapso dos sonhos utópicos dos anos 60 deu oportunidade aos pragmáticos, os quais aproveitaram para, no fim da década de 70, afastar imediatamente a disciplina do trabalho sobre os fundamentos. (...) Mas, na medida em que se alargou o espectro de complexidade dos novos problemas reais a resolver, tornou-se imperioso regressar de novo à zona das áreas nucleares da IA (COELHO, 1999, p.55).

Continua existindo um ponto de vista possível na leitura dos trabalhos publicados recentemente nos diversos campos das ciências cognitivas que permite conceber a idéia de que a inteligência possui um caráter sistêmico e passível de estruturação. Por consequência disso, é válido almejar a construção artificial de sistemas inteligentes por meio da computação. Embora a Inteligência Artificial até hoje não tenha conseguido produzir um sistema computacional convincentemente inteligente, da mesma forma seus críticos também não puderam demonstrar a impossibilidade de tal realização.

As pesquisas desenvolvidas no campo da Inteligência Artificial nesses últimos 50 anos acabaram por demonstrar que com mecanismos simplificados, o máximo que se pode atingir é uma expressão restrita de comportamentos inteligentes. A emergência da inteligência em sistemas artificiais só será possível com uma arquitetura integradora de diversos mecanismos, os quais, por si só, ainda necessitam de definição e esclarecimento.

## **1.2 A Concepção Construtivista da Inteligência Artificial**

Um dos frutos desse processo de renovação, que se iniciou na década de 1980, foi o surgimento da concepção construtivista da IA. A *Inteligência Artificial Construtivista* é um ramo alternativo no panorama paradigmático da IA. Em linhas gerais, engloba todos os trabalhos desta ciência que fazem referência à Teoria Psicológica Construtivista, fundamentalmente representada na obra de Jean Piaget.

A concepção construtivista da inteligência foi reconhecidamente trazida ao campo científico da Inteligência Artificial na obra de Gary Dresner (1991), embora trabalhos anteriores já ensaiassem essa aproximação. A IA Construtivista permanece ainda hoje como um paradigma alternativo, não tendo conquistado um espaço significativo entre os pesquisadores da área, que em sua maioria ainda estão ligados aos paradigmas clássicos. Mas mesmo sendo uma proposta pouco explorada, ainda em busca de legitimidade e consolidação, a IA Construtivista já se mostrou apta a fornecer contribuições significativas para a disciplina (COSTA, 1995). De qualquer maneira, cabe afirmar que existe aí um caminho a ser trilhado pela pesquisa em IA, e que lhe pode fornecer novas perspectivas.

A Psicologia Construtivista pode oferecer uma fundamentação bastante interessante para o desenvolvimento de modelos de Inteligência Artificial, uma vez que descreve o desenvolvimento psíquico e cognitivo em termos de sistemas, estruturas, operações e processos, ou seja, uma forma de pensar razoavelmente próxima da computação.

Os modelos construtivistas em IA permitem desenvolver arquiteturas de agentes inteligentes que se adaptam ao seu ambiente sem a intervenção do programador na construção de suas estruturas cognitivas. Nesse paradigma, o agente computacional, embora podendo ser programado para realizar determinadas tarefas, está livre para construir seu conhecimento na interação com o meio, e dessa forma, encontrar sozinho as soluções para os problemas que lhe surgem. Essa autonomia de construção cognitiva representa um passo importante para a IA no seu caminho em busca de agentes computacionais verdadeiramente inteligentes.

### **1.3 Objetivos e Contribuições**

Esta pesquisa, em particular, propõe-se a definir uma nova arquitetura para um agente computacional inteligente. Seguindo a linha de pensamento descrita até aqui, o modelo proposto estará fundamentado nos princípios da IA Construtivista, implementando alguns dos mecanismos de inteligência e aprendizagem descritos por Jean Piaget. Alguns trabalhos da década de 1990 já trilharam caminhos semelhantes, fundamentalmente Drescher (1991), Wazlawick (1993) e Muñoz (1999). Estes trabalhos serão referências em nossa pesquisa, servindo como inspiração inicial e ao mesmo tempo fornecendo parâmetros sobre que limites precisam ser superados.

A diferença do modelo que estamos propondo para as arquiteturas construtivistas que nos antecederam reside na forma de implementação do mecanismo de aprendizagem. Nossa proposta baseia-se num mecanismo completamente indutivo, não se utilizando de abordagens estatísticas nem de algoritmos genéticos. Como procuraremos demonstrar, essa opção permite vislumbrar um agente cognitivo com potencialidades interessantes. Neste trabalho, entretanto, só foi possível implementar o agente num nível mais reativo, mas capaz de aprendizagem.

A primeira parte desta dissertação enfocará o aspecto teórico da inteligência, onde formularemos uma concepção de sujeito a partir de estudos bem aceitos em disciplinas como psicologia, neuropsicologia, biologia e antropologia. A segunda parte é dedicada à concepção de o que seja um agente inteligente e à IA Construtivista. A terceira parte identifica as propostas de implementação de agentes construtivistas na literatura da comunidade acadêmica de IA. Por fim, a quarta parte é dedicada à definição de nossa arquitetura de agente inteligente, com sua implementação e resultados experimentais.

## 2 CONCEPÇÃO DE SUJEITO INTELIGENTE

### 2.1 Ciências Cognitivas

Nesta última década (1990), os estudos das diversas áreas que compõem as ciências da mente conduziram a pesquisa na direção de uma reconciliação entre a psicologia e a biologia. Em outras palavras, muitos pesquisadores perceberam que era necessário considerar aspectos do organismo humano para melhor compreender como é possível que nele ocorra a inteligência. Como consequência desse processo, entidades como corpo, cérebro e emoções ganharam espaço nas ciências cognitivas, e a mente passou a ser considerada num sistema integrado (TEIXEIRA, 2000).

Essa mudança de concepção atingiu também a pesquisa em inteligência artificial (IA), uma vez que ela está atrelada às ciências cognitivas. A partir disso, a necessidade de se considerar a corporalidade e as emoções em um agente artificial inteligente passou a integrar o discurso de muitos pesquisadores da área. Como resultado desse processo, a IA produziu alguns modelos e arquiteturas de agentes que se propunham a dar conta destes aspectos, ou, ao menos, lançar luz sobre a problemática (BERCHT, 2001).

Assim, é intenção deste trabalho definir, a partir de um estudo sobre a concepção do sujeito humano vigente nas ciências cognitivas contemporâneas, um modelo de agente artificial com autonomia.

Estamos considerando um agente autônomo aquele que age a partir de motivações próprias. Essa autonomia não se restringe à escolha das ações que conduzem o agente a seus objetivos, mas implica também o próprio estabelecimento de objetivos. Os objetivos de um agente autônomo são consequência de motivações próprias, que por sua vez são resultado de uma dinâmica interna do agente (COSTA; DIMURO, 2003). Por isso nosso foco principal será a representação do corpo e das emoções, e a compreensão de como estes elementos interagem com a mente, e como desta interação resulta o comportamento.

### 2.1.1 Origem Funcionalista e Contraposições Neuropsicológicas

Atualmente Ciências Cognitivas é o nome que se dá ao conjunto de estudos relacionados à compreensão dos sistemas inteligentes. Constituem-se numa diversidade de abordagens teóricas, modelos e métodos de investigação (SIMON; KAPLAN, 1993). As Ciências Cognitivas constituem um programa de pesquisa que tem por objeto a inteligência, desde sua estrutura formal até seu substrato biológico, passando por sua modelização, até suas diversas formas de expressão (IMBERT, 1998).

A disciplina foi fundada a partir da interação entre outras disciplinas: Psicologia, Cibernética e Inteligência Artificial, Linguística, Filosofia, Antropologia e Neurociências. Apesar dos conflitos entre os paradigmas, existe o objetivo comum de integrá-los conceitualmente numa arquitetura de sistema inteligente, a partir da definição de níveis de abstração onde o comportamento emana da atividade neurofisiológica (nível neural e conexionista), mas que, num nível mais abstrato, estabelece uma relação complexa de processamento de informação (nível simbólico e do conhecimento). Embora inspirados no modelo humano, os cientistas buscam modelos abstratos de processos inteligentes, reconhecendo nas diferenças estruturais de cada sistema (naturais e artificiais), suas potencialidades, diferenças e semelhanças funcionais (SIMON; KAPLAN, 1993).

A Ciência Cognitiva incorporou inicialmente uma tendência para a análise da inteligência como processo, independente do meio material em que esteja ocorrendo (orgânico, físico, ou abstrato). Essa abordagem foi predominante nas décadas de 70 e 80, e é chamada de paradigma funcionalista na Ciência Cognitiva. O modelo funcionalista está diretamente baseado na metáfora computacional da mente, herdada da Inteligência Artificial e da Psicologia do Processamento de Informação (TEIXEIRA, 2000).

O modelo funcionalista propõe que é possível abstrair-se dos fenômenos biológicos do cérebro para estudar a mente. Mais que isso, que o substrato biológico é irrelevante, desde que permita a constituição das funções da inteligência. O estudo da mente, nessa concepção, se dá num nível conceitual mais alto, buscando arquiteturas funcionais que suportem sistemas inteligentes.

Porém o abuso da metáfora computacional da mente, somado a um modelo simplificado do cérebro (reduzido a um sistema lógico-digital), levou as ciências cognitivas a subestimar a estreita relação entre o fenômeno da inteligência e a morfologia dos organismos (e dos cérebros) onde essa inteligência se manifesta. Este modelo simplificado do cérebro é herança de estudos adotados pela Inteligência Artificial como sustentação de suas teorias. Era preciso crer na viabilidade do projeto de construir a inteligência artificialmente. Assim, tanto o modelo de neurônio artificial (McCULLOCH; PITTS, 1943), que embasou o desenvolvimento subsequente da IA Conexionista, quanto a própria hipótese de que o cérebro e o computador digital eram equivalentes enquanto sistemas de manipulação simbólica (NEWELL, 1980), enunciado fundamental da IA Simbólica, foram presunções necessárias para alavancar o desenvolvimento da disciplina. Tiveram, porém, como efeito colateral a cristalização de uma concepção ingênua a respeito de como se dá o fenômeno da inteligência humana nesse sistema complexo que é o sistema nervoso humano.

O resultado dessa grande abstração sobre a qual se apóia o modelo computacional da mente foi abordar a cognição e a consciência como se essas pudessem ser produzidas em máquinas idealizadas, desde que essas fossem equivalentes a um sujeito humano. Como consequência, grandes e estéreos debates foram travados entre os filósofos da mente na década de 1970 e 1980. (...)

Não há dúvida que modelar a cognição ou descobrir os mecanismos que produzem a consciência através de um conjunto de leis lógicas totalmente independentes do mecanismo físico que as implementa constitui uma estratégia inviável. Essa parece ter sido a lição imediata da neurociência cognitiva e do movimento em direção à redescoberta do cérebro que se iniciou na década de 1990. (...)

Não se pode mais estudar a mente sem estudar o cérebro, pois se acredita, cada vez mais que suas características seriam a chave para a compreensão da natureza da cognição e da consciência. (TEIXEIRA, 2000, p.172-173).

### **2.1.2 A Redescoberta do Cérebro**

Os recentes avanços que ocorreram no âmbito da neurofisiologia, no que diz respeito à compreensão do funcionamento do sistema nervoso, levaram a um questionamento do modelo funcionalista do estudo da mente, e originaram, por outro lado, o desenvolvimento de uma disciplina chamada Neurociência Cognitiva, situada justamente na intersecção entre as Ciências Cognitivas e as Neurociências.

A Neurociência Cognitiva na década de 1990 reacendeu a idéia de que a Psicologia e a Neurologia deveriam estabelecer uma nova relação. Uma independência completa não poderia mais ser aceita, e o novo paradigma deveria considerar a mútua influência entre a dimensão neurológica e a dimensão psicológica, sem destituí-las de sua autonomia enquanto campos de conhecimento. Propunha-se, assim, estudar empiricamente a experiência subjetiva a partir de diversos níveis de explicação complementares e teoricamente integrados.

Após duas décadas de hegemonia do modelo computacional da mente, as atenções começaram a se voltar novamente para o papel do cérebro como substrato biológico da cognição e da consciência. Até então a idéia predominante era que a mente seria o software do cérebro, ou que a relação entre psicologia e neurociência seria o mesmo que a relação entre software e hardware respectivamente. Como e onde (em que tipo de substrato físico) o software da mente poderia ser implementado, constituía, para os funcionalistas, apenas um detalhe técnico. Essa situação começou a ser alterada a partir do início da década de 1990. (...)

A rejeição do funcionalismo (...) não significava que a neurociência poderia prescindir totalmente de modelos computacionais nem tampouco de modelos matemáticos – o que certamente seria um retrocesso. Mas havia a necessidade de se rediscutir que tipo de papel se deveria atribuir a esses modelos na explicação de fenômenos cognitivos. Uma descrição abstrata desses fenômenos, ou seja, abstraída de sua implementação em cérebros reais não era mais aceitável. (TEIXEIRA, 2000, p.165-166).

A discussão contemporânea dentro das Ciências Cognitivas não deverá levar ao desmantelamento da proposta funcionalista, mas sim a uma redefinição de certas premissas que até então haviam sido adotadas. Em primeiro lugar, mantém-se a evidência de que, embora o cérebro e a mente participem da mesma realidade ontológica, existe um discernimento destes dois domínios em termos epistemológicos. Em outras palavras, a aceitação da hipótese materialista da inteligência (de que a inteligência é resultado unicamente dos processos neurofisiológicos), não significa que a mente não possa ser estudada através de modelos conceituais abstratos. Em segundo lugar, é preciso levar em consideração as especificidades do sistema nervoso enquanto sistema complexo para entender-se como a mente ali se realiza.

Essa nova orientação teórica resgata idéias não tão novas assim, como aquelas sugeridas por Piaget (2000): Não projetar na ordem inferior (biológica) o que for característico de ordens superiores (psicológicas), nem reduzir o superior ao inferior. Isto implica em admitir que a ordem de abstração superior possui características próprias, que não podem ser encontradas no nível inferior, e ao mesmo tempo, admitir que o nível superior se constitui a partir do inferior.

Os modelos computacionais da mente continuam tendo papel fundamental na pesquisa sobre a inteligência. Há, porém, um desvinculamento teórico entre estes modelos e a crença apriorística de que um sistema digital é funcionalmente equivalente ao cérebro. A especificidade do cérebro enquanto um sistema complexo e aberto, com uma topologia específica, com um funcionamento eletroquímico específico, influenciado pelo 'meio corporal' em que se situa, não pode ser desconsiderada quando este cérebro é comparado a um modelo teórico da mente. Deve haver clareza quanto às equivalências e diferenças entre ambos, permitindo, assim, apontar-lhes suas potencialidades e limitações, e tornar plausíveis as razões pelas quais se possa dizer que de um determinado cérebro biológico pode emergir um determinado tipo de mente, e, em contrapartida, que tipo de mente artificial pode emergir de um sistema artificial com outras propriedades, algumas equivalentes ao cérebro, outras não.

O modelo computacional da mente baseia-se na expectativa de que programas computacionais ou neurônios artificiais possam simular os resultados da atividade eletroquímica do cérebro sem que para isso seja necessário replicar exatamente a composição biológica e físico-química dos elementos que compõe o tecido cerebral. Com isto ter-se-ia esquecido, por exemplo, que no cérebro há uma variedade de neurotransmissores que produzem efeitos variados, diferenças entre células que executam funções específicas e uma grande variedade de sistemas com suas especificidades. Ter-se-ia esquecido, ademais, que seriam as características físicas do cérebro a chave para explicar como e por que ele pode desempenhar certas funções. (TEIXEIRA, 2000, p.172).

Seria apressado, entretanto, supor que o avanço da neurociência poderia substituir integralmente a abordagem interdisciplinar da mente que se consolidou nas últimas décadas. Modelos computacionais dos correlatos neurais da cognição e da consciência – derivados da ciência cognitiva – continuarão ocupando lugar de destaque nessa investigação. O neurocientista conta com o auxílio do cientista cognitivo para construir simulações computacionais das diversas atividades cerebrais para poder testar – ainda que apenas de uma forma aproximada – a validade de suas hipóteses.

A “década do cérebro” trouxe uma nova maneira de conceber as relações entre as diversas disciplinas que devem compor uma ciência da mente. Disciplinas como a ciência da computação, a psicologia, a lingüística e a filosofia da mente se aproximam cada vez mais da neurociência. A aliança progressiva da ciência da mente com concepções biológicas do funcionamento mental ficara ofuscada pelos exageros do funcionalismo na década de 1970 e sua metáfora da mente como sendo um computador digital.

O risco que corremos agora é o de exagerar no sentido oposto. A concepção do cérebro como uma máquina eletroquímica com propriedades especiais, como a plasticidade e a auto-organização, parece inclinar alguns neurocientistas entusiastas em direção à idéia de que essas propriedades especiais não poderiam ser replicadas artificialmente. (...)

Mas essa conclusão parece apoiar-se numa interpretação equivocada da proposta funcionalista. Certamente na somos máquinas idealizadas nem tampouco nossas atividades mentais podem ser replicadas fornecendo-se delas apenas uma descrição abstrata na qualidade de um software que poderia ser rodado em qualquer tipo de máquina independente de sua arquitetura. (...) Mas a neurociência não nos ensina que o cérebro é necessariamente irreplicável, tampouco que não podemos reproduzir suas características funcionais usando outros materiais e arquiteturas para simular a mente. (TEIXEIRA, 2000, p.177-178)

Seja como for, acredita-se que, em alguma medida, o estudo da neuroanatomia pode contribuir para ajudar a compreender os mistérios da mente, uma vez que os neurônios estão organizados em grupos, formando sistemas que se interrelacionam e resultam nas funções mentais.

### **2.1.3 A Influência Genética**

Toda a concepção radical de sujeito, que o subordina a uma simples determinação biológica, psicológica ou social, está fadada a distorcer o que acontece no ser humano. No campo científico atualmente não se concebe ignorar nenhuma dessas três faces da constituição do sujeito, e entende-se que este constitui um sistema complexo e integrado. As fronteiras entre esses diversos aspectos são tênues e difusas e há um jogo de interação entre elas.

Algumas proposições oriundas da biologia exageram no peso dado aos genes na concepção do sujeito, afirmando um determinismo genético para o comportamento. Tal argumento é pouco viável frente à própria evidência biológica de que o genoma humano (composto por cerca de 35.000 genes) não poderia codificar a estrutura cerebral completa de uma pessoa (composta por cerca de 100 bilhões de neurônios, com milhares de conexões cada um). Hoje é mais aceita a hipótese da adaptabilidade ontogênica. Significa que os organismos complexos, tais como o ser humano, desenvolveram, durante sua evolução enquanto espécie, mecanismos para realizar sua própria adaptação ao ambiente. É uma adaptação individual (ontogênica) que ocorre além da adaptação da espécie durante as gerações (filogenética). O mundo em que vivemos tornou-se tão complexo e dinâmico quanto nós próprios, portanto uma estratégia evolutiva que dá ao organismo a capacidade de adaptar-se sozinho ao meio em que vive lhe proporciona maior chance de sobrevivência. A genética desenharia o cérebro em suas macroestruturas, e a aprendizagem completa o processo.

A inteligência é fruto desse processo, e representa uma continuidade funcional entre o biológico e o intelectual. A inteligência estende a capacidade adaptativa do organismo (PIAGET, 2000).

O genoma, na teoria neodarwinista contemporânea, não é mais visto como um codificador de características. O genoma forma um sistema organizado de genes reguladores ao lado de genes estruturais, que implementa padrões de resposta do organismo. O desenvolvimento das características do organismo passa a ser visto então como o resultado de um processo de desenvolvimento contínuo onde o genoma interage com o meio (seja o meio químico do organismo, seja o meio externo). Assim, o genótipo é a configuração do conjunto de genes de um organismo, e o fenótipo são as características desenvolvidas por esse organismo durante sua vida. O genótipo dá as possibilidades de constituição do organismo, que se concretizará dependendo da sua trajetória de desenvolvimento. Embora existam regularidades estruturais, o mesmo genoma gera organismos diferentes. Um exemplo simples é o de árvores nascidas a partir de ramos, onde a mesma definição genotípica pode originar infinitas árvores fenotipicamente diferentes. Duas árvores podem possuir o mesmo DNA e no entanto terem formas finais bem diferentes e imprevisíveis. O genoma é visto então como uma norma de reação do organismo em função do seu meio.

Nessa perspectiva, a inteligência também passa a ser vista como um produto fenotípico do organismo. Embora possua elementos genotípicos que a codificam e possibilitam, se desenvolve a partir da interação do organismo com seu meio. Não há dúvidas de que a plasticidade do cérebro humano não é infinita. Nosso sistema nervoso possui uma pré-organização inata, fruto da evolução filogenética da nossa espécie. A genética e a biologia do ser humano (aspectos hereditários) determinam possibilidades intelectuais ao sujeito, na medida em que lhe fornecem um aparato nervoso e sensorial específico, além de uma organização neurofisiológica inicial do organismo, que incorpora funções biológicas, funções comportamentais inatas, instintos, emoções básicas, mas além disso implementa funções que lhe permitirão desenvolver a capacidade cognitiva (PIAGET, 1975a).

#### **2.1.4 Integração e Semi-Modularização do Sistema Nervoso**

A principal metodologia utilizada pela Neuropsicologia Cognitiva consiste em observar o comportamento de pessoas que apresentem disfunções cognitivas por consequência de lesões ou má formação cerebral. A partir do comparativo entre a maneira como as disfunções se apresentam nos pacientes, torna-se possível construir modelos de organização da mente enquanto sistemas funcionais. A validade do método requer a aceitação de que a mente está funcionalmente modularizada, onde cada módulo é um mecanismo de processamento de informação com um domínio específico, os quais possuem, em algum grau, uma organização anatômica similar à sua organização funcional. A partir do estudo dos desvios comportamentais dos pacientes lesados, pode-se inferir que tipos de habilidades fazem parte do mesmo módulo (quando a lesão em uma parte do cérebro causa sempre disfunções conjuntas), quais módulos são dependentes (quando a função A é perdida, a função B também é, mas não necessariamente o inverso), e funções que fazem parte de módulos completamente dissociados. (COLHEART, 2001).

Atualmente, já é possível distinguir grandes regiões funcionais no cérebro, sem contestações muito contundentes. Essas divisões apontam para a evidência de que as percepções vindas dos diversos sentidos são inicialmente processadas separadamente. Somente mais adiante (no processo cerebral) é que estes sinais perceptivos são levados a regiões de integração, onde, então, as múltiplas sensações e percepções são integradas.

Existe acordo entre os neurocientistas com relação a esta perspectiva sistêmica da mente, ou seja, a idéia de que a mente funciona através de módulos de conhecimento específicos e em interação. Não há consenso porém no que diz respeito ao quanto tais módulos são inatamente organizados. Uma questão importante é definir, então, até onde vai a pré-organização do sistema intelectual de um indivíduo, e até onde vai sua capacidade de adaptação e construção cognitivas. A hipótese clássica, proposta por Lúria (1979) a partir de experiências clínicas, considera que, além de toda a regulação biológica, a maioria dos sistemas cerebrais ligados à percepção e a expressão tem uma origem inata, enquanto que os sistemas de integração sensoriais, e os sistemas conceituais são desenvolvidos ao longo da vivência do indivíduo.

Seja como for, resta margem ainda para muita discussão a respeito das fronteiras entre inato e adquirido na inteligência humana. O próprio fato estatístico de que na grande maioria das pessoas os módulos, responsáveis por funções cognitivas específicas, encontram-se localizados em regiões análogas do cérebro não é suficiente para afirmá-los inatos. Uma vez que o desenvolvimento humano é semelhante, que a organização inicial do cérebro é semelhante, e que as experiências por quais o sujeito passa ao longo da vida são semelhantes, é pertinente reconhecer a hipótese de que estes módulos possam ser sucessivamente construídos em macro-regiões semelhantes do cérebro, entre as diferentes pessoas.

No que diz respeito ao cérebro, pode-se diferenciar as regiões subcorticais das regiões neocorticais. As regiões subcorticais são evolutivamente mais antigas, e estão mais diretamente relacionadas à regulação biológica, incluindo respostas comportamentais instintivas e inconscientes. As regiões neocorticais são evolutivamente recentes, e são elas que permitem ao ser humano realizar construções cognitivas mais complexas.

Os dados sobre regulação biológica mostram que as seleções de respostas das quais os organismos não têm consciência, e que por conseguinte não são deliberadas, ocorrem constantemente nas estruturas cerebrais de evolução mais antiga. (...). Podemos entender essa seleção como uma forma elementar de tomada de decisão, desde que fique bem claro que não se trata de um eu consciente que efetua a decisão, mas sim de um conjunto de circuitos neurais.

É no entanto bem sabido que, quando os organismos sociais se vêem confrontados com situações complexas e são levados a decidir em face da incerteza, têm de recorrer a sistemas do neocórtex (DAMÁSIO, 1996, p.156).

Damásio constrói o panorama de um cérebro semi-modularizado, onde certas estruturas do córtex desenvolvem uma função particular bem definida. Esta semi-modularização significa também que os módulos não são completamente fechados e que não desempenham necessariamente uma única função. Estes módulos são também parcialmente hierarquizados, uma vez que certos módulos coordenam o funcionamento de outros, mas essa coordenação não é nem rígida nem total. Existe também uma certa paralelização e redundância de processamento das informações.

Tal panorama também é coerente com os estudos contemporâneos em neuropsicologia, mostrando que muitas vezes, um sinal perceptivo é enviado paralelamente a módulos distintos, que acabam por reprocessá-lo. Ainda que esses módulos se prestem geralmente a funções diferentes, realizando portanto processamentos e integrações diferentes, seus domínios por vezes se interseccionam.

Dessa maneira, o que se pode dizer do ser humano, é que a regulação biológica e a racionalidade coexistem e formam uma totalidade, um sistema integrado. Os comportamentos inconscientes, instintivos, inatos ou condicionados, não sucumbem às construções cognitivas de mais alto-nível. Umas exercem influência sobre as outras, em grande proporção coordenando-se, o que não exclui a existência de conflitos e também de funcionamentos independentes.

A aparelhagem cerebral da racionalidade, tradicionalmente considerada neocortical, não parece funcionar sem a aparelhagem da regulação biológica, considerada subcortical. Parece que a natureza criou o instrumento da racionalidade não apenas por cima do instrumento da regulação biológica, mas também a partir dele e com ele. (...) A racionalidade resulta de suas atividades integradas (DAMÁSIO, 1996, p.157).

### **2.1.5 Corpo e Emoções, Afetividade e Racionalidade**

Também é característica das concepções mais recentes das ciências cognitivas, a idéia de que a mente e o corpo bem como a razão e a emoção humanas formam uma totalidade. O ser humano é uma entidade complexa, e seu comportamento é resultado do funcionamento integrado de todo o organismo.

Ainda é muito incipiente o estudo sistemático das emoções e até que limite vai sua influência sobre o comportamento humano, mas decididamente as emoções são elemento fundamental para compreendê-lo. Se por vezes o pensamento racionalista quis tratar as emoções como uma exceção indesejável, um lapso de descontrole da razão, hoje é difícil conceber desta maneira.

Há um esforço notável dos estudos recentes em ciências cognitivas justamente por demonstrar que o ser humano só tem a inteligência que tem porque ele não é puramente racional. A mente não pode ser confundida com a razão ou a consciência, e também não pode ser completamente separada do corpo. A mente e o corpo, assim como razão e emoção, não formam oposições: *“o cérebro e o corpo encontram-se indissociavelmente integrados por circuitos bioquímicos e neuronais recíprocos dirigidos um para o outro”* (DAMÁSIO, 1996, p.113). O comportamento inteligente do ser humano seria uma consequência do equilíbrio entre a razão (que compreende os cenários) e a emoção (que induz à ação, selecionando as hipóteses mais interessantes).

Damásio define a emoção como um processo mental e corporal, onde, a partir da identificação ou antecipação de determinadas situações desencadeadoras da emoção, inicia-se um processo de alteração corporal, que leva à sensação da emoção e à predisposição para comportamentos de resposta.

Vejo a essência da emoção como a coleção de mudanças no estado do corpo (...) sob o controle de um sistema cerebral dedicado, o qual responde ao conteúdo dos pensamentos relativos a uma determinada entidade ou acontecimento. (...)

A Emoção é a combinação de um processo avaliatório mental, simples ou complexo, com respostas dispositivas a esse processo, em sua maioria dirigidas ao corpo propriamente dito, resultando num estado emocional do corpo, mas também dirigidas ao próprio cérebro (...), resultando em alterações mentais adicionais (DAMÁSIO, 1996, p.168-169).

As emoções fazem parte da estrutura neuropsicológica do ser humano. Existe uma série de estados emocionais que estão inatamente organizados, tanto no que diz respeito ao tipo de eventos que irão desencadeá-los, quanto no que trata das alterações corporais, e comportamentos induzidos por eles. No entanto, nosso sistema emocional também se desenvolve atrelado aos sistemas cognitivos abstratos, ou seja, certos estados emocionais são despertados somente após o reconhecimento complexo de certas situações, e isso envolve estruturas de mais alto-nível.

Em muitas circunstâncias de nossa vida como seres sociais, sabemos que as emoções só são desencadeadas após um processo mental de avaliação que é voluntário e não automático. Em virtude da natureza de nossa experiência, há um amplo espectro de estímulos e situações que vieram se associar aos estímulos inatamente selecionados para causar emoções (DAMÁSIO, 1996, p.159).

Damásio sugere a diferenciação do que chamou de *Emoções Primárias* e *Emoções Secundárias*. As emoções primárias seriam inatas, estando pré-programadas para responder a determinados estímulos sensoriais (internos, do corpo, ou externos, do mundo). Esses estímulos seriam detectados e processados no sistema límbico (subcortical). A resposta viria através da ativação de estados corporais emocionais, provocando uma interferência comportamental dirigida.

As emoções secundárias são aquelas despertadas a partir de imagens mentais que foram construídas pelo indivíduo durante suas vivências. Essas imagens mentais representam situações que foram associadas pelo indivíduo a estados emocionais. A emoção secundária não é o conhecimento da relação entre determinadas situações e determinadas emoções vivenciadas no passado, mas é o próprio desencadeamento inconsciente do estado emocional uma vez que o sujeito percebe que está em determinadas situações. O mapeamento neurofisiológico desse circuito mostra que as emoções secundárias expressam-se apoiadas nas estruturas primárias. As imagens mentais, organizadas em diversas regiões do neocortex, ligadas às percepções e às zonas de integração perceptiva, podem ativar regiões do lobo pré-frontal, as quais estão conectadas ao sistema límbico, responsável pela expressão emocional.

A expressão corporal da emoção é feita de forma autônoma pelo sistema nervoso, e envolve alterações no estado visceral, alterações no estado motor, alterações no sistema endócrino e peptídico e alterações neuroquímicas.

Damásio diferencia também a emoção do sentimento. O sentimento envolve justamente a percepção da própria condição emocional. Como essa percepção é pessoal, desenvolvida ao longo da trajetória de experiências do sujeito, existe um aspecto do sentimento que é subjetivo e intraduzível em sua individualidade. Por outro lado, existe toda uma gama de experiências emocionais e sentimentais que podem ser compartilhadas, seja porque somos, enquanto seres humanos, animais da mesma espécie, e portanto temos estruturas inatas semelhantes, seja porque temos a capacidade de construir analogias entre nossas vivências.

Se uma emoção é um conjunto de alterações no estado do corpo associadas a certas imagens mentais que ativaram um sistema cerebral específico, a essência do sentir de uma emoção é a experiência dessas alterações em justaposição com as imagens mentais que iniciaram o ciclo (Damásio 1996, p.175).

As emoções fazem parte intrincada de um sistema maior, no contexto neuropsicológico do ser humano. É do funcionamento desta totalidade que emerge o comportamento inteligente, não podendo este ser atribuído somente à capacidade racional.

Não me parece sensato excluir as emoções e os sentimentos de qualquer concepção geral da mente. (...)

Os sentimentos são tão cognitivos quanto qualquer outra imagem perceptual, e tão dependentes do córtex cerebral como qualquer outra imagem. (...)

Os sentimentos permitem-nos vislumbrar o que se passa na nossa carne, no momento em que a imagem desse estado se justapõe às imagens de outros objetos ou situações; ao fazê-lo, os sentimentos alteram a noção que temos desses outros objetos e situações. Em virtude da justaposição, as imagens do corpo conferem às outras imagens uma determinada qualidade positiva ou negativa, de prazer ou de dor (DAMÁSIO, 1996, p.189-190).

LeDoux (1996) afirma que a emoção não é uma faculdade isolável do organismo. Cada emoção é um sistema particular, complicadamente conectado aos outros sistemas do organismo. Mais que isso, a emoção, embora tendo uma base biofisiológica, constitui-se nos patamares neurológico, psicológico, cognitivo e social.

Piaget também defende a idéia de que conhecimento e afetividade não podem ser completamente separados:

É incontestável que o afeto desempenha um papel essencial no funcionamento da inteligência. Sem afeto não haveria interesse, nem necessidade, nem motivação; conseqüentemente, perguntas ou problemas nunca seriam colocados e não haveria inteligência. A afetividade é uma condição necessária para a constituição da inteligência, embora, na minha opinião, não suficiente. (...)

Não encontraremos um comportamento ou um estado que seja puramente cognitivo, sem afeto, nem um estado puramente afetivo sem um elemento cognitivo envolvido. (...) Assim como não há um estado puramente cognitivo, não há um estado puramente afetivo. (...)

Um estado de emoção (...) supõe uma discriminação, e, portanto, um elemento cognitivo. Na simpatia, amizade, amor, há elementos de discriminação e compreensão. (...)

Assim, a afetividade não precede o conhecimento, e o conhecimento não precede a afetividade. Eles são paralelos entre si. (...) Há relação de correspondência e não de causalidade (PIAGET, 1962).

A afetividade é essencial, nessa perspectiva, uma vez que é o motor para a ação. O desenvolvimento torna-se, assim, um processo de equilibração sucessiva, tanto cognitiva quanto afetiva e social.

Em todos os níveis, a ação supõe sempre um interesse que a desencadeia, podendo-se tratar de uma necessidade fisiológica, afetiva ou intelectual (a necessidade apresenta-se nesse último caso sob a forma de uma pergunta ou um problema). (...)

Toda ação – isto é, todo o movimento, pensamento ou sentimento – corresponde a uma necessidade. A criança, como o adulto, só executa alguma ação exterior ou mesmo inteiramente interior quando impulsionada por um motivo, e este se traduz sempre sob a forma de uma necessidade. (...) Uma necessidade é sempre a manifestação de um desequilíbrio (PIAGET, 2002, p.15-16).

Da mesma forma que o sistema cognitivo não pode ser reduzido às percepções, o sistema emocional não pode ser reduzido às necessidades fisiológicas. Existe uma construção em ambos. Existe uma atribuição de valor afetivo às experiências e aos objetivos que supera o simples nível de satisfação fisiológica.

É preciso considerar, assim, uma perspectiva cognitiva que também é parte do que entendemos por emoção. Significa dizer que o pensamento também tem um papel na gênese da emoção. Os indivíduos estimam os eventos que lhe sucedem, sejam externos (no ambiente) ou internos (sensações, projeções, lembranças...), e esta avaliação ou estimativa se refere ao processo de julgamento de significância individual de um evento. As emoções dependem do modo crucial de como os eventos são compreendidos pelo sujeito, sendo respostas ao modo como são significados (BERCHT, 2001).

Mesmo nas ciências humanas mais afastadas da perspectiva biológica do fundamento da inteligência (como é o caso das ciências sociais), existe o reconhecimento de que o ser humano (e seu comportamento dito inteligente) não pode ser compreendido sem a aceitação de que há integração entre fatores biológicos (genéticos, fisiológicos e neurológicos), psicológicos (cognitivos e afetivos) e sociais. Esse é o conceito de “homem total” (MAUSS, 1974), e do sujeito bio-psico-social (GIDDENS, 2000).

Os seres humanos têm realmente um passado evolucionário, e todo indivíduo possui uma herança genética. Seria absurdo imaginar que isso é irrelevante para o comportamento (...), mas a herança genética sempre interage com a experiência de vida e o ambiente (...) Como seres culturais, podemos superar as injunções e os impulsos biológicos, mesmo os mais fortes – os seres humanos têm presumivelmente um forte impulso para autopreservação, no entanto podem suicidar-se (GIDDENS, 2000, p.105).

## **2.2 A Teoria Psicológica Construtivista**

### **2.2.1 Jean Piaget**

Jean Piaget, nascido na Suíça, em 1896, começou seu trabalho acadêmico como biólogo, mas o grande interesse de sua vida intelectual foi buscar compreender como o ser humano era capaz de construir conhecimentos e fazer ciência. Esse é propriamente o campo de estudo de uma disciplina chamada *Epistemologia*. Piaget achava que os grandes filósofos da ciência prendiam-se demais a especulações, em vez de tentar compreender de maneira objetiva como é que acontecem os processos cognitivos humanos. Percebeu então que, para responder a essas questões, seria necessário entender tais processos sob o foco da psicologia do desenvolvimento.

Por isso mesmo dedicou muitos anos de pesquisas estudando o comportamento de crianças, desde o nascimento até a vida adulta, dando atenção especial para a forma como compreendem suas vivências, e como constroem as noções mais simples sobre a realidade.

Por seu trabalho único e impressionante, Piaget é sem dúvida uma das figuras mais importantes no que diz respeito à Psicologia do Desenvolvimento no século XX. O sistema teórico que construiu é minucioso, complexo e bastante consistente, o que faz do paradigma construtivista uma escola contemporânea de pensamento (FLAVELL, 1996). Não podendo ser traduzidos em poucas afirmações matemáticas ou verbais, os princípios construtivistas serão o tema deste capítulo.

Alguns críticos questionam a psicologia construtivista na medida em que ela considera pouco o desenvolvimento da afetividade e das emoções, atendo-se apenas aos processos propriamente cognitivos. A observação é verdadeira, mas a crítica não é pertinente, pois Piaget fez uma opção teórica ao escolher do sujeito psicológico, apenas o sujeito cognitivo como objeto de estudo, sem negar, no entanto, sua estreita relação com o sujeito afetivo.

Piaget veio a falecer em 1980, deixando-nos, como seu legado, pelo menos meio século de pesquisas e obras, e a proposta de uma nova maneira de conceber a gênese do conhecimento que se dá em cada um de nós.

### **2.2.2 Princípios da Teoria Construtivista**

A Psicologia Piagetiana, também chamada de Teoria Construtivista<sup>3</sup>, parte do princípio que o principal elemento da inteligência é a capacidade de adaptação. O sujeito, ao nascer, possui apenas estruturas cognitivas elementares, mas entre elas incluem-se aquelas que lhe permitem desenvolver novas estruturas (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998).

O sujeito constrói novas estruturas cognitivas ao longo de sua vivência. Estas novas estruturas não são fruto apenas de mecanismos internos. Elas desenvolvem-se como resultado de uma interação ativa do sujeito com seu meio. Significa que, embora as novas estruturas sejam resultado do desenvolvimento das estruturas já existentes, numa espécie de reorganização interna, essa construção de conhecimento também é determinada pela interação do sujeito com o meio, onde encontra as imposições e resistências do mundo exterior.

Existe então um processo dinâmico que contrapõe sujeito e meio levando a superações sucessivas, na direção de um equilíbrio cognitivo. É através deste processo de desenvolvimento intelectual que o sujeito torna-se capaz de conhecer o mundo exterior e também de conceber a si próprio como sujeito (BECKER, 2001).

No desenvolvimento mental existem elementos estruturais variáveis e elementos funcionais invariantes. Isso significa que durante a atividade do sujeito, as estruturas cognitivas são transformadas, mas as funções gerais que regulam o processo permanecem constantes (PIAGET, 1975a). Nessa concepção, a inteligência é a capacidade de adaptação do sujeito ao meio a partir da construção de novas estruturas capazes de encontrar as regularidades existentes nos diversos níveis de complexidade do mundo. Esse processo de adaptação, no nível psicológico, se dá através da construção do conhecimento.

---

<sup>3</sup> Piaget utilizava pouco a expressão “construtivismo”, preferindo “psicologia genética”, mas é fato que em algumas oportunidades auto-intitulou-se construtivista. O conceito popularizou-se a partir da apropriação de sua teoria psicológica pelos pesquisadores ligados à pedagogia. Além de Piaget, outros autores também são considerados construtivistas, como H. Wallon e L. Vigotsky

A adaptação, por si só, é apenas o aspecto externo, observável, de um processo mais complexo, cujo aspecto interno é a gradativa organização das estruturas cognitivas (PIAGET, 1975a).

O organismo transforma-se em função do meio. A **organização** é o aspecto interno do processo de regulação da interação entre o organismo e o meio. A **adaptação** é o aspecto externo do processo de regulação da interação entre o organismo e o meio. Piaget salienta a unidade desse processo, no qual os diferentes aspectos observados se integram:

A organização é inseparável da adaptação: são dois processos complementares de um mecanismo único, sendo o primeiro o aspecto interno do ciclo, do qual a adaptação constitui o aspecto externo. (...) É adaptando-se às coisas que o pensamento se organiza e é organizando-se que estrutura as coisas (PIAGET, 1975a).

As estruturas cognitivas são chamadas de ‘esquemas’. Um **esquema** é aquilo que, numa ação, pode ser diferenciado, generalizado e aplicado a outras situações. Ele é a própria estrutura cognitiva elementar, que engloba, numa totalidade, a percepção, a ação e a expectativa<sup>4</sup>. (MONTANGERO; MAURICE-NAVILLE, 1998).

O sujeito compreende todas as suas experiências através de seus esquemas, e por isso mesmo tenta submeter todo o meio exterior a eles. Porém, a realidade por vezes lhe resiste, e o obriga a modificar-se (PIAGET, 1975a). Isso acontece quando as expectativas do sujeito com relação a uma determinada situação se mostram falhas, compelindo-o a corrigir seus esquemas. Existe, assim, um processo de regulação das interações entre o organismo e seu ambiente. O sujeito está a todo o instante realizando “assimilações” e “acomodações”, e, com isso, vai diferenciando progressivamente seus esquemas, a fim de dar conta da sua realidade (PIAGET, 1978).

**Assimilação** é o processo que ocorre quando os esquemas do sujeito são capazes de tratar a situação que se apresenta. Através da assimilação o sujeito integra o mundo que percebe a esquemas já constituídos, e dessa maneira, submete o mundo à sua organização. Na interação organismo-meio, a assimilação é a proporção do processo em que o organismo é capaz de incorporar os dados externos, da percepção, na sua própria organização. O organismo assimila o mundo que percebe a seus esquemas já constituídos; integra-o a estruturas prévias.

**Acomodação** é o processo que ocorre quando os esquemas do sujeito não são capazes de dar uma resposta satisfatória a alguma situação. Neste caso, a pressão do meio leva o sujeito a modificar-se, diferenciando progressivamente seus esquemas a fim de dar conta da sua realidade e tornar-se mais adaptado a ela. Na interação organismo-meio, a acomodação é a proporção do processo em que o organismo modifica a sua organização em função dos dados externos, uma vez que não é capaz de dar conta suficientemente da situação. O organismo acomoda os seus esquemas ao mundo.

---

<sup>4</sup> O conceito de ‘esquema’ de Piaget é baseado na idéia de ‘esquematismo’ proposta pelo filósofo Emmanuel Kant. Para Kant, um esquema seria o resultado da atividade do espírito no momento em que este conhece. O esquematismo seria mesmo o próprio ato de formação das idéias, o momento em que se compreende algo por conduzir toda uma diversidade de dados a um princípio geral (Julia 1969).

A assimilação e a acomodação também são dois aspectos integrados de um mesmo processo, através do qual o sujeito ajusta seu repertório de esquemas para dar conta de suas experiências. O sujeito tende, assim, a ampliar sua capacidade de interação com o meio, criando tanto esquemas mais gerais, quanto esquemas mais específicos:

A assimilação psicológica, na sua mais simples forma, não é outra coisa, com efeito, senão a tendência de toda a conduta ou de todo o estado psíquico a conservar-se e a extrair, com essa finalidade, a sua alimentação funcional do meio externo. É essa assimilação reprodutora que constitui os esquemas, adquirindo estes sua existência logo que uma conduta, por pouco complexa que seja, dá lugar a um esforço de repetição espontânea e assim se esquamatiza (...) As repetições sucessivas que são devidas à assimilação reprodutora acarretam, em primeiro lugar uma ampliação da assimilação, sob a forma de operações cognitivas e generalizadoras: na medida em que o novo objeto se assemelha ao antigo, há reconhecimento e, na medida em que ele difere, há uma generalização do esquema e acomodação. (...) Se acompanharmos, fase após fase, o desenvolvimento dos esquemas, quer em geral, quer cada um deles, individualmente, verificar-se-á que essa história é a de uma generalização contínua. Não só toda a estruturação é capaz de reproduzir-se na presença dos acontecimentos que provocam o seu aparecimento, mas, além disso, aplica-se aos objetos novos que a diferenciam em caso de necessidade (PIAGET, 1975a).

### 2.2.3 Inato e Adquirido

Na discussão sobre a importância dos elementos inatos ou dos adquiridos para a formação da inteligência, Piaget aposta muito mais no adquirido, sem negar sua estreita dependência com o inato.

Não é possível reduzir os fenômenos psicológicos aos biológicos, tampouco projetar no plano biológico as características do psicológico. Piaget reconhece a evidência de que certos fatores hereditários condicionam o desenvolvimento intelectual, mas lembra que estes não o determinam. A genética e a biologia do ser humano (aspectos hereditários) contribuem com a psicologia simplesmente até onde se referem ao aparato nervoso e sensorial e à organização neurofisiológica inicial do organismo, que incorpora muitas funções biológicas, mas especialmente funções que lhe permitirão adaptar-se ao mundo, e alguns esquemas iniciais, que estarão sujeitos a essa adaptação e que serão a raiz desse equilíbrio adaptativo do ser ao ambiente (PIAGET, 2000, 1975a).

Esta postura assegura a autonomia da psicologia, e de seu objeto de estudo específico (o sujeito psicológico), e ao mesmo tempo aceita a importância e codependência com sua base biológica. As estruturas cognitivas fazem parte do plano psicológico do sujeito. São estruturas de um tipo distinto, construídas, e esse plano psicológico não pode ser reduzido ao biológico, embora nele se constitua.

Fica biologicamente excluída a possibilidade de considerar a organização dos esquemas de ações como independente de todo o fator endógeno; (...) esses esquemas constituem formas dinâmicas ou funcionais necessariamente ligadas a tais formas estáticas ou anatômicas estabelecidas pelas estruturas dos órgãos (PIAGET, 2000).

Haveria uma continuidade entre o biológico e o intelectual, mas não uma continuidade estrutural, pois as estruturas em cada nível são muito distintas, mas uma continuidade funcional, na medida em que existem, em ambos os contextos, a busca da adaptação do organismo ao meio e correlativa organização do meio por parte do organismo.

Piaget entende que há uma analogia a ser feita entre os dois planos (biológico e psicológico), pois tanto o organismo biológico quanto o sujeito psicológico constituem sistemas auto-regulados que buscam a adaptação ao ambiente. Mais que isso, existe nos dois planos uma continuidade funcional, pois a capacidade cognitiva do ser humano pode ser vista como uma extensão do processo de adaptação orgânica.

A inteligência constitui uma atividade organizadora, cujo funcionamento prolonga o da organização biológica e o supera, graças à elaboração de novas estruturas (PIAGET, 1975a).

#### **2.2.4 A Construção do Real e a Descentração**

Inicialmente, o sujeito psicológico dispõe apenas de “quadros sensoriais” (percepções instantâneas do campo visual, auditivo, tátil, cinestésico, gustativo...). Esses quadros não têm nenhuma relação lógica implícita, sendo, a priori, desconexos. A partir desse universo de “quadros sensoriais” a inteligência irá construir noções elementares, estabelecer relações, encontrar regularidades, e, finalmente, construir um universo objetivo, substancial, espacial, temporal, regular, exterior e independente de si. O “real” vai ser constituído nesse movimento de adaptação pela crescente coerência entre os esquemas (PIAGET, 1975b).

O sujeito está sempre tentando assimilar as vivências e ampliar (acomodar) seus esquemas de assimilação para ser cada vez mais adaptado. O “real” vai ser constituído nesse movimento de adaptação, pela crescente coerência entre os esquemas, que assim permitem a constituição de um universo regular.

O estudo da inteligência sensório-motora ou prática durante os dois primeiros anos do desenvolvimento ensinou-nos como a criança, tendo assimilado primeiro, diretamente, o meio exterior à sua própria atividade, constitui em seguida, para prolongar essa assimilação, um número crescente de esquemas simultaneamente móveis e mais aptos a coordenarem-se entre si. (...) A crescente coerência dos esquemas acompanha, paralelamente, a constituição de um mundo de objetos e de relações espaciais, de causas e de relações temporais, em resumo, a elaboração de um universo sólido e permanente (PIAGET, 1975b).

Paralelamente (mas apenas como outro aspecto de um processo único), o sujeito começará a conceber-se como sujeito. A inteligência construirá inicialmente uma série de esquemas funcionais para dar conta das interações imediatas com a realidade, mas não possuirá a noção de que faz parte de um mundo que lhe é exterior. Não há, nesta fase, diferenciação entre o ‘eu’ e ‘o mundo’. No decorrer do desenvolvimento intelectual, então, o sujeito irá compreender-se como ‘uma coisa entre outras coisas’. É um gradativo abandono do egocentrismo, concomitante com a formação da objetividade e da consciência de si.

É no momento em que está mais centrado em si próprio que ele menos se conhece; e é na medida em que ele se descobre que passa a situar-se em um universo e, por esse mesmo fato, o constitui. Por outras palavras, egocentrismo significa simultaneamente, ausência da consciência de si e ausência de objetividade. (...) Ora, essa organização do real efetua-se na medida em que o eu se emancipa de si próprio, descobrindo-se e situando-se, pois, como uma coisa entre outras (PIAGET, 1975b).

### **2.2.5 Estruturas e Funções**

Uma função é sempre uma interpretação feita subjetivamente pelo observador para entender a dinâmica de um sistema. Uma mesma função pode ser realizada através de muitas estruturas diferentes. Da mesma forma, uma mesma estrutura, dependendo do contexto, pode realizar funções diferentes.

O desenvolvimento intelectual implica numa série de rupturas estruturais. Ao detectar a insuficiência ou inadequação de seu conjunto de esquemas, o sujeito é levado a uma transformação cognitiva, a fim de encontrar um novo sistema compreensivo mais adequado, diferenciado a partir do sistema anterior. Existe porém uma continuidade funcional inerente a essas transformações. Os diversos estágios alcançados através do desenvolvimento intelectual encontram correspondências funcionais (o que justamente não significa equivalência de estruturas). Os estágios se sucedem como prolongamento um do outro, sendo os anteriores necessários aos que surgem e que os superam.

Os conceitos de ‘estrutura’ e ‘função’ são ferramentas de análise, no que diz respeito ao estudo da psicologia do desenvolvimento. A estrutura é a forma independente do seu conteúdo mesmo, é um sistema de elementos e suas relações. Por isso mesmo as estruturas podem se organizar em níveis de organização diferenciados (estruturas de estruturas) (PIAGET, 2000).

As estruturas não são vistas como coisas estáticas, elas admitem uma atividade, um funcionamento estrutural, que a torna dinâmica. A função é, assim, a ação exercida pelo funcionamento de uma subestrutura sobre o de uma estrutura maior.

### **2.2.6 Equilíbrio Dinâmico**

A adaptação intelectual (...) é um estabelecimento de equilíbrio progressivo entre um mecanismo assimilador e uma acomodação complementar (PIAGET, 1975a).

Os processos de assimilação e acomodação tendem a tornar-se melhores e mais integrados com o próprio desenvolvimento cognitivo. Significa que a aprendizagem implica também um tipo de “aprender a aprender”, que só é possível quando o sujeito tem uma história de evolução de suas próprias estruturas cognitivas em sua trajetória de vida. A aprendizagem se torna mais refinada com a experiência.

A acomodação é a transformação dos esquemas a partir da experiência visando tornar o sistema mais adaptado ao ambiente. Como a acomodação ocorre em um esquema que o sujeito já possui, a nova estrutura surge moldada pelas estruturas já existentes. Mas ao mesmo tempo em que os esquemas integram a novidade, também devem conservar o que já sabem. O sistema atinge a estabilidade porque a cada acomodação amplia sua capacidade de assimilação. Assim, as novidades desequilibrarão o sistema cada vez menos, e este estará mais preparado para tratá-las (PIAGET, 1975a).

O indivíduo percorre um caminho de equilíbrio não só de suas estruturas, mas também do próprio processo de adaptação. A adaptação torna-se, com o desenvolvimento, mais refinada e precisa, isto é, o jogo da assimilação e acomodação torna-se mais eficaz e coordenado, e isso acontece, não por uma força especial, mas como consequência da própria coerência que adquire o conjunto de esquemas. Este novo equilíbrio é mais estável porque está preparado para um universo maior, compreendido agora por conceitos cada vez mais abstratos e sistemas de transformação cada vez mais complexos (PIAGET, 1975c).

A assimilação e a acomodação evoluem de um estado de indiferenciação caótica para um estado de diferenciação, com coordenação correlativa.

Em suas direções iniciais, a assimilação e a acomodação opõem-se, evidentemente, uma à outra, dado que a assimilação é conservadora e tende a submeter o meio à organização tal como ela é, ao passo que a acomodação é uma fonte de mudanças e sujeita o organismo às sucessivas imposições do meio. Mas se, no seu começo, essas duas funções são antagônicas, o papel da vida mental, em geral, e da inteligência, em particular, é precisamente coordená-las entre si.

Recordemos, desde já, que essa coordenação não implica qualquer força especial de organização, visto que, desde as suas origens, a assimilação e a acomodação são indissociáveis uma da outra.

Quanto mais os esquemas se diferenciam, tanto mais diminui a defasagem entre o novo e o conhecido, de tal sorte que a novidade, em vez de constituir um obstáculo evitado pelo sujeito, passa a ser um problema que solicita a exploração e a pesquisa.

Uma solidariedade cada vez mais estreita tende, assim, a estabelecer-se entre as duas funções (assimilação e acomodação), cuja diferenciação se aperfeiçoa constantemente; e prolongando-se essas linhas, essa interação acaba por culminar, como vimos, no plano da inteligência refletida, na mútua dependência da dedução assimiladora e das técnicas experimentais (PIAGET, 1975b).

Assim, é preciso dar-se conta da existência dos processos de equilíbrio, que estão num nível diferente do equilíbrio propriamente. Piaget sugere a expressão “equilíbrio majorante” para definir o processo que modifica as estruturas conduzindo-as a um estado de equilíbrio maior (PIAGET, 1976).

Ao mesmo tempo em que o processo de construção cognitiva deve ser capaz de modificar-se para integrar as novidades que se apresentam, também deve ser capaz de realizar isso preservando o conhecimento anteriormente adquirido. Cada acomodação amplia a capacidade de assimilação do sujeito. A atividade cognitiva tende, num ambiente estável, a alcançar um ponto de equilíbrio, pois as novidades desequilibrarão o sistema cada vez menos, e este estará mais preparado para tratá-las (PIAGET, 1975a).

A organização dos esquemas se dá, assim, por superações dos equilíbrios anteriores, constituindo um equilíbrio maior<sup>5</sup>.

O equilíbrio entre a assimilação e a acomodação se define pela conservação mais ou menos durável das seqüências exteriores, e quanto mais as seqüências observadas são extensas e complexas, mais estável é o equilíbrio do esquema que as engloba. Entretanto, da percepção mais elementar ao pensamento mais elevado, essa conservação supõe sempre – pelo próprio fato de a acomodação não ser nunca pura, mas manifestar-se necessariamente no interior de um sistema de assimilação – uma coordenação dos esquemas, ou, dito de outro modo, uma assimilação recíproca que vem a dar em sua descentração (PIAGET, 1975c).

### 2.2.7 Passagem dos Estágios

A inteligência não aparece, de modo algum, num determinado momento do desenvolvimento mental, como um mecanismo inteiramente montado, e radicalmente distinto dos que o precederam. Pelo contrário, apresenta uma notável continuidade com os processos adquiridos ou mesmo inatos. (PIAGET, 1975a, p.31)

O trabalho de Piaget envolveu uma minuciosa análise descritiva das regularidades que acontecem no processo de desenvolvimento intelectual dos seres humanos. Os estágios do desenvolvimento do sujeito são marcados pelas grandes formas estruturais que coordenam seu sistema de compreensão.

Piaget e sua equipe de pesquisadores observaram empiricamente centenas de crianças, do nascimento até a vida adulta, e distinguiram três estágios fundamentais no desenvolvimento cognitivo. O primeiro é o estágio sensório-motor (que vai até cerca de dois anos de idade), onde a criança vive a realidade da interação direta com o meio. O segundo divide-se em dois subestágios, um, que surge com a função simbólica e os inícios da representação e prepara para as operações lógico-concretas (entre mais ou menos 2 e 7 anos); outro das operações lógico-concretas (dos 7 anos até a adolescência). Da adolescência à vida adulta, por fim o sujeito constrói as operações lógico-formais, alcançando seu nível maior de equilíbrio, e podendo fazer raciocínios hipotético-dedutivos, num plano plenamente conceitual e sem a necessidade do contato direto com a realidade concreta (PIAGET, 2002, p.13-17).

Cada um desses estágios significa um novo universo, e uma conseqüente reconstrução. Por exemplo, a criança tem de reaprender no plano representativo, aquilo que já sabe no plano da ação prática:

A adaptação da inteligência a essas realidades novas (do plano representativo), quando ao plano sensório-motor se sobrepõe a linguagem e o pensamento conceptual, acarreta o reaparecimento de todas as dificuldades já vencidas no domínio da ação. (...) A criança não consegue, de imediato refletir, em palavras e em noções, as operações que já sabe executar em atos; e se não pode refleti-las é porque está obrigado, para adaptar-se ao plano coletivo e conceptual em que doravante o seu pensamento se move, a refazer o trabalho de coordenação entre a assimilação e a acomodação já efetuada na sua anterior adaptação sensório-motora ao mundo físico e prático. (PIAGET, 1975b)

---

<sup>5</sup> O conceito de 'superação' de Piaget remete ao conceito das filosofias dialéticas, onde uma tese e uma antítese em conflito levam a uma nova síntese, que ultrapassa ambas.

Os experimentos realizados com crianças no mundo todo apontam uma forte regularidade, principalmente no que diz respeito à cronologia média dos estágios, mas Piaget não acredita que os tempos para desenvolver as capacidades intelectuais sejam fixos. Esses tempos são dependentes da trajetória individual de cada sujeito, uma vez que a construção cognitiva depende da experiência e da ação. Não se trata de maturação biológica. Como acontecem variações por conta das diferentes vivências individuais, podem acontecer variações nos tempos. Piaget explica que um estágio dá suporte para o outro, por isso a seqüência de construção é sempre muito semelhante em todas as crianças.

Existe uma diferença entre aprender um resultado e formar um instrumento intelectual, formar uma lógica, necessária à construção de tal resultado. Não formamos um instrumento novo de raciocínio em alguns dias. (...) Para que um novo instrumento lógico se construa, é preciso sempre instrumentos lógicos preliminares. (...) Isso nos conduz à teoria dos estágios do desenvolvimento, que se faz por graduações sucessivas. (...) Existe uma inteligência antes da linguagem, mas não existe pensamento antes da linguagem. Distinguimos a esse respeito, pensamento e linguagem. A inteligência é a solução de um problema novo para o indivíduo. É a coordenação dos meios para atingir um certo fim, que não é acessível de maneira imediata; enquanto o pensamento é a inteligência interiorizada e se apoiando não mais sobre a ação direta, mas sobre um simbolismo, sobre a evocação simbólica pela linguagem, pelas imagens mentais, que permitem representar o que a inteligência sensório-motora, pelo contrário, vai aprender diretamente (...). A Linguagem é solidária do pensamento e supõe, pois, um sistema de ações interiorizadas. Chamaremos de 'operações' ações interiorizadas, quer dizer, executadas não mais material, mas interior e simbolicamente, e que podem ser combinadas de todas as maneiras (...) É durante o primeiro ano que a criança constrói precisamente todas as subestruturas: a noção de objeto, de espaço, de tempo, sob a forma das seqüências temporais, a noção de causalidade, em suma, as grandes noções das quais o pensamento se servirá ulteriormente (PIAGET, 1978).

À medida que o pensamento da criança evolui, a assimilação e a acomodação diferenciam-se para tornar-se cada vez mais, complementares uma da outra. No domínio da representação do mundo isso significa, por uma parte, que a acomodação, em vez de permanecer à superfície das coisas, penetra cada vez mais na sua intimidade, isto é, sob o caos aparente das coisas a acomodação procura as regularidades e torna-se capaz de experimentações reais para estabelecê-las. Por outra parte, a assimilação, em vez de reduzir os fenômenos às noções inspiradas pela atividade do sujeito, incorpora-os num sistema de relações devidas à atividade mais profunda da própria inteligência. (PIAGET, 1975b).

## **2.2.8 Construtivismo como Superação do Inatismo e do Empirismo**

A Psicologia Construtivista rejeita tanto concepções inatistas de sujeito quanto concepções empiristas, propondo a superação de ambas. Os novos trabalhos em Genética, Neurologia, e Sociologia dão respaldo a essa refutação, levando a crer num sujeito de muitas faces, com estruturas próprias, resistente às pressões do ambiente, e ao mesmo tempo adaptável e interatuante com este (BECKER, 2003).

É impossível negar, parece-nos, que a pressão do meio exterior desempenha um papel essencial no desenvolvimento da inteligência (...). Mas todo o problema consiste em saber como é que o meio exerce a sua ação e como o sujeito registra os dados da experiência. (...) A importância do meio só é sensível, com efeito, num desenvolvimento histórico, quando as experiências adicionadas opõem as séries individuais umas às outras. (...) A experiência não é recepção, mas ação e construção progressivas (PIAGET, 1975a).

O *Inatismo*, doutrina que remonta a Platão (filósofo da Grécia Antiga), afirma que o ‘espírito’ já possui toda a sua inteligência desde seu nascimento, e as experiências que tem durante a vida apenas fazem com que as idéias (inatas) se revelem. O conhecimento, segundo esta concepção, tem origem no próprio sujeito (o que implica em que as idéias estejam de alguma maneira pré-formadas no indivíduo, e sejam anteriores à experiência) e são independentes do meio. O filósofo francês René Descartes (1596 – 1650), precursor da filosofia moderna ocidental, tinha fortes tendências inatistas, afirmando que a razão humana tinha de ser uma espécie de dom.

O *Empirismo* é a doutrina que acredita que o ser humano nasce sem saber nada, e adquire seu conhecimento através das experiências vividas. A versão mais forte do Empirismo encontra-se na obra dos filósofos ingleses John Locke (1632 – 1704) e David Hume (1711 – 1716). Locke afirma que as fontes de todo o conhecimento são a experiência sensível e a reflexão. Concebeu a mente humana, no momento do nascimento, como uma “tábula rasa”, uma espécie de papel em branco, onde o ser humano vai escrevendo o conhecimento que aprende durante a vida. A partir da composição de idéias simples, obtém-se idéias mais complexas, mas sempre provenientes da experiência no meio externo (LOCKE, 1978). Para o Empirismo, o sujeito molda-se às contingências externas, que se impõem a ele, e isso, em última análise, faz do sujeito um mero copiador do meio (BECKER, 2003).

A Psicologia Piagetiana rejeita tanto o Empirismo quanto o Inatismo, e sua teoria não representa um ‘meio-termo’ entre as duas, mas sim uma ruptura com ambas, e sua superação dialética. Piaget rejeita o Inatismo a partir dos estudos que fez com crianças, onde ficou evidenciado que o ser humano precisa construir desde as noções mais elementares sobre a realidade. Rejeita o Empirismo, porque este elimina o sujeito da construção do conhecimento, tomando-o apenas como alguém que o recebe do exterior.

O Construtivismo enfatiza, assim, a relação existente entre sujeito e meio, acreditando que um só pode ser definido em função do outro. O Inatismo polariza todo o desenvolvimento no sujeito, diminuindo a importância do meio. O Empirismo polariza o desenvolvimento no meio, diminuindo a importância dos fatores internos do sujeito. Ambas as doutrinas acabam por ter o mesmo efeito: diminuir tanto o sujeito quanto o meio, porque desconsiderarem sua relação (BECKER, 2003). O Construtivismo reconhece que o sentido das experiências do sujeito não se encontra inscrito nas próprias vivências, nas coisas externas, no mundo, tampouco se encontra completamente dado na interioridade ou subjetividade do sujeito. O sentido da experiência surge dos processos de relação e interação entre os fatores internos e externos.

As palavras de Piaget em um vídeo feito em 1977 na Suíça explicam melhor esta idéia:

Alguns me tomam como um empirista, ou mesmo um neo-behaviorista, (...) porque sustento que o conhecimento parte da ação exercida sobre os objetos. Ora, uma ação sobre os objetos não é a mesma coisa que retirar o conhecimento dos objetos em si mesmos. Há aí, portanto, uma primeira confusão. Outros me tomam, ao contrário, por um neo-maturacionista ou mesmo um inatista, uma vez que faço apelo à ação do sujeito. Mas eles esquecem que as ações do sujeito são justamente uma ação sobre os objetos e há, por conseguinte, interação, e não ação em sentido único. Ao contrário, não sou nem empirista nem inatista, mas sou construtivista. Isto é, eu penso que o conhecimento é uma questão de contínua construção por interação com o real, ele não é pré-formado; há criatividade contínua. Gostaria, pois, de mostrar que o conhecimento não é pré-formado nem no sujeito nem nos objetos, mas há sempre auto-organização e, conseqüentemente, contínua construção e reconstrução. Bem, é por isso que eu não sou empirista. O empirista pensa que o conhecimento é uma espécie de cópia dos objetos (...). Ora, não se trata jamais de uma cópia. Ele é sempre uma assimilação, isto é, uma interpretação por integração do objeto às estruturas interiores de sujeito (PIAGET, 1977).

Esse longo processo é propriamente uma construção de conhecimento, pois resulta de uma organização gradativa das estruturas internas do sujeito, para que consiga manter-se adaptado ao meio. A adaptação não se dá de uma maneira independente em cada situação. Ocorre na interação entre sujeito e objetos, não estando polarizada nem no sujeito, nem no objeto. Se estivesse centrada nos objetos, o sujeito apenas se moldaria a cada nova situação (como um fluido que toma a forma do recipiente em que se encontra), e isso nega o papel da trajetória do sujeito nessa transformação. Mesmo na mudança, existe conservação das estruturas que já existiam: os novos estados alcançados dependem dos estados anteriores. Se estivesse centrada no sujeito, seria necessário admitir um tipo de inatismo e aceitar que o ser humano tenha as estruturas pré-formadas desde o início de sua vida, hipótese que Piaget refuta em seus experimentos, justamente por mostrar que o sujeito constrói seu conhecimento.

### **2.2.9 Auto-organização**

O construtivismo suscita, assim o princípio da auto-organização como o fundamento do desenvolvimento cognitivo do sujeito. Nesse sentido, Humberto Maturana, biólogo contemporâneo, tem muitas concepções em comum com Piaget. Para Maturana, os sistemas vivos são entidades autopoieticas (auto-organizativas) com uma estrutura dinâmica. Esse sistema está inserido em um meio com o qual interage.

Trata-se de uma configuração de relações entre componentes que define a identidade da classe a que os organismos pertencem. (...) Um sistema determinado estruturalmente pode mudar sem que o sistema perca sua identidade de classe, sempre e quando sejam conservadas as relações que constituem sua organização (MATURANA, 1998).

Os sistemas viventes são sistemas determinados estruturalmente. E essa estrutura determina inclusive o domínio de mudanças de estado que possam ter lugar nele e também o domínio das perturbações (encontros externos) que podem disparar nele uma mudança de estado. Toda a interação tem, dessa maneira, uma organização interna no organismo. As interações que disparam essa autopoiese do organismo podem levá-lo a fazer transformações estruturais (de maneira que continue a viver no meio perturbador com uma estrutura diferente, e com domínios de perturbações e de mudança de estado diferentes). Ocorre assim o que Maturana chama de ‘acoplamento estrutural’ do organismo ao sistema que provoca as perturbações, constituindo a incorporação da própria história de interações na estrutura do organismo.

Os organismos são sistemas dinâmicos cuja estrutura está em contínua mudança de uma maneira determinada em cada instante nela mesma. Ao mesmo tempo, o curso que segue esta contínua mudança estrutural é modulado pelas interações do organismo de uma maneira que tem a ver com a natureza estrutural destas interações (...) em um processo que incorpora essas mudanças estruturais a sua dinâmica interna. (...) Em cada instante a estrutura de um organismo é o resultado de sua história de mudança estrutural (MATURANA, 1998).

## 3 CONCEPÇÃO DE AGENTE INTELIGENTE

### 3.1 Inteligência Artificial Construtivista

Como foi visto na introdução deste trabalho, pelo menos desde a década de 1990 alguns pesquisadores do campo da Inteligência Artificial perceberam que a Psicologia Construtivista poderia oferecer uma fundamentação bastante interessante para o desenvolvimento de modelos alternativos de agentes inteligentes. Nessa perspectiva, (DRESCHER, 1991) pode ser considerado o principal ponto de referência dessa definitiva aproximação entre IA e Construtivismo.

Discussões mais aprofundadas sobre questões teóricas do encontro entre Psicologia Construtivista e Inteligência Artificial podem ser encontrados em (COSTA, 1995, 1993, 1986a, 1986b), e também (BODEN, 1983) e (INHELDER; CELLÈRIER, 1996).

#### 3.1.1 Fundamentos Paradigmáticos

Mesmo com o aparecimento de algumas obras interessantes, as idéias de Jean Piaget continuam tendo apenas um papel marginal nos debates da Inteligência Artificial, apesar da relevância desta teoria no campo da Psicologia e da Epistemologia.

Ao lado do livro de Margareth Boden e de alguns artigos publicados por esta autora dedicados a Piaget e seu trabalho, e também de trabalhos de alguns de seus colaboradores em Genebra (principalmente G. Céllier e S. Papert nos anos 60 e 70), Piaget tem sido basicamente um personagem de notas de rodapé, pequenas citações e capítulos isolados em Relatórios de IA (Marvin Minsky tem sido uma notável exceção quanto a esse respeito) (COSTA, 1992).

Dentro deste contexto, os trabalhos de Gary Drescher do início da década de 90 representaram o passo definitivo rumo a uma integração verdadeira da teoria de Piaget com a IA. *“Drescher levantou a proposta de uma abordagem construtivista para a IA, entendida como o trabalho de volta, a partir da descrição que Piaget faz do processo de aprendizagem, numa engenharia reversa até suas bases computacionais, as quais são então submetidas a um teste que verifica sua efetividade”* (COSTA, 1992). A própria expressão *“Inteligência Artificial Construtivista”* também foi usada pela primeira vez por Drescher (1991), justamente para referir-se ao esforço da IA em buscar inspiração no construtivismo.

Por se tratar de um paradigma alternativo, existe uma parte importante da pesquisa em IA Construtivista dedicada aos fundamentos da Inteligência Artificial. Antônio Carlos da Rocha Costa desenvolveu um trabalho bastante sólido com este intuito, ao qual nos remetemos. Segundo sua análise, o excesso de pragmatismo do qual se serviu a pesquisa em IA nas últimas décadas tornou superficial o conceito de inteligência. Sua sugestão é a de um necessário retorno à psicologia, e em especial à psicologia do desenvolvimento, da qual Piaget é o representante mais importante (COSTA, 1986b, 1993).

Também característico da orientação dominante na IA é a recusa em reconhecer à Psicologia a posse dos recursos metodológicos próprios, suficientes para produzir explicações adequadas dos mecanismos de inteligência, postulando que ela dependeria de resultados da Ciência da Computação para produzir tais explicações. Em oposição a essa orientação dominante, o presente projeto reconhece na Psicologia a ciência por excelência dos comportamentos inteligentes e dela toma emprestada a teoria da inteligência desenvolvida por Jean Piaget, que passa a usar como teoria de referência da pesquisa a ser realizada. (...) Piaget viu na inteligência a etapa final do processo de adaptação do ser vivo ao seu ambiente, adaptação que, no caso do ser humano, se faz em relação a todo o universo do possível, além da realidade imediatamente perceptível e manipulável. Piaget compreendeu a inteligência como o resultado de uma construção. (...) vai além de uma adaptação orgânica ao ambiente, atingindo o nível cognitivo, das ações interiorizadas que constituem o pensamento (COSTA, 1995).

Inicialmente, a mudança paradigmática requer uma desantropomorfização do conceito de inteligência, ou seja, uma desvinculação entre inteligência artificial e inteligência humana. A inteligência humana é uma instância dentre uma gama de sistemas inteligentes possíveis. O ser humano é dotado de uma constituição sistêmica própria (ou seja, um conjunto particular de objetivos, funções orgânicas, tipos de interação com o meio, etc), e por isso possui um certo tipo de inteligência. O computador habita outro tipo de ambiente, e constitui-se num sistema distinto do humano, por isso seu processo de adaptação resultará num tipo de inteligência específico (VICARI, 1993).

Ao perceber que a máquina faz um uso particular de suas estruturas cognitivas, atribuindo a elas significados diferentes daqueles imaginados pelo programador, podemos pensar em abordar o desenvolvimento estrutural e funcional de máquinas em termos de um processo guiado por suas próprias necessidades funcionais. Isto levaria a uma visão da IA como um estudo da inteligência de máquina enquanto um fenômeno natural na máquina, sujeito a leis específicas, muito longe da visão da inteligência artificial como a busca por uma maneira de simular artificialmente a inteligência humana (COSTA, 1992).

A IA Simbólica tradicional tem um enfoque convergente com a filosofia do Empirismo, que define o conhecimento como um conjunto de representações internas resultantes da organização de percepções elementares adquiridas através do contato com o mundo, e que define o pensamento como a manipulação dessas representações (COSTA, 1986a). Nesse sentido, as estruturas da inteligência são concebidas como um tipo de modelo copiado das estruturas do mundo. Não há aspecto subjetivo no conhecimento, pois a realidade é pensada como um fato dado, e não como uma construção que se dá através da interação, entre sujeito e objeto, mediada por ações, percepções e afetividades específicas, próprias do corpo.

### 3.1.2 Maneiras de Conceber a IA

Rocha Costa (1986b) considera três discursos principais, que tem servido de fundamento para diferentes visões da Inteligência Artificial, cada um deles implicando diferentes preocupações de pesquisa e mesmo pressupondo diferentes conceitos do que seja “inteligência de máquina”. Os três modos são o comportamental, o estrutural e o interacionista (funcional).

O modo comportamentalista se caracteriza pelo pressuposto de que a inteligência de um sistema só é observável com objetividade quando ele está entregue a uma tarefa específica, e se define pela direção que ele dá a suas ações. Esse ideal comportamentalista evita considerar qualquer tipo de mecanismo intrínseco em uma máquina, que possa ser apontado como sua inteligência. A inteligência é vista no resultado exterior das ações, e não nos mecanismos cognitivos internos. É declaradamente uma concepção da IA como simulação da inteligência humana, e é derivado das idéias de Newell e Simon. O próprio Teste de Turing (1950) enquadra-se nessa categoria, uma vez que apenas avalia o comportamento da máquina numa dada situação para considerá-la inteligente.

O segundo é o modo estruturalista, que também está voltado à idéia de simulação da inteligência, porém considera que a inteligência surge a partir de estruturas específicas. Coloca como tarefa para a IA, então, descobrir que tipos de estruturas dão suporte ao comportamento inteligente, e implementá-las. Há duas linhas de atuação que trabalham nessa perspectiva. A primeira delas é a dos conexionistas, supondo que a melhor maneira de explicar o comportamento inteligente do ser humano é através da organização neural do sistema nervoso. A outra linha não se fundamenta em “estruturas fisiológicas”, mas em “estruturas lógicas”. As duas linhas representam a IA Conexionista Tradicional, e a IA Simbólica Tradicional, enquanto paradigmas que buscam mecanismos que suportam processos inteligentes.

Por fim, o modo interacionista (que Rocha Costa chamou funcionalista) considera a interação do sistema com o meio em que está inserido. Diz respeito às funções que o sistema desempenha para o ambiente, e às funções que os elementos do ambiente desempenham para o sistema. Um sistema computacional inteligente não existe isolado; é preciso considerar o modo como interage com o meio em que está inserido. Isso inclui tanto as funções que o sistema desempenha para o ambiente, quanto as funções que os elementos do ambiente desempenham para o sistema. Está se referindo, em suma, ao que pode ser chamado de “trocas funcionais” entre o sistema e o ambiente.

A IA Construtivista inscreve-se neste terceiro modo fundamentador, evitando tanto visões estritamente comportamentalistas, quanto visões estritamente estruturalistas, e dando espaço a uma visão interacionista do processo inteligente.

Toda máquina é construída para uma finalidade, e desse ponto de vista, ela é tanto mais inteligente quanto melhor atingir, através de suas ações, esses objetivos. Assim, o enfoque funcional deixa de ver a inteligência como algo estrangeiro à máquina, como algo modelado pela inteligência humana, e passa a tratá-la como a capacidade de aprimoramento que a máquina pode fazer em suas próprias estruturas de interação (COSTA, 1993).

Muñoz resume bem o intuito da proposta construtivista na IA:

A área da inteligência artificial, hoje em dia, se vê diante de um grande impasse: por um lado, busca-se uma máquina inteligente que tenha autonomia, capacidade de adaptação, poder de decisão, de conclusão, de análise, etc.; por outro lado, esta mesma máquina deve realizar as tarefas que lhe sejam incumbidas. Para resolver esse impasse, a seguinte solução foi apresentada: modelar as tarefas a serem realizadas pela máquina inteligente como sendo parte de suas necessidades básicas (inatas) expressas por sensações, deixando-a livre para seguir seu caminho de construção cognitiva através de sua interação com o meio (MUÑOZ, 1997).

### 3.1.3 Influências Iniciais da Psicologia na IA

Rocha Costa (1986b) aponta dois caminhos através dos quais a Psicologia subsidiou a formação inicial da IA, na década de 1950: através de uma antiga escola alemã, a escola da Psicologia do Pensamento, e através da Psicologia Comportamentalista.

A escola iniciada por W. Wundt, depois chamada Psicologia do Pensamento, trouxe como principal contribuição para a IA, a noção de representação, então chamada de “conteúdos da mente”. Na sua idéia, a representação mental seria uma estrutura formada pela associação de sensações elementares (por exemplo, perceber uma folha de papel em branco é perceber simultaneamente a brancura, a forma retangular, etc.). O estruturalismo de Wundt era associacionista. Seu objeto de estudo era a representação mental, mas considerada no âmbito da experiência imediata. Foram seus sucessores (entre estes, O. Külpe) que trataram de definir o pensamento como sendo uma sucessão de transformações dessas representações mentais.

Derivado diretamente desses resultados, O. Selz estabeleceu, em 1922, o que seria posteriormente o ponto de contato efetivo dessa tradição psicológica com a IA: a noção de que, em situações de resolução de problemas, o pensamento não procede pela aplicação de operações isoladas, mas por combinações de esquemas, isto é, seqüências parciais de operações, preestabelecidas em função da vivência e da experiência com problemas semelhantes. Tal concepção, na forma de seqüências de representações e operações, assemelha-se ao modelo de máquina de estados, mostrada na figura 3.1.

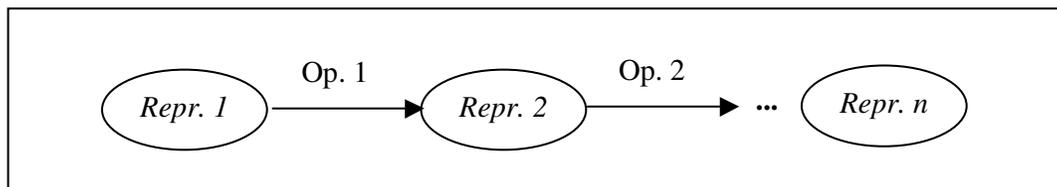


Figura 3.1: Pensamento como Máquina de Estados

Porém a IA recebeu uma forte herança conceitual da escola americana de J. Watson, chamada Behaviorismo, ou Comportamentalismo. Watson, no início do século XX, queria instaurar a objetividade na Psicologia, para tanto, restringiu-se ao estudo dos fatos observáveis, recusando a construção de modelos explicativos da subjetividade, uma vez que esta seria inacessível. Apenas o comportamento, ou o fato externo e aparente, poderia ser considerado. Esses princípios levariam os comportamentalistas a trocar os seres humanos por animais, para que pudessem observá-los em laboratório, sob um controle mais rigoroso.

Os famosos experimentos de aprendizagem com um rato em um labirinto iniciaram ainda no final do século XIX, com E. L. Thorndike. Trata-se de tentar mostrar que o rato, após sucessivas tentativas, aprende o caminho certo em um labirinto. Procede-se do seguinte modo: coloca-se um rato faminto em um ponto do labirinto, a fim de motivá-lo a procurar a comida colocada em outro ponto. Nos primeiros experimentos, o rato percorre o labirinto de forma errática, encontrando a comida por puro acaso. Repetindo-se a experiência um número suficiente de vezes, nota-se que o comportamento do rato passa a ser orientado, indo direto à comida sem muitas hesitações. A característica behaviorista reside na explicação: como não cabe ao pesquisador imaginar os processos internos de cognição do rato, faz-se uma explicação baseada em estímulos e respostas. Um exemplo está descrito na figura 3.2.

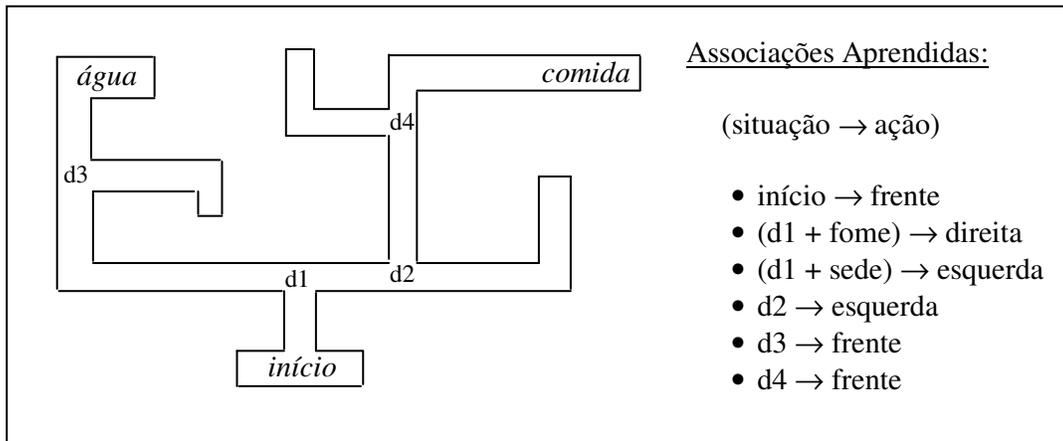


Figura 3.2: Rato no Labirinto: inspiração behaviorista da IA

Embora tendo tido sucesso nas experiências com animais, o Behaviorismo mostrou-se insuficiente enquanto explicação para a inteligência, pois tornou rasa a complexidade do pensamento. A descrição behaviorista do comportamento constitui-se em pares de estímulo e resposta, e a aprendizagem nessa concepção não passa de uma seqüência de associações que o sujeito faz entre eles, a partir do sucesso ou fracasso de suas ações. A situação é o estímulo, a ação é a resposta. Não existe a noção de compreensão, e consequentemente, a noção de conceitos, abstrações ou operações intelectuais.

Apesar das inúmeras críticas, problemas e contradições, o behaviorismo manteve-se como teoria forte na psicologia pelo menos até a década de 1970, principalmente graças ao trabalho do psicólogo B. F. Skinner. Segundo ele, a aprendizagem se dá por condicionamento, que é, em resumo, uma associação feita entre estímulos e repostas ou entre estímulos concomitantes. Esse condicionamento do comportamento se daria através de reforço, que seriam tipos de recompensas dadas ao 'organismo' quando este executa uma ação correta. A aprendizagem só pode se dar, por esse ponto de vista, através de tateios, não havendo nenhum tipo de compreensão envolvida no processo.

A IA foi bastante influenciada por noções behavioristas, e isso está caracterizado nos inúmeros trabalhos que buscam fazer simulação de comportamentos inteligentes, e que confundem isso com a própria inteligência. Mas mesmo nesse tipo de projeto, a IA sempre encontra necessidade de tratar as representações internas do pensamento, pois é sempre preciso implementar algum tipo de mecanismo inteligente. Nessa perspectiva, o trabalho dos Psicólogos O. K. Moore e S. Anderson, sobre resolução de problemas foi importante. Seus experimentos consistiam em pedir a uma pessoa para resolver determinado problema, porém pensando em voz alta, para que o psicólogo pudesse perceber as operações que estava usando em cada momento, os erros, as correções, as tentativas. Cada um desses processos particulares formava um “protocolo”. Um dos experimentos era o seguinte: colocava-se uma pessoa que havia sido treinada no uso de doze regras de derivação do Cálculo Proposicional (Modus Ponens, De Morgan, Adição, Implicação, etc.), era colocado em uma sala em penumbra, em que, na parede, era projetado um quadro onde havia um conjunto de premissas e uma conclusão. O sujeito, usando as regras, deveria tentar derivar a conclusão a partir das premissas ou de proposições que ele mesmo tivesse derivado.

Moore e Anderson haviam proposto uma técnica experimental para o estudo da resolução de problemas usando a capacidade humana de manipulação lógica de símbolos. Newell e Simon, no seu projeto GPS (General Problem Solver) passaram a utilizar esses “protocolos”. Acreditavam que a psicologia deveria tomar o modelo de processamento da informação como uma maneira útil de explicar e entender o comportamento humano. A partir dos resultados apresentados durante os anos de construção do GPS, Newell e Simon acharam adequado adotar o modelo de Regras de Produção (do tipo “se... então...”) para descrever os processos mentais.

A Psicologia do Processamento da Informação nasce ao lado da IA, considerando a mente como um sistema simbólico que incorpora processos de transformação da informação, tendo se mostrado viável em domínios fechados, como por exemplo a resolução de problemas logicamente estruturados. Essa “escola” que então surgia, também trazia uma novidade: livrou-se da limitação de ter de reduzir os processos mentais a processos fisiológicos observáveis. Postulava a existência de um nível especificamente psicológico, constituído de elementos armazenadores e transformadores de informação (processamento de informações), nas estruturas do sujeito. Este nível poderia ser, em algum momento, abstraído a partir do nível cerebral. Resultado disso foi a crença de que o mecanismo computacional, subjacente às linguagens lógicas e às heurísticas, era um modelo aceitável do mecanismo cognitivo dos seres humanos. O tempo demonstrou, no entanto, que, no campo da psicologia, o modelo do processamento da informação era muito limitado (COSTA, 1986b).

#### **3.1.4 A Psicologia Construtivista na IA Construtivista**

Seguindo a proposta de Jean Piaget, a IA Construtivista também define a inteligência como adaptação, utilizando critérios ligados ao aspecto funcional e meta-estrutural do sistema, não impondo nenhum elemento estrutural diretamente. Em vez de possuir estruturas específicas e rígidas de representação do conhecimento, um agente construtivista possuirá apenas meta-estruturas capazes de realizar as funções de adaptação ao meio, por assimilações e acomodações, e construirá livremente suas estruturas cognitivas.

Essa é uma divergência entre os ramos clássicos do paradigma da IA Simbólica e uma proposta de Inteligência Artificial Construtivista. A IA Simbólica tradicional, na maioria de seus trabalhos, estabelece estruturas fixas, tanto para representar o conhecimento, quanto para fazer inferências sobre ele. A liberdade restringe-se ao conteúdo, que se subordina a estas formas pré-estabelecidas. Na concepção construtivista tenta-se estabelecer meta-níveis, o que permite ao agente uma maior autonomia. Evidentemente, em qualquer sistema computacional algumas estruturas básicas têm de ser pré-definidas. Porém a arquitetura de um agente construtivista estabelece estruturas iniciais que fornecem condições para a construção de novas estruturas. São nesses outros níveis que o conhecimento do agente é construído.

A idéia de construção autônoma de níveis de abstração também é uma resposta a um desafio antigo da Inteligência Artificial (tanto da IA Simbólica quanto da IA Conexionista): como se pode realizar o aprimoramento do próprio processo de adaptação. As técnicas de aprendizagem que em geral são utilizadas não “aprendem a aprender”. Com elas pode-se ter um agente que apresente aprendizagem, mas uma aprendizagem rígida, que não se torna mais refinada com a experiência. O agente, colocado em uma nova situação, tem de reaprender tudo, com o mesmo esforço que já teve.

Por isso, em IA Construtivista é preciso possibilitar ao agente a criação de conceitos novos (o que é muito mais do que fazer combinações de elementos simples). O agente construtivista deve ter capacidade para abstrair, construir e re-significar suas experiências em planos distintos, encontrando as estruturas necessárias para compreender sua própria realidade.

Piaget descreve detalhadamente a passagem dos planos cognitivos no ser humano através da observação das condutas e comportamentos das crianças. Como esse método descritivo não revela os processos mesmos que estão por trás dessa trajetória de superações, resta à IA Construtivista a busca por modelos que permitam a implementação desse desenvolvimento, especificando objetivamente os processos descritos por Piaget de maneira abstrata. Assim, o modelo de agente computacional construtivista não deverá impor nenhuma forma de representação simbólica, mas conseguir fazê-la emergir do próprio processo de organização dos esquemas, ou seja, a passagem do plano prático para o representativo deve acontecer intrinsecamente, como consequência do seu próprio funcionamento.

A construção de operações sobre operações talvez seja o segredo do desenvolvimento e da transição de um estágio para o próximo (PIAGET, 1977).

### **3.1.5 IA com Corpo e Emoção**

Nessa última década, a Inteligência Artificial passou a dar atenção para a afetividade e as emoções em sistemas não biológicos, de tal sorte que já existe a expressão Computação Afetiva. Existe mesmo uma área de pesquisa que estuda a síntese de emoções em máquina, visando a construção de sistemas computacionais que possuam suas próprias emoções.

(A computação afetiva) visa à construção de sistemas computacionais que realmente devem possuir emoções internas (emoções em máquina), e não somente parecer possuí-las. Em uma máquina, seja agente de software ou uma criatura virtual, o 'possuir' emoções está dependente de um modelo sintético que decide qual estado emocional artificial a máquina (ou agente ou criatura) deverá ter. O estado emocional é então utilizado para influenciar os comportamentos subseqüentes (BERCHT, 2001, p.68).

A idéia de possuir emoções em oposição à idéia de reproduzir emoções significa que um agente emocional apresenta emoções que emergem a partir do funcionamento de certas estruturas internas, em vez de somente parecer possuí-las, por apresentar expressões pré-programadas identificáveis como expressões emocionais (SLOMAN, 1999b).

Um agente artificial emocional pode possuir emoções através de modelos sintéticos que diferenciem estados emocionais. Estes estados emocionais influenciam os comportamentos subseqüentes, uma vez que devem estar implicados no funcionamento cognitivo do agente.

Nessa perspectiva, o comportamento inteligente de um agente artificial deve ser uma consequência da cooperação entre um sistema cognitivo e racional (que compreende os cenários) e um sistema emocional (que induz à ação).

Adicionalmente, o organismo do agente pode possuir um sistema hormonal-enzimático capaz de alterar certos estados e influenciar (potencializando ou inibindo) a ativação de emoções e a orientação das decisões (CAÑAMERO, 1994).

Embora tenha havido uma recente sensibilização dos pesquisadores em IA, no que diz respeito às idéias da "computação afetiva", ainda são poucos os modelos de emoções propostos para se utilizar em agentes artificiais.

No que diz respeito à análise das emoções, é preciso contemplar tanto perspectivas cognitivistas quanto biológicas. A perspectiva cognitivista enfatiza o papel do pensamento na gênese da emoção, considerando a avaliação subjetiva das experiências e perspectivas. A perspectiva biológica enfatiza o papel dos processos orgânicos da emoção. Ambas as perspectivas têm fundamento em estudos a respeito da emoção no ser humano. As emoções tanto são respostas ao significado dos eventos e estão vinculadas com os objetivos, motivações e crenças de cada pessoa, quanto estão ligados a mecanismos biológicos, como regulações enzimáticas e funções inatas.

A consideração do corpo e das emoções está em total acordo com a proposta construtivista da IA, uma vez que são elementos importantes para garantir a autonomia de um agente artificial inteligente. Essas propriedades possibilitam que toda a intencionalidade seja resultado emergente de mecanismos próprios, sem haver necessidade de objetivos explícitos previamente programados no agente por um sujeito externo.

### 3.2 Agentes em Inteligência Artificial

O surgimento da idéia de agente computacional aconteceu com o desenvolvimento de técnicas de IA distribuída, na década de 1980, onde se procurava resolver problemas e construir comportamentos inteligentes não somente através de um sistema, mas da construção de “comunidades de sistemas” que pudessem somar suas potencialidades para resolver um problema comum. Foram então chamados de Sistemas Multiagente.

Embora não haja uma definição absoluta para o conceito de agente, pode-se dizer que, em Inteligência Artificial, existe ao menos a noção consensual de que agente é qualquer entidade computacional independente que percebe e age num ambiente ao qual pertence. Muitos pesquisadores acreditam, porém, que essa noção permite que quase qualquer coisa possa ser interpretada como um agente. Segundo Franklin e Gasser (1996), seria interessante incluir algumas restrições com relação ao que pode ser considerado um ambiente, um atuador e um sensor, a fim de que um agente possa ser algo diferenciado de um sistema qualquer.

Seja como for, essa “noção de agente” não deixa de ser útil, uma vez que coloca-se na mesma categoria da “noção de sujeito” da psicologia, da “noção de organismo” da biologia, e da “noção de indivíduo” da sociologia. Trata-se de um sistema de regulações internas, que está colocado num ambiente que lhe é externo, do qual faz parte e com o qual interage, podendo, dentro de determinados limites estruturais, modificá-lo e também ser modificado.

Segundo Davidsson (1995), um agente é um sistema inserido em um ambiente onde atuam também outras entidades, com capacidade de interagir independentemente e efetivamente com esse ambiente através de seus próprios sensores e atuadores, com o objetivo de realizar alguma tarefa dada ou gerada por ele próprio. O agente deve ser capaz de tomar iniciativa em sua atuação, o que traz implicitamente a idéia de sistema autônomo.

Na definição feita por Wooldridge e Jennings (1995), um agente é um processo, programa ou sistema computacional que possui algum tipo de autonomia (ou seja, capacidade de operar e de possuir algum controle sobre suas próprias ações e estados internos, sem intervenção de um controlador externo), interage com o ambiente em que está inserido (percebendo e agindo sobre ele), interage com os outros agentes, e apresenta pró-atividade (iniciativa das ações, na busca de algum tipo de objetivo).

Pattie Maes (1995) define agentes autônomos como sistemas computacionais que habitam um ambiente complexo e dinâmico, percebendo-o e agindo autonomamente sobre este ambiente, para realizar um conjunto de objetivos ou tarefas para os quais são designados. Insere a restrição de que o agente tem de ter objetivos, e o ambiente tem de ser complexo e dinâmico.

Segundo Russell e Norvig (1995), um agente é qualquer entidade que pode ser vista como algo que percebe seu ambiente através de sensores e age nesse ambiente através de atuadores, funcionando continua e autonomamente a partir de mecanismos internos de organização, mas articulando-se com elementos externos, provenientes do meio.

Smith, Cypher e Spohrer (1994) também definem o conceito pela autonomia de agir autonomamente num ambiente, mas inserem a restrição de que o agente deve ser um sistema persistente e dedicado a algum propósito.

Ainda muitos outros pesquisadores da área de agentes computacionais tentaram definir formalmente o conceito de agente. Em geral essas definições assemelham-se às já citadas, inserindo, porém, restrições maiores para considerar-se um sistema como um agente. Franklin e Gasser (1996) tentaram encontrar um conceito mais geral, a partir da comparação entre um conjunto de diferentes definições bem estabelecidas no campo, da qual os agentes descritos nessas definições seriam sub-classes.

Segundo esses autores, um agente autônomo é um sistema situado num ambiente, sendo parte dele, percebendo-o e agindo sobre ele, através de um período de tempo contínuo, agindo por motivações próprias, sem a necessidade de consultar outras entidades, a fim de interferir nas próprias percepções futuras.

O uso que se está dando ao termo Agente neste trabalho, condiz com o significado usual do conceito em IA, e com as definições citadas anteriormente. No entanto, de acordo com elas, tornou-se possível inserirmos numa mesma noção de agente, desde um sistema simples como um termostato mecânico (que percebe a temperatura de um ambiente e age a fim de modificá-la), até o próprio ser humano (cujas capacidades cognitivas e a complexidade dos elementos que interagem para que ocorra a tomada de decisão são infinitamente maiores!). Interessa-nos agora, portanto, distinguir entre algumas classes de agentes, diferenciadas de acordo com limitações e capacidades dos agentes por ela definidos.

### 3.2.1 Agente Reativo e Agente Cognitivo

Uma primeira e importante distinção, usual na área de Sistemas Multiagente, dá-se entre *Agentes Reativos* e *Agentes Cognitivos*. Embora existam formas bastante pragmáticas de se conceituar essa diferença (baseadas em propriedades algorítmicas), vamos nos ater apenas nas capacidades potencializadas pelos mecanismos de um e de outro tipo, independente dos mecanismos propriamente.

Os modelos de agentes reativos são inspirados em modelos de organização biológica ou etológica, como, por exemplo, as colônias de insetos. A idéia é que a união de organismos com capacidades simples pode gerar um macro-organismo inteligente. O modelo de funcionamento de um agente reativo é o de estímulo-resposta, oriundo da psicologia comportamentalista. Em geral, estes agentes não apresentam memória, não planejam sua ação futura e não se comunicam com outros agentes. A única capacidade interna deste tipo de agente é associar entradas sensoriais à saídas motoras. Existem diversos modelos de agentes reativos, entre os quais o mais exemplar é a arquitetura de subsunção de Brooks (1991), onde o comportamento dos agentes é programado como um conjunto de regras do tipo “se <percepção> então <ação>”.

Os modelos de agentes cognitivos envolvem a introdução de mecanismos internos mais elaborados. Estes agentes geralmente possuem algum tipo de representação sobre o ambiente ou sobre os outros agentes, ou sobre sua interação. Dispõem de mecanismos de memória, através dos quais são capazes de planejar suas ações futuras, e superar a percepção de um mundo apenas perceptivo. Existe, assim, nos diversos modelos propostos para agentes cognitivos, a preocupação com a definição de um funcionamento mental para o agente. Pode haver tipos diferentes de agentes cognitivos. Passa a ser cognitivo todo o agente que possua algum tipo de memória, planejamento temporal ou utilização de conceitos abstratos, em vez de simplesmente reagir a estímulos.

Assim, diremos que a diferença reside na capacidade de planejamento e abstração. Enquanto o agente reativo é simples, tratando somente as percepções instantâneas e sensoriais, o agente cognitivo pode coordenar ações no tempo, criar conceitos próprios para tratar suas percepções e ações em níveis mais abstratos, e em última instância, pode raciocinar através de hipóteses. Dentro dessa perspectiva, em vez de utilizarmos as noções de agente reativo e agente cognitivo, podemos adotar um critério relacionado a essas duas capacidades (*organização temporal* e *organização conceitual*), o que nos permite classificar os agentes em quatro categorias:

- *Agente Reativo*: É reativo todo o agente que não possui memória explícita (não coordenando, portanto, suas próprias ações no tempo), e que não cria elementos conceituais para compreensão do seu mundo. Para um agente reativo só existe o presente, e as percepções sensoriais instantâneas. A percepção sensorial é o único elemento que influencia suas decisões, o que constitui uma espécie de reação à estímulos. No momento seguinte, repete a operação, sem considerar o que estava fazendo antes.
- *Agente Cognitivo Conceitual*: É conceitual todo o agente que possui mecanismos para a constituição de conceitos. Assim, suas percepções deixam de ser puramente sensoriais, e passam a distinguir objetos abstratos. Suas decisões ainda são influenciadas cognitivamente apenas pelas percepções, porém estas percepções já deixam de ser puramente sensoriais, e podem formar camadas conceituais para interpretar o mundo. Por exemplo, é um agente conceitual um agente que tenha como entrada sensorial um mapa de pontos de uma imagem e consiga identificar nela seus objetos (percebendo assim os objetos e não mais os pontos).
- *Agente Cognitivo Temporal*: É temporal todo o agente que possui memória e que, portanto, pode coordenar suas próprias ações no tempo. O agente possui, assim, uma percepção histórica, podendo utilizar sua trajetória passada como elemento cognitivo das tomadas de decisão, e podendo considerar o futuro além do contexto momentâneo em que se encontra. Suas ações podem estar, dessa maneira, conectadas em função de um objetivo de mais longo prazo.
- *Agente Cognitivo Conceitual e Temporal*: estamos propondo o conceito de agente cognitivo como sendo todo o agente que seja simultaneamente conceitual e temporal, embora saibamos que não seja essa a noção utilizada correntemente entre os pesquisadores da área de IA.

### 3.2.2 Agente Adaptativo

Note-se que, segundo as definições que estabelecemos para agente reativo e agente cognitivo, a capacidade de aprendizado é uma propriedade independente. Tanto os agentes reativos quanto os agentes cognitivos podem possuir mecanismos de aprendizagem. Ao mesmo tempo, as potencialidades e limites dos mecanismos adaptativos estarão determinados pelas possibilidades cognitivas do agente. Nos agentes reativos, esses mecanismos atuam aprimorando seu conjunto de regras de reação. Nos agentes cognitivos tais mecanismos são mais complexos e só podem ser descritos de acordo com o tipo de agente cognitivo que se está tratando.

A propriedade que permite a um agente ser chamado de adaptativo é a capacidade de adaptação. Significa que o agente possui mecanismos para modificar a si mesmo durante sua vida. Mas não é qualquer mecanismo de auto-modificação que faz do agente um agente adaptativo. Essa modificação deve ter um sentido de melhorar a interação entre o agente e o ambiente. A definição é um pouco delicada, pois é difícil determinar quando é que uma modificação no comportamento do agente está realmente sendo uma melhoria. Um mecanismo de aprendizagem pode eventualmente conduzir o agente a equívocos, e mesmo assim não deixa de ser um mecanismo adaptativo.

Dessa forma, consideraremos adaptativo qualquer mecanismo que permita ao agente alterar seu próprio comportamento, desde que essa mudança seja desencadeada por uma combinação entre eventos externos e eventos internos. Ou seja, o agente não pode deixar-se alterar simplesmente por eventos externos, sendo infinitamente maleável pelas mudanças do ambiente, e ao mesmo tempo não pode basear-se exclusivamente em padrões de reação internos. A adaptação deve representar uma reorganização de elementos internos, provocada por eventos externos, e deve ocorrer somente quando tais eventos desencadearem algum tipo de desequilíbrio no sistema de conhecimentos do agente, que está sendo reequilibrado pela reorganização interna.

Daniel Dennett (1996) propõe uma categorização para os tipos de inteligência, que nos ajudaria a discernir também diferentes capacidades de aprendizagem. Suas “criaturas” servem tanto para classificar a inteligência entre seres biológicos, diferenciada ao longo da evolução das espécies, bem como para classificar os tipos de agentes em inteligência artificial.

O tipo mais elementar, para Denett, é a “Criatura Darwiniana” (por inspiração na teoria da evolução das espécies, de Charles Darwin). Esta criatura não tem capacidade de adaptação própria. Não tem memória do passado e nenhum tipo de aprendizagem. Sua forma de comportamento é inteiramente definida por estruturas inatas. Para essas criaturas, a única possibilidade de adaptação é o processo de evolução da espécie. Ou seja, através de “mutações genéticas”, algumas novas criaturas são geradas com uma estrutura diferente da das que lhe deram origem, e eventualmente essa mudança aleatória origina um comportamento mais adaptado, que será posteriormente selecionado pelo ambiente para sobreviver. De qualquer forma, os agentes neste nível não têm nenhuma capacidade adaptativa individual.

O segundo tipo de criatura se distingue da anterior por apresentar uma primeira expressão de aprendizagem, e são chamadas “Criaturas Skinnerianas” (por inspiração na teoria do condicionamento de Skinner). Sua capacidade de adaptação está na possibilidade de escolha entre opções de comportamento pré-determinadas. As criaturas skinnerianas testam aleatoriamente diversas possibilidades de ação para cada situação percebida. As ações que resultam em sucesso são reforçadas. As criaturas possuem uma medida inata de sucesso para avaliar suas ações, e aquelas que tiverem melhores métodos de avaliação terão mais chances de sobrevivência. Neste nível os agentes possuem alguma capacidade adaptativa individual, porém limitada a um condicionamento entre estímulos e respostas.

No terceiro nível está a “Criatura Popperiana” (uma referência à teoria do conhecimento de Karl Popper). Nessa categoria estão todas as criaturas que possuem algum sistema de predição de conseqüências de suas ações. As criaturas popperianas constroem dentro de si um modelo de interação com o mundo, baseadas em suas próprias experiências. Esse conhecimento lhe permite superar a mera adaptação por condicionamento e reforço. Os seres que possuem este tipo de inteligência podem realizar simulações no seu modelo de mundo, fazer conjecturas, analogias e antecipações, podendo estimar as conseqüências de suas ações antes de realizá-las na prática. Evidentemente, tais mecanismos enfrentam ainda mais dificuldades que o modelo anterior, uma vez que se trata de uma aprendizagem muito mais complexa, que pode ser realizada de muitas maneiras alternativas, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

Enfim, o nível mais alto é o da “Criatura Gregoriana”. Os seres que se enquadram nessa categoria são aqueles que ultrapassaram o conhecimento sensorio-motor, e atingiram o pensamento simbólico. São as criaturas que tem capacidade de construir cultura e linguagem, e que podem desenvolver seu conhecimento através do próprio pensamento e por ensinamento, superando a necessidade de estar a aprendizagem sempre vinculada à experiência prática. A cultura é uma forma de transmitir o conhecimento aprendido de uma geração para outra. O pensamento simbólico das criaturas gregorianas abre uma dimensão nova de possibilidades de construção do conhecimento, permitindo-lhes adaptar-se a ambientes mais complexos.

### **3.2.3 Agente Corporal**

Recentemente tem-se chamado *Embodied AI*, o paradigma surgido a partir da divergência epistemológica que levou os pesquisadores da IA a tratarem da questão da corporalidade de um agente. Trata-se de levar em consideração o fato de que a mente está colocada num corpo, e que isso tem influência no tipo de inteligência que pode ser desenvolvida por um agente (FRANKLIN, 1997).

Nessa perspectiva o agente não se resume a um sistema comportamental. Ele é composto de um corpo que está inserido em um ambiente. Este corpo funciona como mediador entre o ambiente e a mente através de seus sensores e atuadores. Dessa maneira, toda a experiência do agente é condicionada pela maneira com que seus sensores e atuadores fazem a interface entre a mente e o meio externo.

Além disso, o corpo possui sensores e efetores internos, componentes de um sistema hormonal ou fisiológico, que só pode ser representado no corpo do agente, constituído num nível diferenciado da *mente* e também diferenciado do *meio externo*, ao qual podemos chamar de *meio interno*. O mecanismo de esquemas recebe, como entrada, o estado dos sensores do corpo (internos e externos) e, como saída, escolhe uma ação para enviar aos atuadores.

Assim, chamaremos de *Agente Corporal* todo o agente que possuir uma intermediação entre os estímulos provenientes do meio externo e a mente através de um corpo, bem como possuir uma atividade metabólica interna.

Rocha Costa acredita ser fundamental pensar em agentes corporais quando se deseja modelar agentes verdadeiramente autônomos. Se a interação da mente de um agente se dá diretamente com o ambiente externo, o agente torna-se uma entidade de estímulo-resposta, e acaba por representar um tipo de psicologia behaviorista. Em mensagem enviada a mim, escreve:

O esquema estímulo-resposta, com iniciativa a partir do meio, destrói toda possibilidade de construtivismo. Toda construção tem de acontecer por necessidade interna. Toda equilibração é uma resposta a necessidades internas. O esquema estímulo-resposta fecha todo espaço para as necessidades.

Acho que o ponto central para os agentes é esse: criar um ciclo interno de funcionamento, relativo a recursos internos cujos usos precisam ser regulados, e cuja regulação envolve o emprego de objetos externos.

(Com relação à motivação e aos objetivos do agente), não precisam ser fisiológicos. Podem ser afetivos ou cognitivos. O que precisa é ter a idéia de algum elemento com um atributo cujo valor varia com o uso e que, quando diminuído, indica que o agente tem alguma necessidade.

### 3.2.4 Agente Emocional

Além das diferenciações relacionadas às capacidades cognitivas dos agentes, existem também diferenças relacionadas às formas de escolha das ações. O tratamento mais simples e mais comum em IA é estabelecer uma lista de objetivos a priori, que o agente irá perseguir como um resultado. Esta maneira, no entanto, retira do agente a autonomia no que diz respeito à sua motivação para agir. Outra forma é fazer com que as motivações e objetivos sejam uma emergência a partir de mecanismos internos. Uma discussão mais aprofundada sobre isso pode ser vista em (COSTA; DIMURO, 2003).

Nessa perspectiva, o agente pode possuir um sistema emocional, que interage com o sistema cognitivo e, de alguma forma, é o responsável por orientar as ações do agente, dando significado afetivo ao conhecimento, e permitindo que o agente tenha objetivos próprios.

As emoções fornecem um mecanismo diferencial, que permite ao agente possuir um comportamento mais parecido com a de um organismo do que com a de um 'decisor racional'. As emoções podem ser vistas como a presença de estados internos do sujeito (que podem inclusive ser dinâmicos e passíveis de desenvolvimento), ou mesmo como um 'sistema de níveis hormonais'. Esse sistema de emoções está em correlação com o sistema cognitivo, e as decisões são tomadas através de raciocínios afetivo-cognitivos.

Assim, chamaremos de *Agente Emocional*, todo o agente que possuir algum tipo de mecanismo interno responsável pela valorização e desvalorização das situações que experimenta (seja num nível corporal, seja num nível cognitivo, ou em integração de ambos), e que oriente seu comportamento em função desses parâmetros.

## 4 MODELOS DA IA CONSTRUTIVISTA

### 4.1 Modelos Inspiradores

A primeira proposta de arquitetura para um agente cognitivo construtivista é atribuída a Gary Drescher (1991). Seu trabalho consiste na definição de um mecanismo computacional de esquemas, para simular as etapas do desenvolvimento sensorio-motor, como descrito por Piaget, e trata-se de inserir num sistema de regras, uma operação de indução ativa de novas regras, por experimentação. Esta operação realiza-se através da análise estatística da correlação entre elementos do contexto observado antes da aplicação de uma ação e a alteração desses elementos como resultado desta ação. Seu modelo inspirou outros trabalhos construtivistas em IA, como o de Wazlawick (1993), que substitui o cálculo de correlações por um sistema de esquemas inspirado em algoritmos genéticos (HOLLAND, 1992) e no modelo de redes auto-organizáveis (KOHONEN, 1989). Muñoz (1999) insere um sistema de planejamento no agente de Wazlawick. Belpaeme, Steels e Looveren (1998), usam a mesma estratégia para conseguir a emergência de categorias e conceitos numa comunidade de agentes. Birk e Paul (2000) inserem programação genética no Agente de Drescher. Outros modelos também foram propostos por DeJong (1999) e Müller e Rodriguez (1996).

Alguns modelos da IA Clássica já envolviam alguns princípios bastante condizentes com as concepções construtivistas da inteligência, e isso muito antes dos trabalhos que tentavam explicitamente trazer tais concepções para o âmbito da Inteligência Artificial. Embora não estejamos querendo dizer que já estava inscrita na IA Clássica a semente da IA Construtivista (muito menos que autores clássicos da IA fossem construtivistas), podemos encontrar algumas idéias propostas antes da IA Construtivista, e que seriam por ela resgatadas posteriormente.

#### 4.1.1 O Nível do Conhecimento

Allen Newell, juntamente com Herbert Simon, é um dos fundadores da IA Simbólica, na década de 1950. Embora já tenhamos visto que suas concepções estão muito embebidas de um certo empirismo comportamentalista, é preciso reconhecer que, diferentemente das formulações clássicas do Empirismo, que baseia o conhecimento nas sensações diretas, Newell valorizou o raciocínio sobre símbolos internos.

De acordo com a teoria do conhecimento proposta por ele em (NEWELL, 1980), a mente poderia ser reduzida funcionalmente a um conjunto de restrições, entre as quais encontram-se operação em tempo real, racionalidade (capacidade de encontrar e utilizar os meios para alcançar os objetivos), autoconsciência (diferenciar a representação de si da representação das outras coisas), uso de símbolos (representação), aprendizagem e universalidade (capacidade de poder produzir qualquer função de saída, considerando o ambiente externo como entrada). Newell define também o conceito de sistema físico de símbolos, como sendo a classe dos sistemas que possuem duas daquelas características: a universalidade e o uso de símbolos. Sua hipótese é de que qualquer sistema físico que manipule símbolos é capaz de apresentar comportamento inteligente, estando nessa categoria tanto o cérebro quanto o computador.

No seu clássico artigo intitulado “O Nível do Conhecimento” (NEWELL, 1982), buscou tornar claros os conceitos de “conhecimento” e “representação”. Segundo ele, os agentes inteligentes podem ser descritos em níveis diferenciados. Estes níveis são definidos autonomamente, mas ao mesmo tempo podem ser completamente descritos nos termos do seu nível inferior. Ao referir-se ao computador, identifica diversos níveis: o nível físico (mais baixo), o nível de circuitos (da elétrica), o nível lógico (dos bits) e o nível simbólico (das expressões). A proposta de Newell é que se perceba mais um nível acima desses todos: o nível do conhecimento.

O nível do conhecimento (o mais alto) é responsável por dar significado às representações cognitivas do agente, estando acima do nível das expressões simbólicas (lógica).

Uma estrutura de dados, com todos os seus operadores é um sistema de símbolos, e pode servir para fazer a representação (nível simbólico), mas só torna-se conhecimento (nível do conhecimento) quando se lhe aplica uma interpretação especial. O conhecimento torna-se, assim, distinto de suas possíveis representações, transformando-se numa entidade independente, composta por crenças, objetivos, planos, intenções e ações. O conhecimento fica caracterizado apenas funcionalmente, e não estruturalmente.

Embora a escola da IA Simbólica Tradicional, fortemente influenciada pelos trabalhos de Newell e Simon, tenha se consolidado com inúmeras divergências em relação a uma proposta construtivista, nesse aspecto pode ser encontrada uma convergência: de que a representação simbólica em si (a estrutura) não dá significado ao conhecimento. O conhecimento ganha sentido porque mobiliza o agente em sua atuação.

#### 4.1.2 Os Sistemas de Frames

Marvin Minsky é um pesquisador bastante versátil. Tendo começado na IA pelas linhas de pesquisa conexionistas, acabou migrando definitivamente na década de 70 para os estudos da inteligência simbólica, tendo sido influenciado, inclusive, pela teoria construtivista. Minsky (1975) introduziu o conceito de “frames” (quadros). A idéia por trás de sua proposta é a seguinte: quando alguém encontra uma nova situação, ou faz uma mudança substancial de ponto de vista sobre um problema, um novo frame é ativado. O frame é uma estrutura de dados para a representação de uma situação estereotipada, que tenta enquadrar-se à realidade através da modificação de detalhes necessários. Ele armazena informações sobre como ser utilizado, sobre o que é esperado da situação, e o que fazer se as expectativas falharem. Os “níveis superiores” de um frame são fixos, já os níveis mais baixos devem ser preenchidos pelas instâncias específicas da situação. Um frame pode referenciar outro frame, formando sistemas de frames.

Ainda que não muito intensamente, Minsky, desde aí, mostra-se preocupado com a viabilidade da inteligência artificial comparada com as propostas da filosofia e da psicologia, em particular, da fenomenologia e do construtivismo, tendo inspirado-se também em outros modelos mais simples que já surgiam no próprio campo da IA. A teoria dos frames inclui metas, expectativas e pressuposições, generalizações e analogias. Os terminais dos frames estão normalmente preenchidos com valores padrão, que tratam as informações incompletas, servindo como técnica para superar a lógica, e as interconexões entre frames ajudam a encontrar o frame mais adequado para uma dada situação. Diversos frames podem encaixar-se a uma mesma situação, o que significa que o sistema pode adotar pontos de vista diferenciados.

Minsky via com desconfiança a crença professada por alguns pesquisadores da IA, de que a inteligência estaria fundamentalmente baseada na racionalidade (pesquisadores que atribuem papel fundamental à lógica na representação do conhecimento). Nils Nilsson (1982) faria um trabalho no sentido de mostrar que os frames poderiam ser representados através da lógica formal. Talvez Minsky não duvidasse disso, porém seu desconforto com os sistemas lógicos relacionava-se com o fato de que o comportamento humano não parecia poder ser reduzido à lógica.

Passamos nossas vidas aprendendo coisas, contudo estamos sempre nos deparando com exceções e erros. A certeza parece estar sempre fora de alcance. Isto significa que temos que correr alguns riscos para não sermos paralisados pela covardia. (...) buscamos ‘ilhas de consistência’ dentro das quais o raciocínio comum pareça seguro. (...) por que não podemos fazer isso de modo lógico? A resposta é que raramente a lógica perfeita funciona (no mundo real). Uma dificuldade é encontrar regras infalíveis para se raciocinar. (...) quando lhe digo ‘Rover é um cão’, você suporá que Rover tem um rabo; porém se ficar sabendo que Rover particularmente não tem um rabo, sua mente não se autodestruirá; ao contrário, você modificará seu ‘frame-Rover’, mas ainda esperará que muitos outros cães tenham rabo. (...) As exceções são um fato da vida porque poucos ‘fatos’ são sempre verdadeiros (MINSKY, 1985).

Os sistemas de frames comportam uma série de propriedades que interessam aos modelos construtivistas, como a possibilidade de interpretar de forma diferente uma mesma situação, e a noção de uma adaptação permanente, que se dá a partir das novidades provenientes das situações externas, mas que são tratadas a partir de uma reorganização interna do conhecimento.

### 4.1.3 Os Sistemas Classificadores

O conceito de sistema classificador foi inicialmente proposto por John Holland (1975), juntamente com a idéia dos algoritmos genéticos. É um tipo de sistema de aprendizagem de máquina que constrói regras (chamadas classificadores) para guiar seu desempenho em um ambiente arbitrário (GOLDBERG, 1989). Opera através da criação e atualização evolutiva de regras em um sistema de tomada de decisão.

O sistema consiste de uma população, inicialmente aleatória, de cromossomos que representam regras. Cada regra é um par <condição – ação>. O sistema é colocado a interagir com o seu ambiente, e as regras que produzem bons resultados têm sua avaliação aumentada, enquanto as que produzem resultados ruins têm sua avaliação diminuída. À medida que se tornar necessário, regras ruins são substituídas por regras novas, construídas a partir de seleção, cruzamento e mutação das regras boas, conforme os princípios dos Algoritmos Genéticos (HOLLAND, 1975).

O sistema classificador pode ser visto como um agente inserido num ambiente, onde atua. Ele comunica-se com este ambiente através de ‘sensores’ de mensagens e ‘executores’ de ações. As mensagens provenientes do ambiente procuram retratar seu estado atual, funcionando como percepções. Já as mensagens advindas do sistema classificador codificam as ações a serem aplicadas no ambiente. As conseqüências encadeadas a partir de cada ação servem como parâmetro de adaptação para o sistema, numa etapa de retroalimentação. O progressivo sucesso de um classificador é avaliado através de uma distribuição de crédito correlativa ao êxito da ação proposta pelo classificador. Esse crédito garante a sobrevivência dos bons classificadores do sistema (VARGAS, 2000).

O conjunto de condições e ações num Sistema Classificador é pré-estabelecido, e, sendo assim, todas as regras possuem a mesma forma. Algumas regras podem possuir algumas condições no estado ‘*não importa*’ (*don’t care*). Nas situações em que mais de um classificador tem todas as suas condições satisfeitas, o sistema dispara uma competição para selecionar qual deles será ativado. Os classificadores mais específicos para a situação são priorizados.

Podemos entender melhor o sistema classificador através do exemplo do sapo, ilustrado na figura 4.1. Os classificadores representam as regras de comportamento do sapo, que indicam suas ações de acordo com sua percepção de algum objeto.

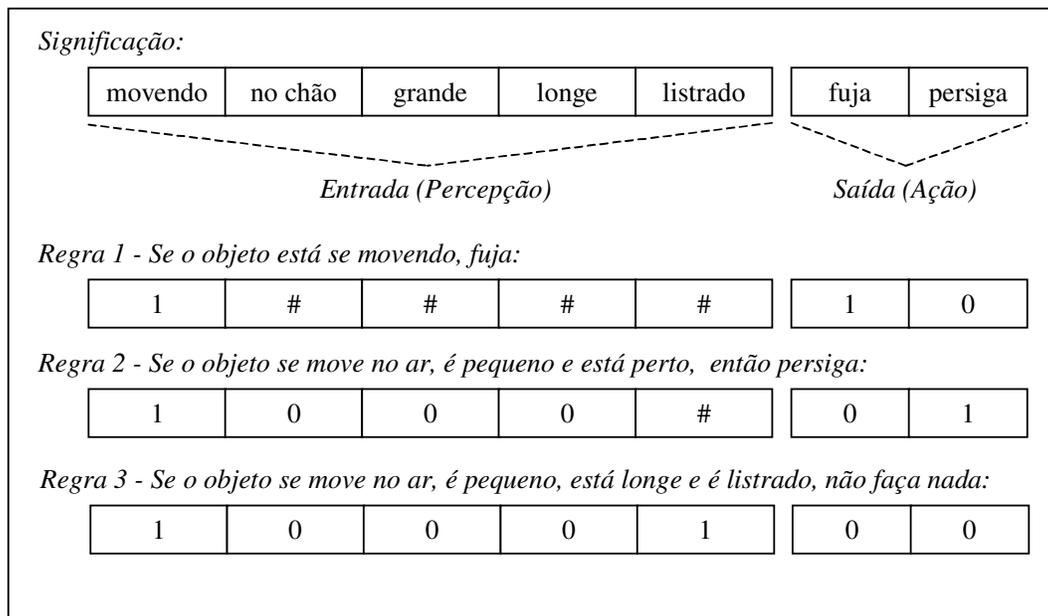


Figura 4.1: Exemplo de Sistema Classificador

Os Sistemas Classificadores serviram de inspiração aos primeiros modelos de agente construtivista porque traziam a idéia de um aprimoramento do conjunto de regras internas de interação. Uma divergência é que o SC utiliza como valor de retorno apenas um parâmetro de sucesso ou fracasso da ação. Não existe noção de expectativas.<sup>6</sup>

#### 4.1.4 As Redes Auto-Organizáveis

A busca por algoritmos de aprendizagem não-supervisionada (que se dá sem a interferência do programador), tem uma significação importante para a IA, pois é elemento fundamental para qualquer programa, sistema ou agente artificial que pretenda ter autonomia. Em IA Construtivista tal propriedade ganha importância ainda maior.

Um importante algoritmo de aprendizagem não-supervisionada foi proposto por Teuvo Kohonen (1989), ligado ao paradigma conexionista, dispensando o uso de vetores de treinamento, necessários para se treinar uma rede neural nos modelos convencionais. O processo de treinamento consiste em extrair as propriedades estatísticas das próprias entradas do sistema, construindo dinamicamente classes de vetores similares. Esse procedimento dispensa a utilização de um conjunto de dados de treinamento, pré-classificado, e permite que o sistema construa sozinho as categorias de classificação do domínio em que estiver atuando, a partir da sucessiva interação com o problema.

<sup>6</sup> Propostas de extensão dos sistemas classificadores incluíram posteriormente o uso de expectativas.

O modelo de rede auto-organizável consiste em apenas uma camada de neurônios artificiais interconectados a uma camada de entrada. Estes neurônios competem a cada instante para decidir quem é o mais próximo do padrão que estiver na entrada em cada momento. O neurônio ativado (mais próximo do padrão) é então ajustado, segundo uma taxa, para tornar-se ainda mais próximo do padrão. Cada neurônio desta camada da rede de Kohonen representará uma categoria no espaço das soluções.

Quando um neurônio vence, considera-se que foi o mais adequado para representar o conceito colocado na entrada. Como cada neurônio competitivo deve se especializar em uma certa categoria, a aprendizagem consiste em ajustar os pesos desse neurônio vencedor para que se aproxime ainda mais do conceito reconhecido, ocupando o centro do espaço vetorial de padrões que o neurônio reconhece, e portanto, classifica sob o mesmo conceito. A figura 4.2 mostra um espaço idealmente categorizado pela rede auto-organizável.

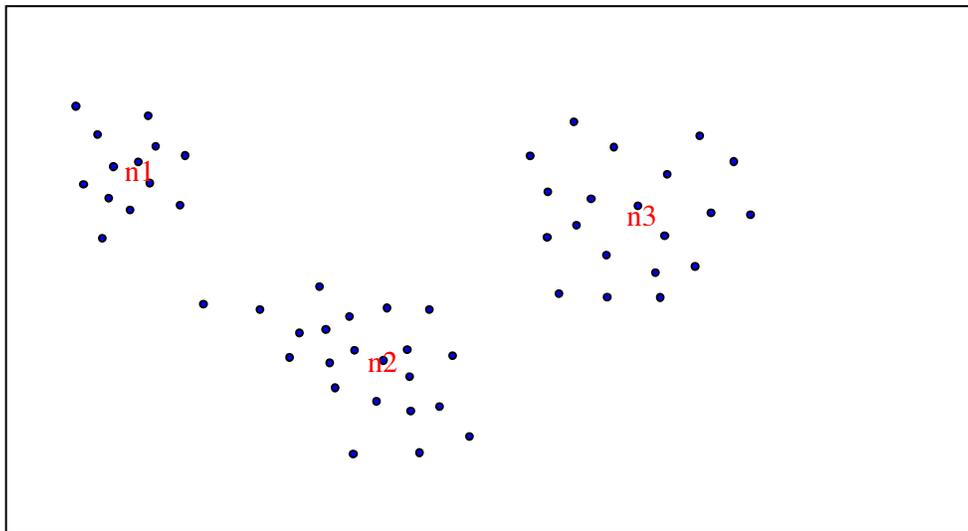


Figura 4.2: Ajuste dos neurônios no centro das nuvens conceituais

## 4.2 O Agente de Drescher

### 4.2.1 Made-Up Minds

O primeiro modelo de arquitetura para um agente computacional inteligente fundamentado nos princípios da IA Construtivista foi proposto por Gary Drescher (1991). Seu trabalho constituiu um primeiro esforço eficaz na direção de transformar a Psicologia Construtivista na base epistemológica para um novo paradigma em Inteligência Artificial, através da implementação computacional dos processos da inteligência sensório-motora descritos por Piaget.

O livro de Drescher (1991), “Made-Up Minds”, foi desenvolvido na *Thinking Machines Corporation*, a partir de sua tese de doutoramento no MIT, onde teve Seymour Papert como orientador. Papert é um dos grandes nomes da IA, tendo participado dela desde seus primórdios, na década de 50. Papert, ao longo de sua vida acadêmica, trabalhou com Marvin Minsky (outro fundador da IA) e também com o próprio Jean Piaget (COSTA, 1992).

No que diz respeito à interação entre as idéias de Piaget e a IA, o trabalho de Drescher corrobora o pensamento de Rocha Costa (1986b) e Boden (1979) quanto à contribuição mútua entre a Psicologia Construtivista e a Inteligência Artificial. A construção de modelos computacionais pode ajudar a abrir novos horizontes de problematização na pesquisa em psicologia do desenvolvimento, e ao mesmo tempo engendra um esforço de revisão epistemológica dos princípios da IA sob a luz dessas concepções psicológicas sobre o conhecimento e a inteligência.

Este projeto serve a dois propósitos: pega a teoria de Jean Piaget sobre o desenvolvimento humano como uma fonte de inspiração para um mecanismo artificial de aprendizagem; e estende e testa a teoria piagetiana por buscar um mecanismo específico que consiga operar de acordo com seus preceitos (DRESCHER, 1991, p.7).

#### 4.2.2 O Mecanismo Esquemático

O *Mecanismo Esquemático*, definido por Drescher (1991) é um sistema computacional dinâmico, que modifica seu comportamento para adaptar-se ao ambiente durante a própria vivência. O sistema representa o conhecimento através de estruturas que implementam esquemas sensório-motores. Os esquemas são a unidade elementar de conhecimento na arquitetura hipotética que Piaget propõe para a inteligência. O mecanismo esquemático reconstitui o processo de desenvolvimento sensório-motor (PIAGET, 1975a, 1975b) através de operações de indução ativa de novos esquemas. A descrição do mecanismo presente nesta sessão está baseada em (COSTA 1992) e (WAZLAWICK, 1996), além do próprio (DRESCHER, 1991).

Basicamente, cada esquema é uma unidade de conhecimento que pretende predizer os resultados de uma ação executada pelo agente num determinado contexto. O mecanismo esquemático não precisa possuir conhecimentos a priori sobre o mundo. Os esquemas são aprendidos através da própria experiência do agente em interação com o ambiente.

O mecanismo esquemático não possui conhecimentos a priori sobre o mundo. Os esquemas são aprendidos durante a interação do agente com seu meio. O algoritmo básico, chamado de “atribuição marginal”, utiliza-se de cálculos estatísticos de relevância e confiabilidade das ações. É idealizado para que possa construir conhecimento e representações a partir da própria experiência, o que implica em dois problemas fundamentais: como realizar o aprendizado empírico e como ter autonomia para criar novos conceitos.

O Mecanismo Esquemático controla e recebe informação sensorial de um corpo. Baseado na sua interação com o mundo, o mecanismo descobre as regularidades deste mundo, expressas em algum vocabulário representacional existente; e ele constrói novos conceitos, aumentando assim seu vocabulário, que permitem expressar novas descobertas empíricas (...). O mecanismo expressa regularidades como esquemas, que predizem o resultado de uma ação em circunstâncias específicas (DRESCHER, 1991, p.7).

### 4.2.3 Esquemas

Um esquema é composto por três elementos: ‘*contexto*’, ‘*ação*’ e ‘*resultado*’. É como uma regra (tipo se <condição> então <ação>) que, porém, armazena uma expectativa sobre os efeitos da ação. O contexto e o resultado de um esquema são conjuntos de ‘*itens*’, que designam um estado ou condição particular que é percebida. A ocorrência de um item também pode ser negada, indicando a oposição ou falta desse estado ou condição. A figura 4.3 ilustra um esquema.

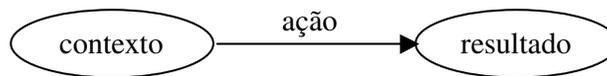


Figura 4.3: Esquema representado como grafo

O contexto e o resultado de um esquema são conjuntos de ‘*itens*’. Cada item pode estar ‘ligado’ ou ‘desligado’ (representando a percepção de sua presença ou de sua ausência). O contexto de um esquema é ‘satisfeito’ quando todos os itens positivos estão ligados, e todos os itens negativos estão desligados.

Quando o contexto de um esquema é satisfeito, ele torna-se ‘aplicável’. Significa que o agente está percebendo uma situação compatível com o contexto do esquema. Se nenhuma condição de impedimento é conhecida (essas condições são criadas pelo próprio mecanismo em função de seus objetivos), então o esquema torna-se ‘aplicável’. Mais de um esquema pode se tornar aplicável em cada situação, então o mecanismo precisa selecionar apenas um para que seja ‘ativado’.

Quando o contexto percebido pelo agente é condizente com o contexto do esquema, então ele torna-se *aplicável*. Num dado momento, alguns esquemas *aplicáveis* tornam-se *ativados*. O próprio mecanismo elege um esquema para ser ativado, e então a ação do esquema é executada pelo agente. Se após a execução da ação, os resultados previstos pelo esquema são realmente obtidos, então o esquema tem *sucesso*. Há dois tipos de ativação, a ‘explícita’ e a ‘implícita’. A ativação explícita ocorre pela seleção ativa de um esquema pelo mecanismo, que executa sua ação. Como consequência desta ativação, outros esquemas cujas condições também sejam satisfeitas e que compartilham a mesma ação do esquema ativado, ficam também ativados implicitamente. Um esquema é *válido* quando sua asserção realmente é verdadeira, isto é, quando seu resultado realmente será obtido quando a ação for aplicada.

O mecanismo esquemático registra, para cada esquema, uma *avaliação* e um índice de *correlação*, propriedades que utiliza para saber se um esquema é bom ou ruim. A avaliação é a taxa de sucessos das aplicações do esquema (razão do número de sucessos pelo número de ativações). A correlação indica o quanto o sucesso realmente depende da ativação do esquema (é a razão entre a avaliação e a probabilidade de sucesso sem a aplicação do esquema).

O problema circular de descobrir os efeitos das ações em ambientes imprevisíveis quando contextos adequados para suas ativações não são inicialmente conhecidos, é resolvido pela distinção entre a relevância das ações para os efeitos e a confiabilidade das ações nos contextos, num processo de dois passos para a construção de esquemas chamado 'atribuição marginal'. (COSTA, 1992).

#### 4.2.4 Itens e Ações

Há dois tipos de itens: '*primitivos*' e '*sintéticos*'. Os itens primitivos são inatos (dados *a priori* pelo próprio mecanismo) e correspondem às entradas sensoriais do agente. Já os itens sintéticos são construídos pelo mecanismo. Cada item sintético está relacionado a um esquema, e seu estado é dado pela validade deste. O estado de um item sintético é atualizado a cada ativação de seu esquema hospedeiro. Se ele tiver sucesso, será ligado, se falhar, será desligado. A Figura 4.4 ilustra um ítem sintético.

Os itens sintéticos não representam estados dos sensores, mas um estado que indica se o esquema hospedeiro é válido ou não. O item sintético é denominado de 'reificador' do esquema hospedeiro, porque a construção do item faz com que a validade do esquema seja tratada como um objeto (item) (WAZLAWICK, 1996).

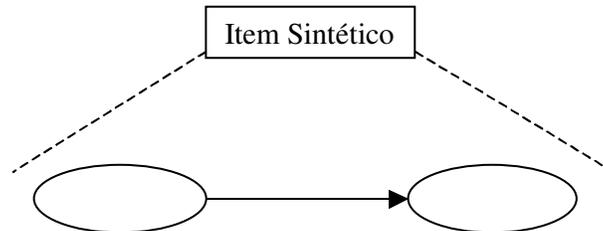


Figura 4.4: Item Sintético

Da mesma forma, existem dois tipos de ações: '*primitivas*' e '*compostas*'. As ações primitivas são inatas (assim como os itens primitivos), correspondendo às saídas motoras básicas do agente. Da mesma maneira que cada item primitivo é ligado a um sensor particular, cada ação primitiva aciona um efetor particular.

Uma ação composta codifica a ativação de um conjunto ordenado de esquemas, e representa a idéia de atingir uma meta através de uma seqüência de ações. Toda a ação composta possui um '*controlador*', responsável por manter sua execução durante os turnos necessários. Todos os esquemas participantes da ação composta estão ligados a este controlador. A figura 4.5 ilustra uma ação composta.

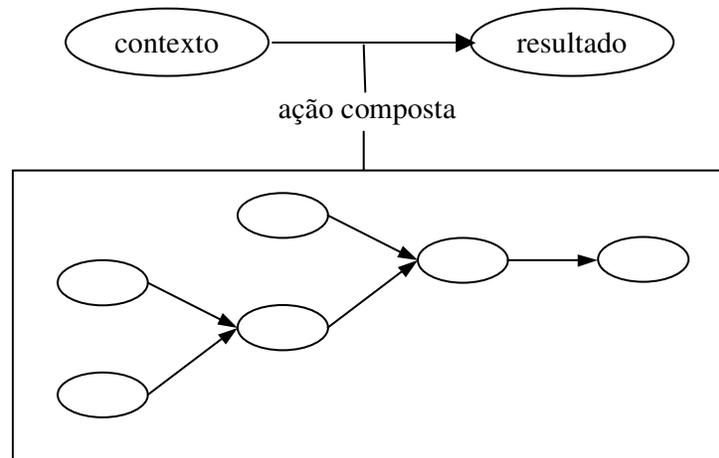


Figura 4.5: Ação Composta

No início da execução de uma ação composta, o controlador identifica dentre os esquemas componentes que são aplicáveis, qual está mais próximo do objetivo. Este esquema é então ativado. O processo é repetido até que a meta seja atingida ou que a ação composta falhe (WAZLAWICK, 1996).

A *'síntese de item'* e a *'composição de ação'* são processos essenciais para o aprendizado do agente, permitindo-lhe superar comportamentos meramente reativos ao contexto. Um item primitivo é um elemento de informação qualquer sobre o mundo (informação de entrada) ou sobre a distribuição espacial da própria estrutura física do sistema (informação somática).

Itens primitivos são pré-estabelecidos. A síntese de item é uma concepção de processo criativo que modela o desenvolvimento das representações para elementos e estruturas do mundo, incrementando, de alguma maneira a possibilidade de abstração e compreensão dos fenômenos sensório-motores percebidos pelo agente.

Ações primitivas também são pré-estabelecidas. Elas correspondem às ações motoras primitivas do agente. Ações compostas são construídas pelo mecanismo por que este pode refletir sobre como atingir resultados interessantes através da composição de suas ações.

O resultado de uma ação pode ser ocasionado ou pela própria ação do sistema, ou por ações produzidas por outros elementos ativos do ambiente. Assim, através da composição de ações, representações abstratas dos eventos (isto é, ações consideradas independentemente de seus executores) podem ser construídas pelo sistema (COSTA, 1992).

#### 4.2.5 Controle

Além de construir conhecimento sobre o mundo através de suas experiências, o agente precisa ter objetivos. O próprio conhecimento em si (no caso do agente, as regularidades expressas através dos esquemas) não motiva o agente a agir, pois não tem significado valorativo. Assim, o processo de seleção de esquemas (ou seja, o algoritmo que seleciona o esquema a ser aplicado a cada momento), baseia-se na importância que cada um deles tem para alcançar um determinado conjunto de objetivos. O mecanismo escolhe entre os esquemas aplicáveis ao contexto percebido, o esquema que melhor leva a alcançar os objetivos vigentes naquele momento.

Os objetivos do agente são inicialmente distintos por dois critérios: '*exploração*' e '*busca de metas*'. O critério de exploração funciona como uma espécie de curiosidade, e leva o agente a descobrir novas coisas sobre o mundo, explorando aqueles esquemas que ainda não foram exaustivamente usados. O critério de busca de metas leva o agente a agir sobre o mundo para alcançar determinados contextos que lhe são estabelecidos como metas. O mecanismo mantém um controle sobre a ênfase que dá para sua ação, entre um ou outro critério.

As metas se definem pela associação de valores aos itens (positivos para estados que se quer alcançar, e negativos para estados que se quer evitar). Três tipos de valores podem ser associados aos itens: '*primitivo*', '*instrumental*' e '*delegado*'.

Os valores primitivos representam propriedades biológicas, que seriam inatas no agente. Seriam representações de eventos intrinsecamente afetivos para o agente (agora pensado como um organismo). Eventos benéficos (como por exemplo o gosto da comida) devem ter valores positivos, e eventos maléficos (como dor e fome) devem ter valores negativos. Os valores instrumentais são valores dados a estados que representam um meio para atingir um outro valor. São, portanto, transitórios, e dependentes do conhecimento que o agente possui em cada momento. Os valores delegados representam a afetividade subjetiva, e visam encontrar os itens que indiretamente participam dos seus objetivos.

A atribuição do valor delegado ocorre como descrito a seguir: A cada unidade de tempo, o mecanismo computa o valor acessível a partir do estado atual, isto é, o maior valor dentre os itens que podem ser ligados a partir de uma cadeia válida de esquemas, considerando o estado atual dos sensores. O mecanismo também mantém o valor acessível médio quando o item está ligado e o valor acessível médio quando o item está desligado. Se o valor acessível médio quando o item está ligado tende a exceder o valor acessível médio quando o item está desligado, então o item recebe um valor delegado positivo, caso contrário, recebe um valor delegado negativo. A magnitude do valor delegado depende da discrepância apresentada entre os valores médios (WAZLAWICK, 1996).

Os esquemas também têm um valor exploratório, que leva o agente a aprender coisas novas sobre o mundo em que vive. É calculado com base em dois elementos: '*histerese*' e '*habituação*'. A histerese é a tendência a repetir o que está fazendo (o que permite a experimentação), e é implementado dando-se tendência aos esquemas recentemente ativados a serem ativados novamente. A habituação, inversamente, define os esquemas que já foram ativados muitas vezes repetidas, e que estariam, assim, estar dominando a atividade do sistema e impedindo o aperfeiçoamento de outros esquemas.

A criação de esquemas é feita por um algoritmo chamado de “*atribuição marginal*”. Acontece quando o agente executa uma ação aleatória, então o mecanismo registra o contexto anterior à ação e o seu resultado, tentando identificar entre os diversos itens dos sensores, quais realmente eram relevantes. O cálculo da correlação é feito durante a atividade do agente, verificando a razão do número de vezes que o item é ligado devido ao esquema pelo número de vezes em que é ligado sem a ativação dele. Existe um problema de complexidade computacional envolvido na tarefa de encontrar a relevância dos resultados em relação ao contexto e à ação, que Drescher resolve no seu algoritmo através de métodos heurísticos e estatísticos.

O agente também possui alguns esquemas iniciais (anteriores a qualquer atividade), havendo um correspondente para cada ação primitiva, contendo contexto e resultados vazios. Toda a heurística do desenvolvimento dos esquemas, no mecanismo esquemático está baseada no cálculo de correlação entre os itens do contexto e do resultado, e sua relação de transformação a partir de um esquema ou seqüência de esquemas.

Drescher também se preocupou em viabilizar a descoberta de algumas relações mais complexas entre os esquemas. Por exemplo, o agente é capaz de identificar a reversibilidade das operações. Significa que o agente percebe quando a aplicação em seqüência de dois esquemas tem um resultado neutro, pois implementam ações inversas, ou seja, a ação posterior inverte um item que a anterior havia ligado ou desligado.

O mecanismo esquemático também implementa um tipo de raciocínio hipotético-dedutivo para descoberta de conhecimento. Isso é possível pois os esquemas podem ser interpretados contrafactualmente. Operacionalmente, esse tipo de interpretação corresponde a uma busca exploratória, produzindo apenas efeitos simulados, semelhante a uma busca mental por conseqüências das ativações dos esquemas. Esse processo de simulação mental, combinado com a existência dos itens sintéticos, possibilita a implementação do raciocínio hipotético-dedutivo. Ou seja, o mecanismo poderia construir um conhecimento na forma: “se é verdade que o esquema x é verdadeiro, então o esquema y se aplica”.

### **4.3 O Agente de Wazlawick**

Outro importante modelo de arquitetura para agente construtivista foi desenvolvido por Raul Wazlawick (1993). Sua proposta é baseada principalmente na teoria da equilibração das estruturas cognitivas de Piaget, e procura permitir a construção de ‘agrupamentos’.

O modelo proposto é uma diferenciação do modelo de Drescher (1991), com algumas inovações bastante importantes. Wazlawick substitui o processo de ‘*atribuição marginal*’ (que utiliza cálculos estatísticos de correlação) por heurísticas baseadas na evolução de uma população de soluções por seleção. A idéia é inspirada fundamentalmente nos algoritmos genéticos (HOLLAND, 1975), e em algoritmos de aprendizagem não-supervisionada, do tipo das redes neurais auto-organizáveis (KOHONEN, 1989).

Tanto o agente de Drescher quanto o de Wazlawick possuem uma estrutura básica comum, mas, porque têm aspirações um pouco diferentes, desdobram-se também em modelos diferentes. Drescher quer reconstituir o desenvolvimento das primeiras fases do estágio sensório-motor de uma criança. Wazlawick, por outro lado, embora também tente reproduzir o estágio sensório-motor, almeja conectá-lo ao plano representativo.

O agente de Wazlawick possui em sua mente uma ‘população de esquemas’. Elementos novos do ambiente podem surgir como perturbações ao equilíbrio dos esquemas, obrigando o mecanismo cognitivo a modificar-se a fim de adaptar-se. Tal sistema é condizente com a interpretação feita da Teoria da Equilibração de Piaget.

(O processo cognitivo) se parece bem mais com uma série de equilíbrios e desequilíbrios momentâneos seguidos de reequilibrações não menos momentâneas. (...) E pode-se assim falar de equilíbrios majorantes, ou seja, de reequilibrações que buscam um patamar cada vez mais elevado de equilíbrio (WAZLAWICK, 1993, p.3-4).

O conceito piagetiano de ‘*assimilação*’ tem analogia no agente para os casos em que, dada uma situação, um esquema é ativado por adequação às condições, e a ação executada responde à expectativa de resultado. Porém, nos casos em que não há esquemas preparados para uma determinada situação, ou quando o esquema que supostamente daria conta dela mostra-se ineficiente, entram em ação mecanismos de ‘*acomodação*’, que modificarão a população de esquemas a fim de encontrar uma forma adaptada.

Efetivamente, o mundo físico em si não é acessível a um agente cognitivo. Apenas uma representação deste mundo é acessível via construção de estruturas cognitivas. Esta construção é realizada através de percepções sensório-motoras. As ações efetuadas pelo agente no mundo físico também só são avaliadas pelos resultados que elas produzem, sejam tácteis, cinestésicos, visuais, etc (WAZLAWICK, 1993, p.92).

#### 4.3.1 Um Mecanismo Cognitivo Operatório

Uma diferença na estrutura usada por Wazlawick em seu agente cognitivo, com relação ao modelo proposto por Drescher, é a representação de ações e percepções elementares através de números reais e não valores binários. Isso permite representar graduações perceptivas (como por exemplo, diferentes níveis de intensidade de luz, numa percepção visual) e também ações gradativas (como por exemplo, diferentes níveis de intensidade da contração de um músculo).

O agente se constitui, basicamente, de um vetor de entrada (que representa as sensações elementares percebidas pelo agente em cada instante), um vetor de saída (que representa suas ações motoras), e uma população de esquemas. Essa população de esquemas é limitada por parâmetros pré-estabelecidos de população máxima e mínima. O significado dos elementos dos valores de entrada e saída é definido na modelagem do agente, de acordo com o problema que se quer resolver.

Um esquema é composto por três vetores: ‘*Observáveis*’, ‘*Ação*’ e ‘*Objetivos*’. Os observáveis são a pré-condição para ativação do esquema. O vetor de observáveis é pareado ao vetor de entrada sensorial do agente. Quanto maior for o grau de similaridade entre o vetor de observáveis do esquema e o vetor da entrada sensorial do agente, maior será a probabilidade de que a situação percebida seja adequada ao tratamento proposto pelo esquema. O parâmetro ‘*Limiar de Ativação*’ de um esquema indica o quanto a similaridade entre a percepção e os observáveis tem de ser alta para que o esquema possa ser ativado. Por consequência, quanto menor for o limiar de ativação de um esquema, mais genérico ele será, pois permitirá a ativação para um conjunto maior de situações.

O vetor de ação é pareado ao vetor de saídas motoras do agente. Quando o esquema é executado, este vetor indica exatamente quais as ações que o agente vai realizar, pois ele é transferido para o vetor de saída propriamente do agente.

O vetor de objetivos é pareado com o vetor de entrada sensorial do agente, e indica aquilo que o agente deve esperar perceber logo após a execução das ações propostas pelo esquema. Quanto maior for a similaridade entre as percepções que seguem uma ação e as expectativas (dadas pelo vetor de objetivos), melhor terá sido o desempenho do esquema, e isso aumentará sua ‘*Avaliação*’.

Todos os esquemas possuem um coeficiente de avaliação (equivalente ao ‘*fitness*’ dos algoritmos genéticos). Quanto maior a avaliação do esquema, mais confiável ele é na aquisição dos resultados esperados. A avaliação é recalculada a cada ativação do esquema, e privilegia sempre os resultados mais recentes.

A principal noção de equilíbrio envolvida no modelo é a previsibilidade do resultado das ações do agente. Dentro da população de esquemas, sobrevivem aqueles que são confiáveis no que diz respeito à correlação que propõe entre observáveis, ação e resultados esperados da ação.

Apenas algumas posições dos vetores dos esquemas são relevantes, e o cálculo da similaridade é feito sempre com base nessas posições. Na verdade, os vetores de um esquema não precisam considerar todas as percepções e saídas motoras do agente. Uma solução possível seria fazer com que estes vetores fossem menores, contendo apenas os elementos relevantes (como mostra a figura 4.6), mas, para facilitar o tratamento, adotou-se a representação de ‘*posições impróprias*’, que são as irrelevantes (como mostra a figura 4.7), e que poderíamos chamar de posições ‘*don’t care*’.

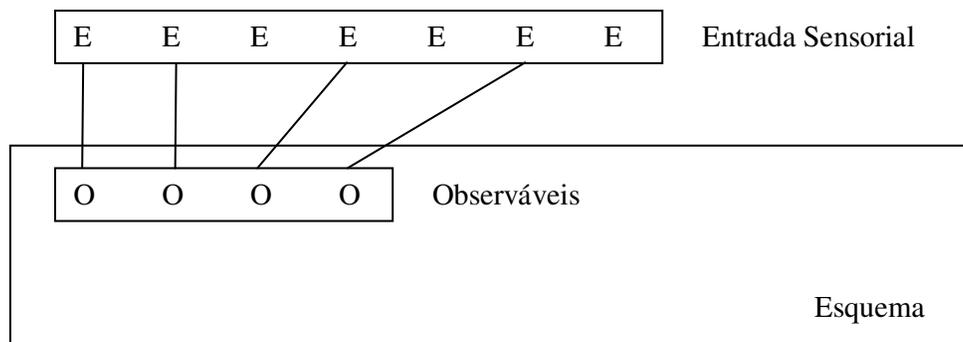


Figura 4.6: ES x Observáveis

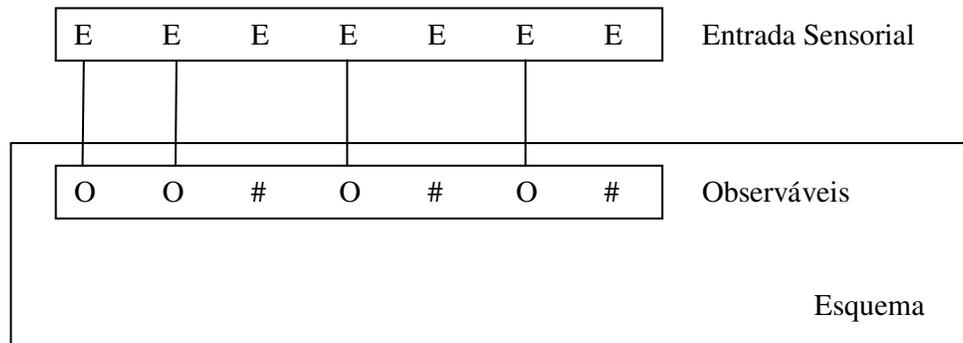


Figura 4.7: ES x Observáveis com #

O aprendizado neural do esquema acontece pela modificação dos vetores de observáveis e de objetivos. A cada ativação, os elementos desses vetores são ajustados para ficarem mais próximos dos dados observados na última ativação. Wazlawick explica este recurso através da idéia de aproximar o esquema da nuvem de pontos que formam um determinado conceito. Este ajuste ocorre de acordo com uma taxa de aprendizagem do esquema, parâmetro que é diminuído a cada ativação, para que o esquema tenda a estabilizar-se.

Um esquema aprende a reconhecer seus observáveis pela aproximação de seu vetor de observáveis do centro da nuvem de conceitos. Da mesma forma ele aprende a reconhecer seus objetivos pela aproximação do vetor de objetivos da nuvem de conceitos resultante de sua ação (WAZLAWICK, 1993, p.106).

Wazlawick enfatiza o problema da alocação de vetores no algoritmo de aprendizagem de Kohonen. É o problema da concentração demasiada de vetores em uma região com poucas entradas conceituais e de poucos vetores em regiões com muitas entradas, que pode surgir quando a localização inicial dos vetores não bate com a distribuição dos conceitos no espaço de situações (esse fenômeno é ilustrado na figura 4.8). Este problema é resolvido pelo agente através do algoritmo de diferenciação, que gera esquemas novos em áreas onde há necessidade de especializar conceitos, e também pela destruição de esquemas inúteis (por exemplo, esquemas que estão tentando dar conta de uma situação que já é tratada por outro esquema). Esquemas ruins estão sujeitos à eliminação quando sua avaliação fica abaixo de um determinado '*Limiar de Destruição*'.

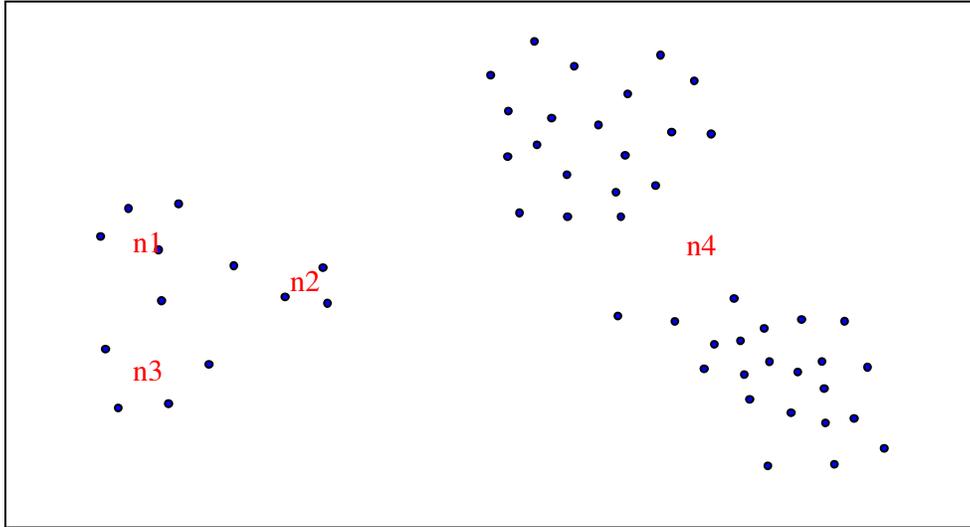


Figura 4.8: Problema da distribuição dos conceitos nas nuvens de pontos

A eficiência do método, segundo a proposta de Wazlawick, estaria na conjugação entre o método de diferenciações de esquemas, que faz criar novos esquemas onde existe necessidade, e o método de ajustes que se realizam no próprio esquema durante suas ativações.

A reprodução de esquemas se dá pela utilização das técnicas de Algoritmos Genéticos a partir da seleção dos melhores esquemas e reprodução por cruzamento e mutação. O algoritmo de diferenciação, porém, é o recurso mais interessante do agente. Quando um esquema que tem uma avaliação boa fracassa em uma determinada aplicação, em vez de simplesmente baixar sua nota, o mecanismo cria especializações diferenciadas do esquema, a fim de preservá-lo para as situações em que vinha tendo bom desempenho, e ao mesmo tempo permitir o surgimento de um novo esquema adaptado a esta situação nova para a qual ele não dava conta.

Todos os procedimentos de escolha de esquemas (seja para ativação, para reprodução ou para a destruição) são probabilísticos, ou seja, utilizam o valor de avaliação como fator de probabilidade da escolha, não sendo, portanto, determinísticos. O modelo possui também mecanismos que evitam redundâncias e contradições entre esquemas, e procura alcançar um estado de coerência e completude.

### 4.3.2 Tratando Níveis de Abstração

Wazlawick sabe que este ‘mecanismo básico’ tem seus limites, uma vez que não permite coordenar de nenhuma forma o conjunto de esquemas. Até aí, embora construa seu conhecimento e modifique seu comportamento em virtude de suas próprias experiências, o agente permanece como um ser reativo, incapaz de planejar ou reconhecer, pois sua decisão é sempre instantânea. Wazlawick quer um agente capaz de atingir o estágio operatório concreto piagetiano e para isso propõe estruturas cognitivas superiores. Estas estruturas superiores são chamadas de *meta-esquemas*, e tem o papel de regular o funcionamento de outros esquemas. Tal estratégia permite que se criem hierarquias de esquemas e um tipo de conhecimento diferente, entendido como a formação de conceitos mais abstratos, que superam o nível sensorio-motor.

O meta-esquema é um esquema que se relaciona com outros esquemas, e não mais com sensações e ações elementares do agente. A ação de um meta-esquema corresponde à ativação de outro esquema, e seus observáveis e objetivos são constituídos por configurações de observáveis e objetivos de outros esquemas.

A finalidade do meta-esquema é, basicamente, agrupar outros esquemas e coordenar a ativação deles. A medida que os esquemas vão estabilizando seu valor de avaliação, sua regulação passa para os meta-esquemas. Assim, o meta-esquema será responsável pela seleção, avaliação e aprendizagem do esquema ativado. (...) Os meta-esquemas podem ser compostos por outros meta-esquemas, gerando assim uma hierarquia de níveis que leva à regulação de regulações (WAZLAWICK, 1993, p.133).

Wazlawick pensa então, em alguns tipos de coordenações necessárias ao mecanismo de seu agente cognitivo. Primeiramente, os meta-esquemas RA (relações assimétricas), que regulam o comportamento referente a ações assimétricas temporais. Este meta-esquema procura encontrar implicações temporais entre esquemas, e baseia-se, então, na similaridade entre as expectativas de um esquema com os observáveis de outro. A ativação do meta-esquema implicará a ativação seqüencial do seus esquemas componentes. Um meta-esquema RA está ilustrado na figura 4.10.

Os meta-esquemas do tipo CR (categorização relativa) regulam a seleção de esquemas opcionais. Esse tipo de meta-esquema pode representar uma generalização entre os observáveis e os objetivos de dois esquemas. Quando ativado, então ele próprio toma a decisão de qual esquema ativar, entre seus alternativos. Um meta-esquema CR está ilustrado na figura 4.9.

O mecanismo pode construir meta-esquemas que referenciem outros meta-esquemas (formando uma árvore). A diferença entre um esquema e um meta-esquema diz respeito ao tipo de ação que realiza. Enquanto os esquemas propõem saídas motoras, os meta-esquemas regulam a ativação de outros esquemas.

A cada nível de abstração, os objetos operados são as próprias ações (...). Chega-se, assim, ao conceito de consciência das próprias ações, no momento em que o sujeito consegue raciocinar sobre a própria atividade (WAZLAWICK, 1993, p.90).

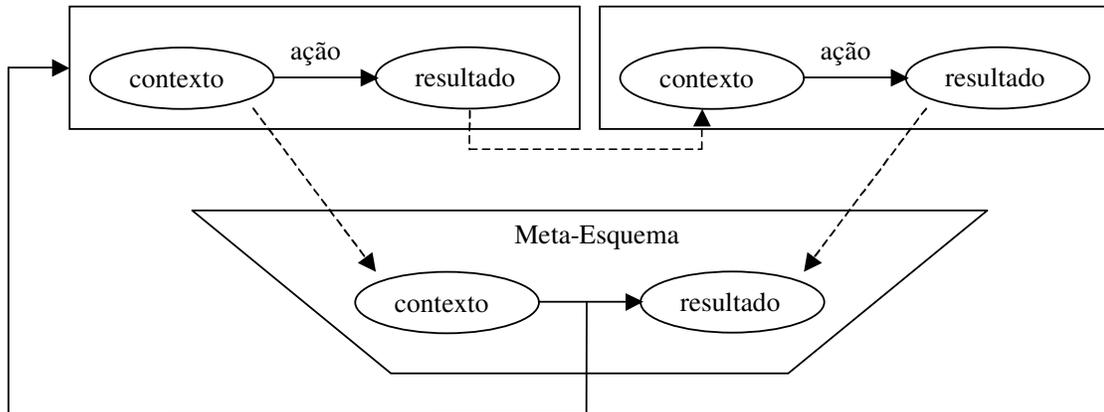


Figura 4.9: Representação de um meta-esquema RA

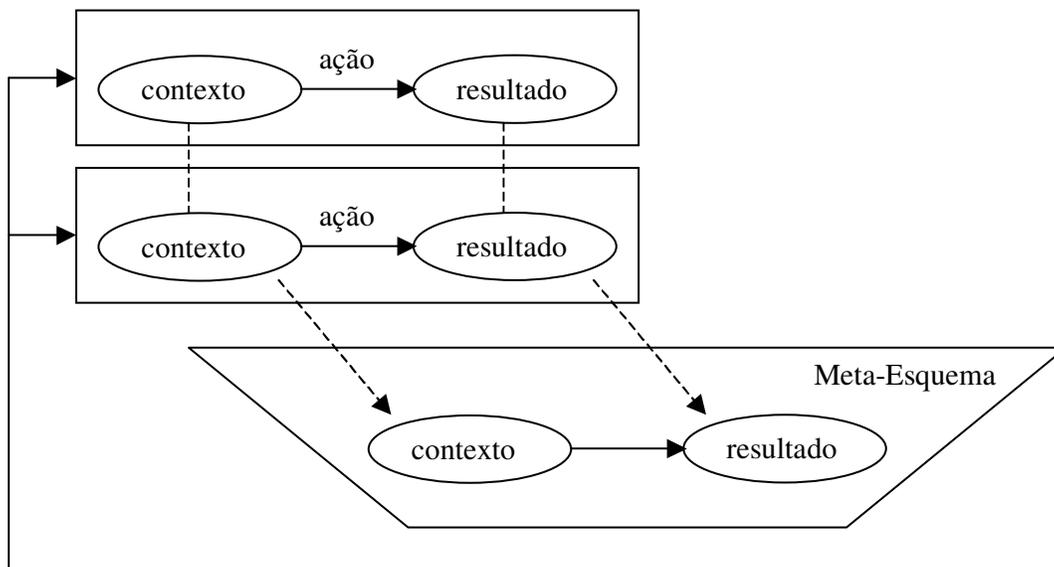


Figura 4.10: Representação de um meta-esquema CR

#### 4.4 O Agente de Muñoz

O modelo de agente construtivista proposto por Mauro Muñoz (1999) é diretamente inspirado no trabalho de Wazlawick (1993). Diferencia-se deste, porém, ao possibilitar conhecimentos temporais (resultados do encadeamento de ações), possibilitando, com isso, que o agente formule planejamentos, e também por orientar o agente pela busca da ação que leva aos objetivos previstos pelo esquema, e não mais, como era em Drescher e Wazlawick, a descoberta dos resultados dados por uma ação.

Munoz trabalha no plano sensório-motor, e as alterações que propõe para o modelo de Wazlawick destinam-se a dar-lhe mais objetividade, o que ampliaria sua eficiência enquanto técnica computacional. Há um reconhecimento de que a existência de objetivos pré-estabelecidos, definidos como contextos a serem alcançados pelo agente, pode desvirtuar um pouco a idéia de sistema auto-regulado.

#### 4.4.1 O Agente Sensório-Cognitivo Piagetiano

A arquitetura de agente computacional inteligente de Muñoz (1999), assim como a de Wazlawick (1993), apóia-se em três pilares básicos: Em primeiro lugar, a teoria psicológica piagetiana, que dá a orientação conceitual; depois Algoritmos Genéticos e Redes Neurais como técnicas para a viabilização da teoria na prática. O modelo do esquema de Muñoz é semelhante ao de Drescher e Wazlawick. Cada esquema possui uma trinca de atributos <contexto – ação – objetivo>.

Procurou-se captar desta teoria (de Jean Piaget) algumas características interessantes e desejáveis para um agente cognitivo computacional, tais como capacidade de adaptação e ausência de conhecimento prévio acerca do meio.

(...) O sentido da existência do agente é o de satisfazer suas necessidade, sejam elas inatas ou construídas ao longo de sua experiência.

Todo o sistema cognitivo do agente tem como base a estruturação das ações e de seus resultados (MUÑOZ, 1999, p.54).

O 'objetivo' deve ser capaz de representar uma classe de situações similares que formam uma 'sensação-objetivo'. (...) Já o 'contexto' do esquema deve ter a capacidade de representar várias classes distintas de situações, pois dependendo da ação aplicada, pode-se alcançar o objetivo a partir de situações completamente distintas. (...) As 'ações' referem-se às diferentes possibilidades de combinação de acionamento dos atuadores do esquema (inatos ou mentais), além de estarem relacionadas a cada contexto no qual podem ser aplicadas para a obtenção do objetivo (...). note-se que o termo ações refere-se a um subconjunto do espaço de ações do esquema, o qual pode ser nulo, ou seja, pode indicar simplesmente que dada uma situação, outra situação se segue independentemente das ações realizadas pelo agente (MUÑOZ, 1999, p.61).

Muñoz sugere então que o agente tenha dois sistemas interatuantes e responsáveis pelas decisões do agente: um sistema cognitivo (responsável pelo conhecimento) e um sistema não-cognitivo (responsável pela definição de objetivos).

O sistema não-cognitivo é composto pelos desejos e prioridades do agente, e é responsável pela orientação das ações. Esse sistema interage com o sistema cognitivo, que se refere especificamente às crenças que o agente tem sobre as regularidades do mundo (representadas através de esquemas). O sistema não-cognitivo propõe objetivos a priori, que as hierarquias de esquemas desejam alcançar.

O agente cognitivo concebido neste trabalho possui um corpo que está inserido em um ambiente. O corpo do agente tem a função de fazer a interface entre o sistema cognitivo e o meio externo. O sistema cognitivo tem como entrada o estado dos 'sensores' e 'atuadores' do corpo e como saída, controla o estado dos 'atuadores'. Além do seu corpo, o agente é composto por um 'sistema cognitivo' (SC), responsável por estruturar o conhecimento e utilizá-lo para satisfazer as necessidades do agente, e por um 'sistema não-cognitivo' (SNC), responsável por estabelecer prioridades e indicar as necessidades e vontades do agente, para que o sistema cognitivo possa satisfazê-las.

A relação entre o SC e o SNC é de mútua dependência, não havendo subordinação. O papel do SNC para com o SC é o de gerar as necessidades ou objetivos, para os quais o SC seleciona ou gera esquemas que são então treinados para descobrir os meios de alcançá-los. Por outro lado, o SNC se utiliza do SC para refletir estados mais complexos e temporalmente mais distantes sobre o meio externo, permitindo ao SNC gerar novos objetivos que podem ser representados através dos estados das próprias estruturas cognitivas (MUÑOZ, 1999, p.55-56).

Com isso, Muñoz visa dar conta da composição de ações em função de um planejamento, que através de um conjunto de objetivos intermediários e de ações, busca um objetivo final. O agente tem por objetivo satisfazer suas necessidades, que estarão explicitadas pelo SNC. O SC fica responsável, desta maneira, não só por encontrar a ação que em uma dada situação gera um determinado resultado, mas além disso, qual a composição de ações que leva de um estado inicial a um estado final.

O SNC modela as necessidades e vontades do agente através de '*sensações-objetivo*' (que são os estados do mundo que o agente deseja atingir). E tem como função gerenciar as prioridades dos objetivos, bem como criar novas sensações-objetivo, que servirão de objetivos intermediários para esquemas de ações compostas. Como essas novas sensações-objetivo derivam da busca pelas sensações-objetivo iniciais, então a parte inata do SNC ganha importância fundamental, pois definirá toda a orientação do agente. Para cada sensação-objetivo do SNC haverá um correspondente esquema no SC, que o tem como objetivo.

A possibilidade de inserção de sensações-objetivo inatas permite que o agente seja direcionado para a realização de tarefas idealizadas pelo projetista sem que ele perca sua autonomia cognitiva, ou seja, possibilitando que o agente construa novas sensações-objetivo a partir dos estados das estruturas cognitivas construídas através de sua interação com o meio (MUÑOZ, 1999, p.57).

Para que o agente possa construir planejamento (seqüências de ações) que atinjam de alguma forma a situação desejada (informada pelo SNC), é preciso haver um encadeamento de esquemas (esquemas que referenciem outros esquemas). Assim, Muñoz propõe a inclusão de "*sensores e atuadores cognitivos*", que permitem a ação e o sensoramento indiretos do meio. Dessa maneira, um esquema não será excitado somente pela similaridade da situação colocada para o agente. A excitação de um esquema pode desencadear a excitação de outro. Os sensores e atuadores cognitivos são o elo de ligação entre esquemas, que podem formar uma hierarquia para alcançar um objetivo que dependa do encadeamento de esquemas.

Uma importante diferença entre o seu modelo e os predecessores, é que Muñoz insere '*vontade*' no próprio esquema. Ao tratar o resultado esperado da aplicação de um esquema como um objetivo do esquema, o sistema cognitivo passa a ficar fundido com as próprias intenções do agente. O sistema cognitivo proposto por Muñoz incorpora a idéia de objetivo para as ações do agente, e dessa forma, dispensa a existência de um sistema emocional. O sistema cognitivo proposto pelo trabalho de Wazlawick apenas trata de conhecer, e não de estabelecer objetivos para o agente. Os esquemas se constituirão na fonte de conhecimento usada para alcançar objetivos oriundos de fora do sistema cognitivo (de um sistema emocional possivelmente), embora dele dependa.

Se, por um lado, a estratégia de Muñoz mostra-se muito interessante por simplificar o agente e torná-lo mais objetivo, por outro lado perde em capacidade de implementar um agente completamente autônomo. Seu modelo traz limitações ao funcionamento do agente, pois os objetivos devem ser pré-estabelecidos, e isso implica em ter um conhecimento prévio sobre o ambiente. Muñoz está ciente desta condição:

O esquema proposto é uma estrutura cognitiva objetivada que encontra, armazena e modifica as informações sobre quais ações aplicar a quais situações para que se consiga atingir um dado objetivo. Ao contrário dos esquemas propostos por Drescher e Wazlawick que encontram os resultados mais freqüentes das aplicações de suas ações e os usam como objetivo (expectativa), o esquema proposto parte de um objetivo previamente estipulado e encontra as ações e situações que levam à sua obtenção. Ou seja, ao invés do esquema ser organizado a partir de suas ações, eles são organizados a partir de seu objetivo. Portanto, ao invés de responder à pergunta: 'o que posso fazer com essas ações?', o esquema proposto responde à pergunta: 'como consigo atingir esse objetivo?'

A opção de estabelecer o resultado da ação do esquema como sua identificação, e, portanto, de sua origem, é crucial. Por um lado torna sua implementação mais simples, e, por outro, implica em estabelecer um 'conhecimento' a priori, pois para ser construído o esquema necessita que seu objetivo (ou resultado) seja dado de antemão.

(...) o esquema de Drescher é construído para captar os resultados mais confiáveis e freqüentes quando da aplicação de suas ações, que são pré-estabelecidas. Um problema que tal abordagem traz é a falta de direcionamento do agente cognitivo.

Desta forma, a 'objetivação do esquema' muda a concepção ed existência do agente. Ao invés dele construir seu conhecimento através da identificação das constâncias do meio externo se interessando por, e aprendendo tudo aquilo que vivencia, ele construirá, através da interação com o meio, o conhecimento necessário para satisfazer suas necessidades (MUÑOZ, 1999, p.59-60).

#### **4.4.2 Objetivação dos Esquemas**

O treinamento do esquema consiste em se encontrar as ações que possam levar a um estado dos sensores que esteja contido no conjunto determinado pelo objetivo, além de delimitar os respectivos conjuntos sensoriais nos quais a aplicação destas ações tenha êxito, o que corresponde a encontrar os contextos (MUÑOZ, 1999, p.61).

Cada esquema construído fixa um objetivo, dado pelo sistema não-cognitivo. Durante o desenvolvimento do esquema, o mecanismo leva-o a encontrar ações e contextos condizentes para que atinja o objetivo. Diferentemente dos modelos de Wazlawick e Drescher, que fixam a ação e corrigem os contextos e as expectativas. Cada modelo faz, assim, uma opção de método, escolhendo que elementos do esquema serão ajustados e quais serão fixados. A figura 4.11 exemplifica essas opções.

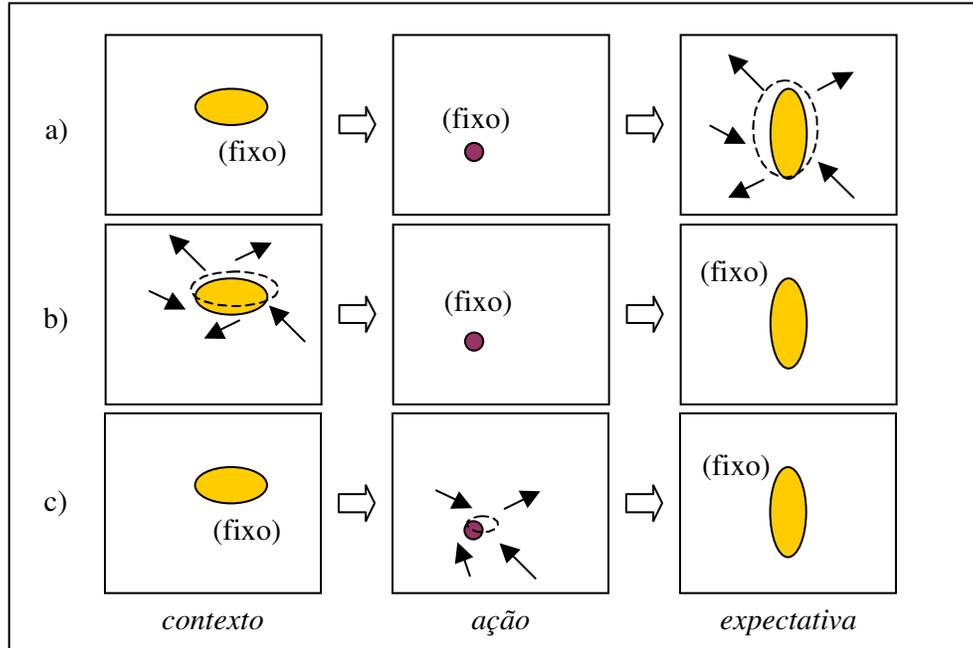


Figura 4.11: Ajuste dos esquemas: a) ajuste do contexto segundo o par ação/expectativa; b) ajuste da expectativa segundo o par contexto/ação; c) ajuste da ação segundo o par contexto/expectativa.

Essa idéia foi chamada por Muñoz de “*objetivação do esquema*”, e tem suas vantagens e desvantagens. O esquema tem um objetivo pré-estabelecido e aprimora-se para encontrar as maneiras de atingi-lo. Enquanto Drescher e Wazlawick fixam a ‘ação’ e ajustam ‘contextos’ e ‘expectativas’, Muñoz fixa as ‘expectativas’ (que por isso mesmo chama de ‘objetivo’) e ajusta os ‘contextos’ e as ‘ações’.

Contextos e objetivos possuem representações compatíveis, permitindo que o contexto de um esquema possa ser exatamente o objetivo de outro esquema. Esse segundo esquema pode ser encadeado ao primeiro, formando uma hierarquia de sub-esquemas, encadeados como mostra a figura 4.12.

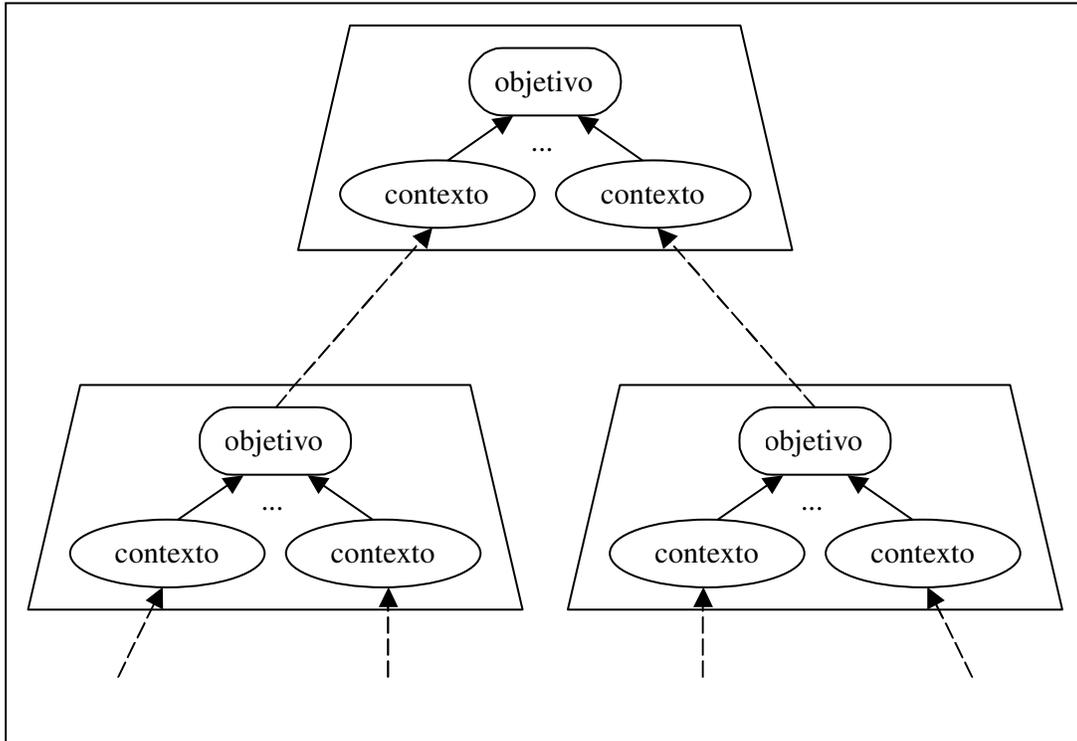


Figura 4.12: Encadeamento de Esquemas

Os esquemas no sistema cognitivo podem a cada instante estar em um dos seguintes estados:

- *Não Excitado:* quando a situação não pertence ao contexto do esquema.
- *Excitado:* quando a situação pertence ao contexto do esquema.
- *Ativado:* quando a situação pertence ao contexto do esquema e suas ações são executadas.

Como existe uma hierarquia de esquemas e sub-esquemas, existe um encadeamento de sensores e atuadores, como mostra a figura 4.13.

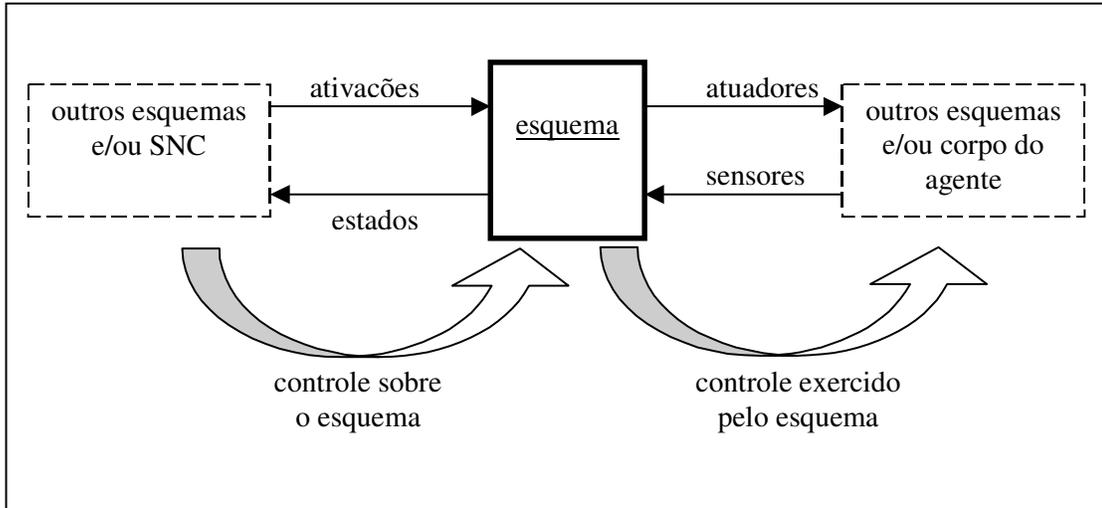


Figura 4.13: Encadeamento de Sensores e Atuadores

O encadeamento hierárquico de esquemas permite que o agente construa noções temporais, pois um esquema pode ter como entrada simultaneamente a percepção sensorial do agente (imediate) e a ativação de um outro esquema (que ocorreu num momento anterior), e assim sucessivamente.

## 5 O NOVO AGENTE CONSTRUTIVISTA

### 5.1 Princípio do Agente Construtivista Proposto

O desenvolvimento é transformação temporal de estruturas, no duplo sentido da diferenciação de subestruturas e de sua integração em totalidades (PIAGET, 2000).

O modelo de *Agente Construtivista* que estamos propondo procura utilizar fundamentalmente os conceitos da Teoria Construtivista de Piaget. Ele difere de todos os anteriores pois é baseado em um mecanismo indutivo de assimilação e acomodação, sem abordagens estatísticas, regulações seletivas, ou aprendizagens por reforço.

O *Agente Construtivista* é um *Agente Corporal* e um *Agente Emocional*. Além dessas características, ele possui mecanismos específicos para construção e reconstrução dos seus conhecimentos, a fim de torná-los adequados ao meio. Assim, nosso agente é também um *Agente Adaptativo* (conforme os conceitos definidos anteriormente), pois modifica dinamicamente suas “regras” de interação com o meio, e conseqüentemente seu comportamento. Mesmo assim, a arquitetura proposta aqui é ainda a de um *Agente Reativo*, no sentido que ele não é capaz de memória, planejamento, percepção temporal, analogia ou construção de conceitos abstratos. O único fator que influencia suas decisões é a própria percepção instantânea, que acaba funcionando como estímulo.

Seja como for, essa arquitetura define a base inicial para uma nova concepção de agente computacional inteligente, que deixa em aberto a possibilidade de ser estendida rumo à aquisição de abstração e temporalidade em trabalhos futuros. Trabalhos anteriores que perfizeram caminhos semelhantes na definição de arquiteturas para agentes construtivistas (citados nas seções anteriores) são referência em nossa pesquisa, servindo como inspiração e ao mesmo tempo fornecendo parâmetros sobre que limites precisam ser superados.

#### 5.1.1 Mundo, Objetos, Organismos e Agentes

Antes de definir a estrutura do agente propriamente dito, vamos fazer definições do ambiente em que este agente será considerado. Essas definições são importantes para romper com os modelos simplificados que a IA costuma utilizar, onde o agente reduz-se a um sistema de representação e inferência que atua diretamente no mundo.

Num primeiro nível, então, encontramos o *Mundo* em correlação com *Objetos*. Nesse nível, existem apenas os fenômenos e eventos que se diria de uma realidade física. O mundo é assim, o espaço que contém os objetos, e que impõe a estes objetos certos tipos de interação. Os objetos possuem propriedades ou características, que podem influenciar na maneira com que ocorrem os fenômenos nesse nível de realidade. Essas propriedades, eventos e fenômenos são estabelecidos nesse sistema mundo-objetos, e não precisam necessariamente modelar a realidade física do mundo real. É uma realidade física virtual.

Num segundo nível, os objetos podem ser *Organismos*. Nem todos os objetos são organismos, mas os organismos não deixam de ser objetos (ou seja, sujeitos aos fenômenos e eventos físicos, e caracterizados por propriedades físicas). Os organismos são objetos de um tipo especial, que poderia ser dito como “corpos orgânicos”. O organismo possui um metabolismo corporal, que atua sobre propriedades internas. Além disso, o organismo é geralmente um sistema aberto, influenciado em seu funcionamento interno por fatores externos provenientes do mundo, e podendo também reagir a este mundo exterior.

Num terceiro nível, os organismos podem ser *Agentes*<sup>7</sup>. Da mesma forma que antes, um agente não deixa de ser um organismo, nem deixa de ser um objeto físico, mas possui certas estruturas especiais que fazem valer esta distinção. Agora, o metabolismo e as propriedades internas fazem parte de um corpo que interage com uma mente. A mente recebe informações do meio externo e do corpo, através de sensores, e pode agir sobre um e sobre outro através de atuadores.

Note-se que as definições de organismo e agente também são meta-definições. Elas não definem metabolismos, nem propriedades, nem estruturas mentais, nem processos mentais específicos. Assim, existem vários tipos de organismos possíveis, bem como vários tipos de agentes, com seus vários tipos de corpos e de mentes.

### 5.1.2 Arquitetura do Corpo

O corpo de um agente possui um conjunto de propriedades, que constituem as *propriedades internas* do organismo. Cada combinação de valores dessas propriedades internas constitui um *estado interno*.

O primeiro mecanismo que interage com o estado interno do organismo é o *sistema metabólico*. O sistema metabólico de um organismo é pré-definido e regula alterações em suas propriedades internas. É composto por *funções metabólicas* que podem ser descritas como regras, do tipo {<condição>;<ação>}. Tanto as condições quanto as ações dizem respeito somente às propriedades internas do agente. A cada instante de tempo, essas funções são avaliadas e, quando as condições são satisfeitas, a ação é executada. A idéia é que o corpo, através de seu metabolismo, funcione temporalmente num equilíbrio cíclico.

---

<sup>7</sup> Aqui estamos fazendo uma diferenciação explícita de organismo e agente, porque a distinção nos é útil, porém, é evidente que o que estamos chamando de organismo aqui, não deixa de ser um tipo de agente reativo.

Apenas para relacionar nosso modelo com organismos biológicos, as propriedades internas podem, por exemplo, representar a quantidade de determinadas enzimas, bem como a atividade das glândulas produtoras dessas enzimas. As funções metabólicas podem representar o acionamento ou inibição das glândulas, a partir de certas condições enzimáticas, ocasionando assim o aumento ou diminuição das quantidades dessas ou de outras enzimas no corpo. As propriedades internas não estão limitadas à analogia com o sistema hormonal, podendo representar qualquer característica do corpo, como os estados musculares, ou ainda qualquer outra coisa que se queira, independente de haver correlatos biológicos.

O organismo, porém, enquanto sistema aberto, é sensível a eventos externos, que podem ocasionar alterações no meio interno. Assim, o corpo possui um conjunto de *reações metabólicas*, estruturadas na forma {<evento externo>, <ação interna>}, que também podem ser vistas como regras que apontam as conseqüências internas, ou seja, as alterações ocorridas em propriedades internas do corpo, a partir da ocorrência de algum evento externo que recaia sobre o agente. Situações externas que afetam o metabolismo são, por exemplo, a alimentação, a temperatura. Também poderia ser um impacto físico ou qualquer coisa proveniente de fora do organismo e que o atinja.

Outro fator que interfere nas propriedades internas do agente é a sua própria atividade. A conduta do agente pode modificar o funcionamento metabólico. Assim, a cada *ação externa* pode-se associar um *efeito interno*. Seria, por exemplo, o caso do agente cansar-se após muita atividade física.

A mente de um agente também pode interferir no corpo, alterando propriedades internas. Essa função acontece normalmente a partir do sistema cognitivo uma vez que este utiliza os *atuadores internos* do corpo. O sistema cognitivo pode ter acesso, portanto, a todas as propriedades internas que estejam relacionadas a atuadores internos.

Por fim, o último mecanismo capaz de interferir no metabolismo do corpo, alterando propriedades internas do agente, é o sistema emocional, que também faz parte da mente. As emoções estão ligadas, entre outras coisas, à alteração do estado corporal. Dessa maneira, cada *emoção* no sistema emocional possui também um conjunto de *efeitos internos*, similares aos citados no caso das ações externas. A figura 5.1 ilustra a estrutura interna do corpo do agente.

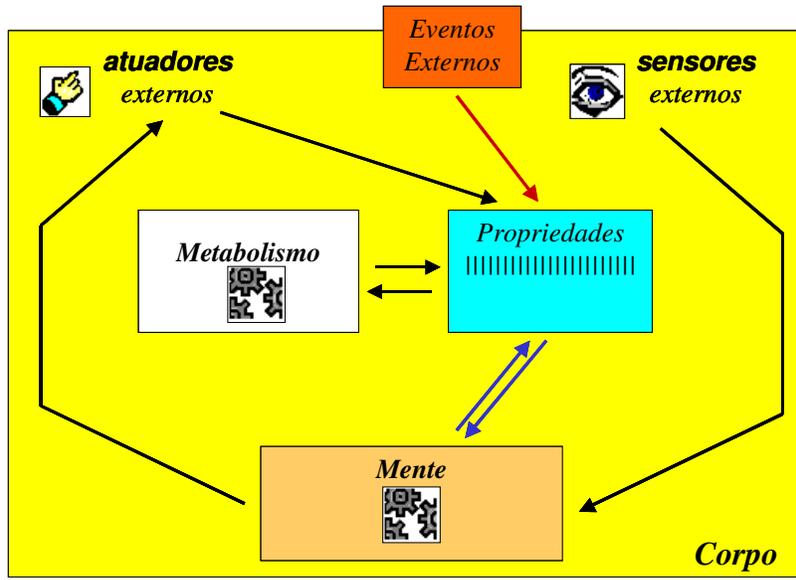


Figura 5.1: Estrutura interna do corpo

### 5.1.3 Integração Corpo-Mente e Razão-Emoção

O corpo de um agente também funciona como intermediário entre sua mente e o meio exterior, uma vez que é através do corpo que o agente percebe o ambiente e age para transformá-lo. Assim, definimos a *percepção* de um agente como um conjunto de sensores localizados no seu corpo. Da mesma maneira, a *atuação* de um agente é definida como um conjunto de atuadores igualmente localizados no corpo. O agente possui uma interface com o ambiente (entradas sensoriais e saídas motoras) através do corpo.

É preciso lembrar que a mente recebe informações tanto do meio externo (ambiente) quanto do próprio meio interno (corpo) do agente, bem como age nestes dois domínios. Assim, diferenciamos a noção de sensores e atuadores internos e externos. Os sensores e atuadores internos dizem respeito às propriedades do corpo do agente enquanto que sensores e atuadores externos dizem respeito a elementos do ambiente.

Um *sensor interno* nada mais é do que uma variável que monitora o valor de uma propriedade interna. Nem todas as propriedades internas precisam ter um correspondente sensor interno. São os sensores internos que permitem ao agente perceber suas condições viscerais, fisiológicas e cinestésicas. Já um *sensor externo* condiz mais com a noção usual de “sentidos”, e dá conta da percepção de elementos físicos externos, disponíveis em algum plano perceptivo. Entrariam nessa categoria visão, audição, tato, paladar, olfato, sensação térmica, e outros.

Analogamente, um *atuador interno* é o meio pelo qual a mente pode interferir no corpo, alterando as propriedades internas do agente, enquanto que um *atuador externo* é o meio pelo qual o agente pode interferir no ambiente externo.

Assim, o corpo do agente, além de funcionar como mediador entre o ambiente e a mente, através de seus sensores e atuadores externos, existe como um meio interno, que se constitui num universo tanto diferenciado da mente, quanto do meio externo, como mostra a figura 5.2.

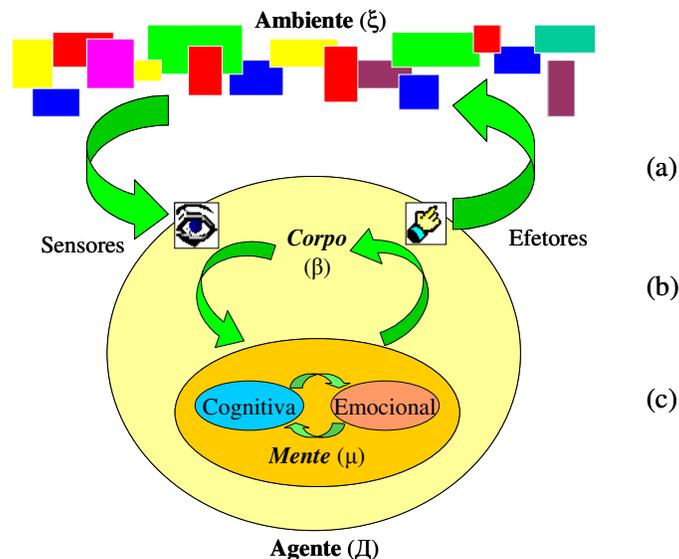


Figura 5.2: Estrutura do Agente (Mundo-Corpo-Mente)

Corporalidade e Emoções são elementos fundamentais para garantir uma verdadeira autonomia para o agente, considerando-se nossa fundamentação teórica. Essas propriedades garantem que toda a intencionalidade seja resultado emergente de mecanismos próprios, sem haver necessidade de objetivos explícitos previamente programados no agente por um sujeito externo. Essa afirmação é suportada por Rocha Costa e Dimuro (2003), Bercht (2001) e Sloman (1999a). Este resultado também é coerente com os estudos mais recentes na pesquisa em Ciências Cognitivas, que afirmam a dependência mútua entre conhecimento e afetividade no comportamento inteligente (RAPP, 2001), (DAMÁSIO, 1996) e (LEDOUX, 1996).

Também é intenção do nosso modelo, servir como uma arquitetura genérica, que não defina as emoções nem os metabolismos corporais específicos em um agente, mas sim a maneira com que cada um desses tipos de elemento se relaciona. Nesse sentido, a arquitetura que estamos propondo pode ser vista como uma meta-arquitetura, que estabelece a maneira com que uma arquitetura de agente corpóreo-emocional pode ser construída.

A mente do agente construtivista possui dois pólos de funcionamento: o sistema cognitivo e o sistema emocional (ilustrados na figura 5.3). Embora funcionando em integração, seus mecanismos serão diferenciados. O sistema cognitivo é responsável pela construção do conhecimento do agente a respeito do mundo e de si mesmo. O sistema emocional dá valor a este conhecimento.

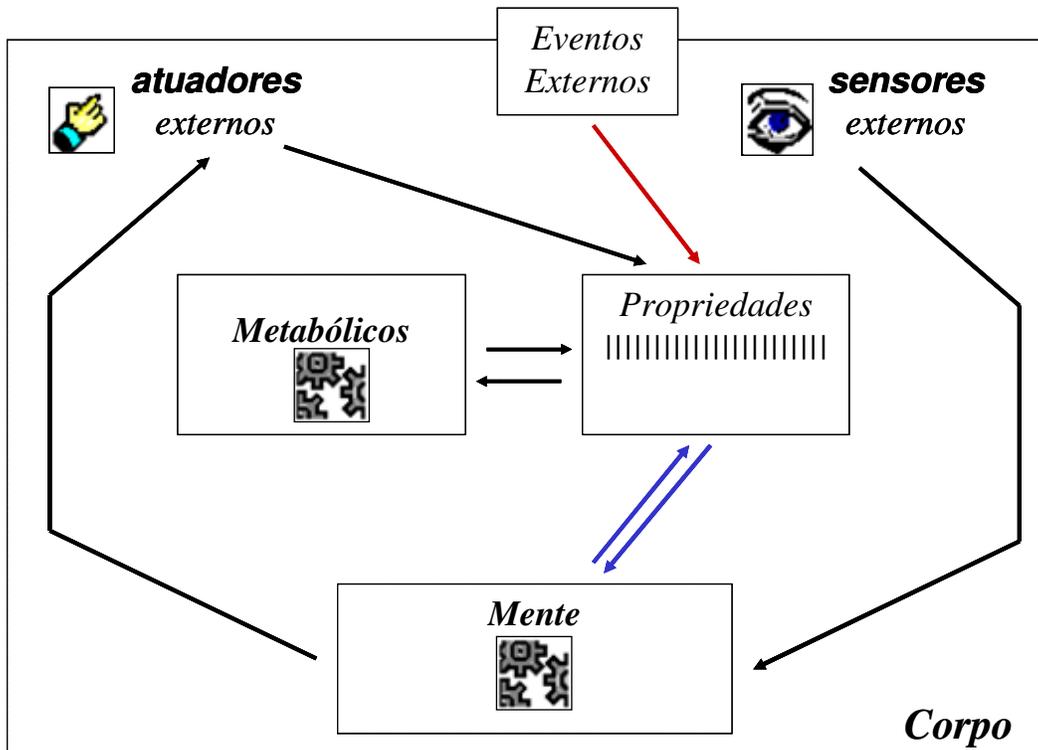


Figura 5.3: Estrutura do Agente (Mente Cognitivo-Afetiva)

Assim, acoplado ao mecanismo cognitivo, o agente possui também um sistema emocional. A interação destes sistemas é responsável por orientar as ações do agente, dando significado afetivo ao conhecimento, e permitindo que o agente tenha objetivos próprios. As emoções podem ser vistas como a presença de estados internos do sujeito correlacionadas às estruturas do sistema cognitivo, e que lhe avaliam. As emoções são encaradas, portanto, como estados internos do agente que avaliam sua própria condição, a qual é cognitivamente identificada.

#### 5.1.4 Sistema Emocional

Os primeiros modelos de arquitetura para agentes computacionais emocionais são de Ortony, Clore, & Collins (1988), e seus seguidores. Tais modelos, porém tinham um intuito muito mais de modelar sinteticamente estados emocionais identificados no ser humano, do que retratar o significado da existência de emoções em um agente. Outras propostas de arquitetura de agente que integram razão e emoção foram apresentadas por Velásquez (1997) e Cañamero (1997), e serviram-nos como inspiração maior. Velásquez propõe uma arquitetura genérica para a incorporação de emoções em um agente cognitivo, enquanto Cañamero sugere um modelo de emoções hormonais, que afetariam as decisões racionais do agente. No nosso modelo, o sistema emocional (que está integrado a um sistema cognitivo) é composto por 3 subsistemas: emocional, avaliativo e reativo (ilustrados na figura 5.4).

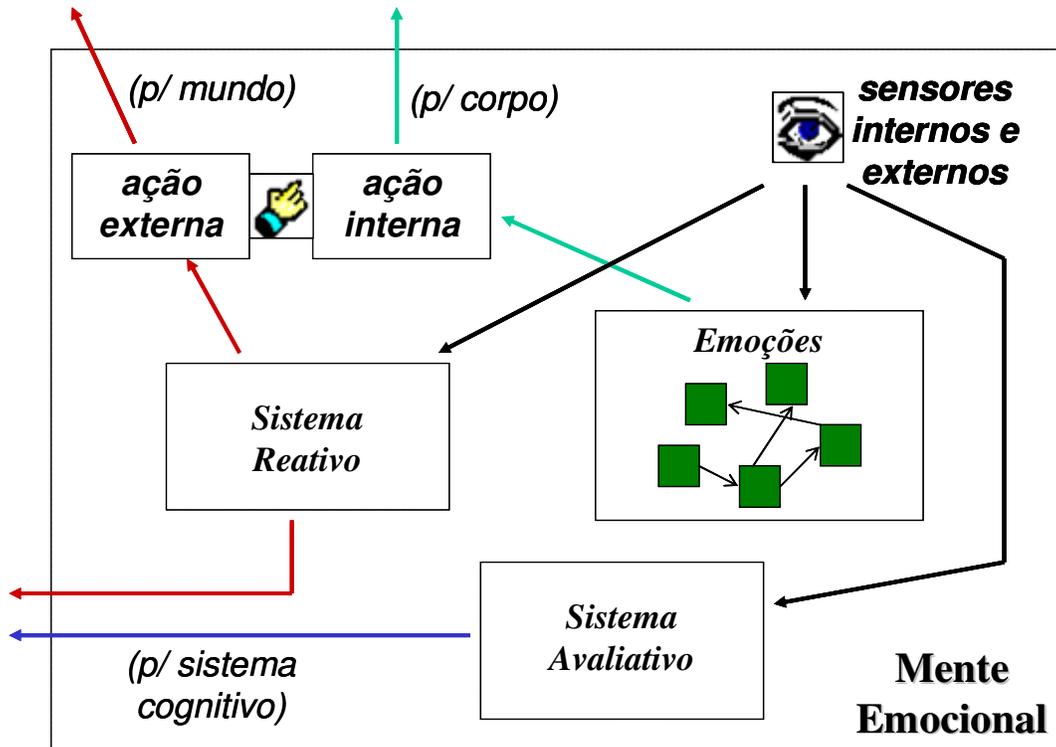


Figura 5.4: Estrutura Interna do Sistema Emocional

O *subsistema emocional* é composto por uma rede de *emoções*, onde cada emoção é sensível a determinadas percepções do agente (sejam elas externas, provenientes do meio, ou internas, provenientes do próprio corpo ou mesmo da própria mente, cognitiva ou emocional - uma emoção pode ser parâmetro de entrada para outras emoções). Assim, cada emoção é ativada a partir da detecção de determinados contextos. A ativação de uma emoção leva à realização de alterações corporais, que são representadas por um conjunto de *efeitos internos*, já mencionados. As emoções do sistema emocional equivalem às emoções básicas do ser humano.

O *subsistema avaliativo* é composto por um conjunto de *gatilhos avaliativos*. Esses gatilhos avaliativos são descritos da forma {condição, valor}. A condição é a verificação de um determinado contexto, seja ele ambiental, corporal ou mental, e o valor é uma nota emocional, entre  $-1$  e  $+1$ , que será acrescida a um somatório que representará, em cada instante, a *sensação geral* do agente. As sensações são agradáveis quando positivas e desagradáveis quando negativas. Essa sensação geral é utilizada pelo sistema cognitivo como parâmetro de opção entre ações alternativas, a fim de levar o agente a situações mais confortáveis.

Quanto à idéia de que as emoções influenciam no comportamento externo, privilegiando determinadas condutas em detrimento de outras, isso se realiza através de elementos metabólicos. Ação externa, emoção e gatilhos avaliativos expressam-se através das propriedades internas. É possível construir um sistema onde um tipo de emoção potencialize a avaliação de certas ações externas.

Finalmente, o *subsistema reativo* implementa os impulsos inatos do agente, também ativados a partir da detecção de certos contextos. Estes *impulsos* têm como consequência o desencadeamento de comportamentos externos. Os impulsos não determinam a ação externa que o agente irá realizar, mas servem de parâmetro para o sistema cognitivo, que, na ausência de outras referências, pode decidir a ação com base no impulso.

### 5.1.5 Sistema Cognitivo

O Sistema Cognitivo é a parte da mente responsável por tornar inteligíveis as experiências do agente no mundo, organizando a experiência do agente em um sistema de conhecimento. É aqui que está fundamentalmente a aplicação da Teoria Psicológica de Jean Piaget, justificando o nome de “construtivista” do nosso modelo de agente.

Nosso Agente Construtivista representa seu conhecimento através de um conjunto estruturas cognitivas chamadas de *Esquemas*. O Sistema Cognitivo possui uma população de esquemas, sendo que, para cada situação em que se encontrar, e dependendo de sua vontade de alterar essa situação, o agente selecionará e ativará um desses esquemas. Assim, um esquema pode ser entendido como a unidade elementar do sistema.

O conjunto de esquemas do agente pode ser inicialmente vazio, pois o mecanismo é apto para construir todo o seu conhecimento através da interação com o meio, durante a própria atividade, não necessitando de pré-programação.

Um esquema é composto por uma trinca {*Contexto*, *Ação*, *Expectativa*}. O *Contexto* é a representação das situações que o esquema é capaz de assimilar. A *Ação* representa a própria ação que o agente vai realizar no ambiente se o esquema for ativado. A *Expectativa* representa o resultado esperado após a aplicação da ação. Um esquema está representado na figura 5.5.

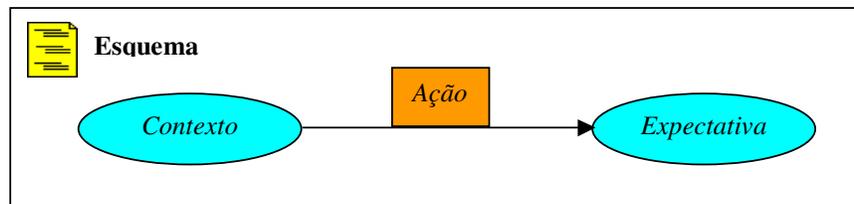


Figura 5.5: Estrutura de um Esquema

A trinca {*Contexto*, *Ação*, *Expectativa*} é constituída por vetores de elementos, que podem assumir três valores: ‘*Verdadeiro*’, ‘*Falso*’ ou ‘*Não Importa*’ (representados, respectivamente, por ‘1’, ‘0’ e ‘#’). Um valor verdadeiro indica a presença de um elemento, o valor falso indica ausência, e o terceiro valor serve para fazer uma generalização do elemento no esquema, não importando se está presente ou ausente. Por exemplo, um esquema que possui o vetor de *Contexto* = (0,1,#) está apto a assimilar as situações (0,1,0) e (0,1,1).

Definimos, então, o conceito de *Compatibilidade*. Existe compatibilidade entre um esquema e uma determinada situação quando o vetor de *Contexto* do esquema tem todos os elementos ‘verdadeiros’ ou ‘falsos’ iguais aos do vetor da *Percepção* do agente. Note-se que a compatibilidade não compara os elementos ‘*não importa*’.

A situação em que o agente se encontra a cada momento (contexto percebido através dos sensores) é comparada com o *Contexto* do esquema, e este vai ser excitado se houver compatibilidade. Quando um esquema excitado é ativado, o sistema cognitivo faz com que ele execute sua *Ação* (através dos atuadores do agente). A regulação acontece porque o mecanismo cognitivo verifica se o resultado (contexto percebido no instante seguinte à aplicação da *Ação*) é condizente com a *Expectativa* do esquema, onde a diferença serve como parâmetro para ajuste e avaliação do próprio esquema. A figura 5.6 mostra essa relação.

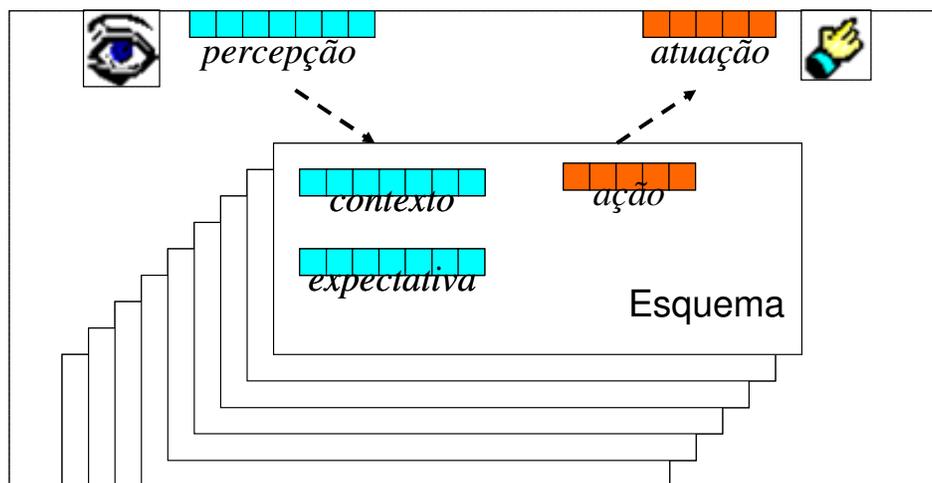


Figura 5.6: Relação Percepção-Contexto e Ação-Atuação

A cada instante, o sistema cognitivo do agente verifica o *Contexto* de todos os esquemas, excitando aqueles que forem plenamente compatíveis com a situação percebida através dos sensores (um exemplo pode ser visto na figura 5.7). Essa excitação de esquemas é comparável ao processo de “assimilação” descrito por Piaget. O mecanismo consulta, então, o sistema emocional, que escolherá entre os esquemas excitados aquele que será ativado.

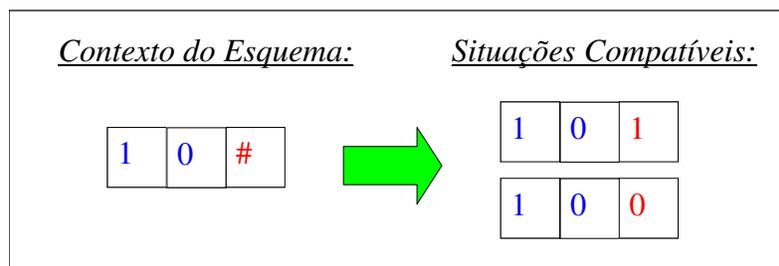


Figura 5.7: Exemplo de Compatibilidade

Existe uma estrutura hierárquica que organiza o conjunto de esquemas, formando um conjunto de árvores. Existe uma árvore para cada possibilidade de ação do agente, e essas árvores tem, no mínimo, um nó raiz, que é o esquema inicial da árvore. A árvore organiza os esquemas numa hierarquia de generalização e especialização de contextos. Por isso, esse esquema inicial de cada árvore tem o vetor de contexto completamente genérico (todos os elementos em “don’t care”), e o vetor de ação equivalente à ação do agente representada por aquela árvore. Os esquemas que ficam na raiz da árvore são chamados de esquemas “raiz”. Os esquemas raiz, com o desenvolvimento do conhecimento do agente, podem ser diferenciados, e então ganharem ramos de esquemas mais especializados. O final de cada ramo possui sempre dois tipos de esquemas especiais: o esquema “decisor”, que é o penúltimo nó de um ramo, e seus esquemas “folha”, que são os últimos nós do ramo.

Os esquemas “folha” são esquemas diferentes dos outros, porque eles servem para guardar os casos específicos para os quais o esquema decisor (pai dessa folhas na árvore) já foi usado. As folhas guardam os casos experimentais que justificam a informação representada no esquema decisor. Assim, os esquemas folha sempre tem seus vetores de contexto totalmente definidos (sem elementos “don’t care”), pois eles representam situações pontuais e específicas.

Os esquemas decisores têm esse nome, porque, o mecanismo de assimilação desconsidera as folhas da árvore na hora de escolher os esquemas a serem excitados em cada instante. É assim porque os esquemas folha são apenas listas de casos específicos, que têm uma representação geral nos esquemas decisores. Os decisores representam o conhecimento atual da árvore, com as diferenciações (subdivisões do domínio) acreditadas necessárias até o instante pelo agente. Assim, é sempre um esquema decisor que será ativado.

Como as diferenciações de esquemas sempre repartem todo o domínio, existirá sempre apenas um decisor excitado em cada árvore. Uma mesma situação não pode ser compatível com dois esquemas decisores da mesma árvore, pois se isso acontecesse, eles não estariam diferenciados.

Em última instância, para escolher a ação, o sistema cognitivo só precisa olhar para os nós decisores de cada árvore. Os demais esquemas precisam ser guardados e devem permanecer relacionados com os decisores, pois eles fornecem informações para o processo de aprendizagem. Os nós intermediários (mais próximos da raiz do que os nós decisores) mostram como os esquemas foram diferenciados, para o caso de ser necessário reintegrá-los. Os nós folha guardam os casos realizados na prática pelo decisor, para o caso de ser necessário diferenciá-lo. A figura 5.8 representa essa estrutura hierárquica dos esquemas.

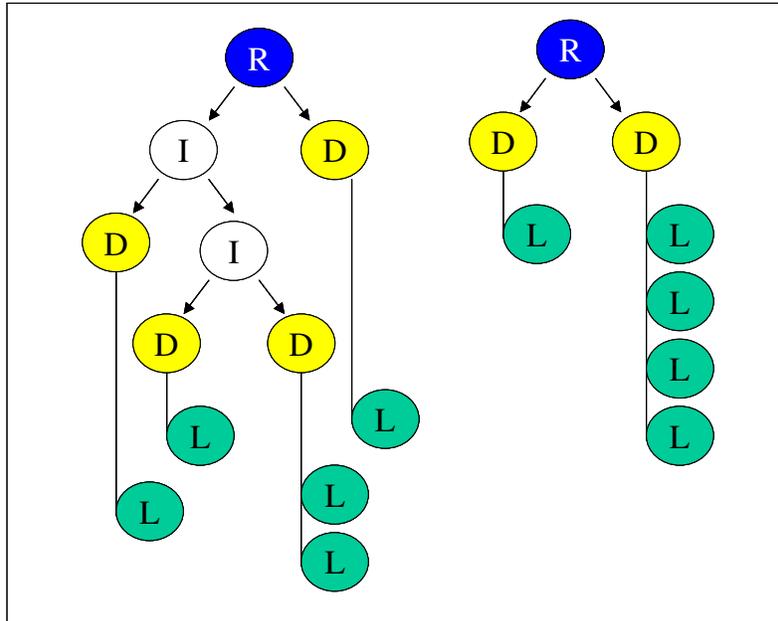


Figura 5.8: Hierarquia de Esquemas (os esquemas assinalados com “R” são a raiz de cada árvore; “D” são os esquemas decisores; “L” as folhas; “I” são apenas esquemas intermediários).

Sempre após uma ativação, o esquema é reavaliado. Sua *Avaliação* mede a capacidade de previsão do esquema. Um esquema tem uma boa capacidade de previsão se suas expectativas são plenamente correspondidas após a execução de sua ação, podendo ser então chamado de ‘esquema adequado’. A avaliação se dá pela análise da compatibilidade entre o vetor de *Expectativa* do esquema aplicado no instante anterior, e o vetor da *Percepção* atual do agente. Quando o resultado é compatível com a expectativa, então a avaliação é incrementada positivamente (a partir da média entre sua avaliação anterior combinada com o valor 1). Quando ocorre um fracasso, a avaliação do esquema volta para o valor inicial (padrão é 0.5). Como esta avaliação é histórica, acumulando-se durante as várias aplicações do esquema, interpreta-se que quando tende para o valor máximo (1), então significa que o esquema atingiu sua real capacidade de previsão.

Quando a expectativa falha, o esquema mostra-se inadequado, então mecanismos de aprendizagem são ativados, a fim de restituir o equilíbrio cognitivo do sistema através de alguma modificação no esquema, ou no conjunto de esquemas. Esses mecanismos tentam preservar o conhecimento já construído pelo agente, porém corrigindo-o pela nova experiência, geradora de desequilíbrio. Essa modificação deve ser vista como uma superação, na medida em que preserva o antigo conhecimento e ao mesmo tempo incorpora o novo. Esse processo é análogo ao que Piaget descreve como “acomodação”.

### 5.1.6 Mecanismos de Aprendizagem

A aprendizagem do nosso agente construtivista se dá através do aprimoramento do conjunto de esquemas, no sentido de torná-lo mais adaptado ao seu ambiente por aumentar sua capacidade de previsão das conseqüências de suas ações. Essa aprendizagem ocorre através de três métodos básicos, chamados *Diferenciação*, *Integração* e *Generalização de Expectativa*.

Inicialmente, o sistema cognitivo possui um esquema para cada combinação de ações motoras possíveis. Estes esquemas iniciais possuem um vetor de contexto completamente genérico (tendo todos os seus elementos marcados com #, e, portanto, sendo compatíveis com qualquer contexto) o que lhes torna capazes de assimilar todas as situações. Já o vetor de expectativa vai sendo definido conforme se definem as expectativas de suas folhas.

Os esquemas iniciais são completamente genéricos em seus contextos, o que lhes dá a capacidade máxima de assimilação, e ao mesmo tempo, possuem uma expectativa completamente específica, que, se corroborada pela experiência, é a capacidade máxima de previsão de resultado das ações.

Evidentemente, estes esquemas iniciais muito provavelmente não serão capazes de dar conta da realidade dos fenômenos experimentados pelo agente. O mecanismo cognitivo precisa então, a partir dos desequilíbrios impostos pela experiência, transformar esses esquemas iniciais, seja por diferenciá-los (especializando mais os contextos, e, portanto, dividindo os domínios de assimilação entre mais esquemas), seja por generalizar suas expectativas. Esse processo, entretanto, deve conseguir preservar a maior generalidade possível para os contextos dos esquemas, e ao mesmo tempo preservar a precisão das expectativas, ajustando-as apenas nos momentos criticamente necessários.

Tal método se justifica porque em ambientes mais complexos o número de sensações percebidas pelo agente é muito grande, e, geralmente, dessas, apenas umas poucas são relevantes no contexto de um esquema. Da mesma forma, uma ação feita pelo agente geralmente modificará apenas alguns poucos aspectos do ambiente.

Os esquemas folha são construídos ainda no ciclo de assimilação. Ocorre quando o agente depara-se com uma situação específica nova, para a qual não possuía esquemas folha correspondentes nas árvores. Nesse momento, o sistema cognitivo simplesmente adiciona novos esquemas folha nos ramos corretos de cada uma das árvores, como filhos de cada esquema decisor que estiver excitado em cada uma delas.

Todos os esquemas folha começam com o vetor de expectativa num estado especial, que chamaremos estado indefinido (todos os elementos do vetor recebem a marca '?'). Este estado se desfaz com a primeira ativação do esquema, quando então ele tem seu vetor de expectativa preenchido com o exato contexto encontrado após a aplicação da ação. A expectativa é criada diretamente a partir da situação vivenciada, e é equivalente ao resultado diretamente observado.

Os esquemas decisores também começam com as expectativas indefinidas. Estas são preenchidas juntamente como o primeiro preenchimento de expectativas de alguma de suas folhas. A figura 5.9 mostra o estado de um esquema raiz inicial.

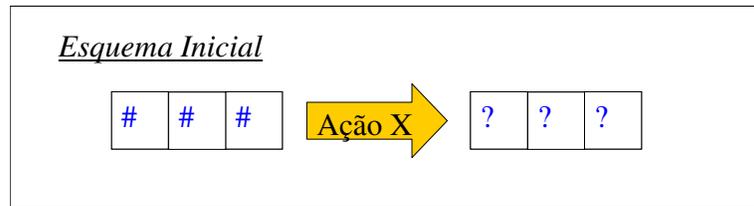


Figura 5.9: Um Esquema Inicial: expectativa indefinida, e contexto genérico.

A *Generalização de Expectativas* modifica um esquema folha existente a fim de adequar suas expectativas a um novo resultado, ocorrido na exata e indiferenciável situação que está representada no vetor de contexto. Funciona como um tipo de acomodação, uma vez que o esquema se ajusta de acordo com a sua última aplicação. O método simplesmente compara a expectativa do esquema e a percepção do agente após a aplicação do esquema e altera os elementos não compatíveis entre eles para o valor indefinido '#'. Como os esquemas folha sempre começam seu processo de desenvolvimento com as expectativas totalmente determinadas e iguais ao resultado de sua primeira aplicação, o caminho percorrido pelo esquema é de uma redução de expectativas, até que atinja um estado onde só restem definidos aqueles elementos que representam realmente resultados regulares da ação feita naquele contexto. A figura 5.10 mostra um caso de generalização de expectativas de um esquema folha.

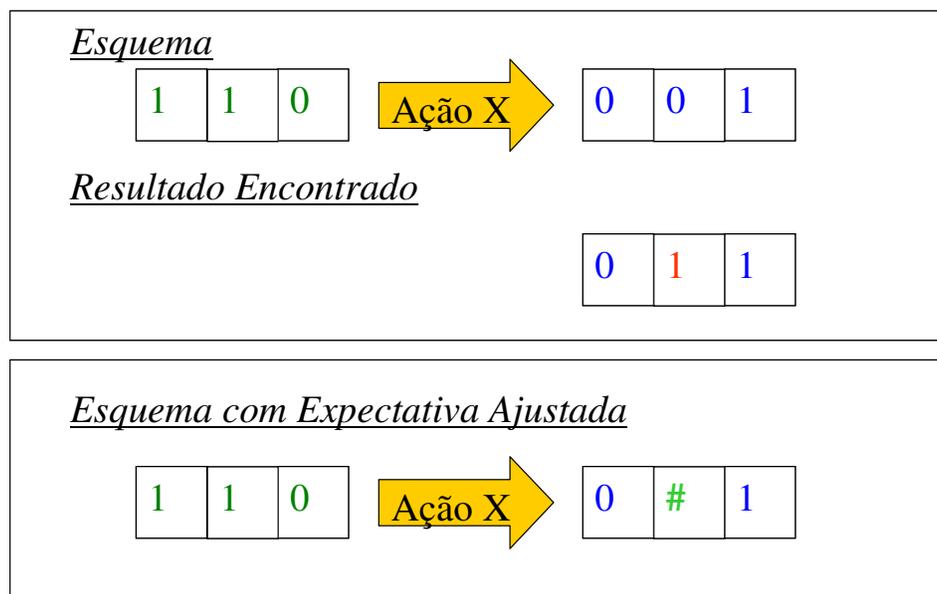


Figura 5.10: Generalização de Expectativas

A *Diferenciação* é o primeiro mecanismo de reequilíbrio cognitiva que modifica a estrutura do conjunto de esquemas, acrescentando novos esquemas a fim de poder tratar o novo caso desequilibrador, mas sem perder o conhecimento já estabelecido para as situações já experimentadas. No caso de uma incoerência entre resultado e expectativa, a diferenciação tenta reestabelecer uma certeza dividindo o domínio. A idéia é que, quando ocorre o insucesso de um esquema para um caso que estava sendo considerado como integrante de um conjunto de casos descritos por um contexto genérico, se diferencia esse caso dos demais, em um novo esquema, preservando o conhecimento que já funcionava para os outros casos. A diferenciação transfere a decisão para um nível mais especializado da árvore, por isso agrega novos filhos ao esquema decisor, transformando-o em não decisor, e ativando este atributo nestes novos esquemas.

A diferenciação é disparada num esquema decisor quando, após a ativação, um de seus esquemas folha tem sua expectativa alterada, seja porque era uma folha em criação, e teve sua expectativa definida com valor diferente das outras folhas, seja porque a folha teve a expectativa generalizada e tornou-se diferente se suas irmãs. As folhas são redistribuídas entre os novos decisores. A figura 5.11 mostra um exemplo de processo de diferenciação, e a figura 5.12 permite visualizar o processo de diferenciação na árvore de esquemas.



Figura 5.11: Exemplo de caso de Diferenciação

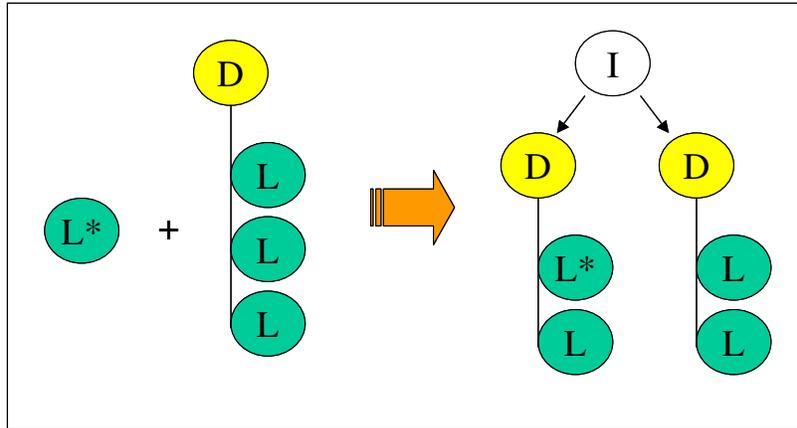


Figura 5.12: Mudança na estrutura do conjunto de esquemas, causada pela Diferenciação

Durante o processo de desenvolvimento cognitivo, pode acontecer que esquemas anteriormente diferenciados mostrem-se compatíveis novamente. Quando o agente percebe que dois decisores irmãos (que tratam de contextos diferentes) voltaram a ter expectativas idênticas, entra em ação o algoritmo de *Integração*. Assim, o procedimento só é executado se num determinado nível de uma das árvores de esquemas todos os irmãos são decisores, e se todos possuem os vetores de expectativa completamente compatíveis.

A integração é o processo inverso da diferenciação. Ela elimina uma especialização de decisores, e leva a decisão para um nível mais geral da árvore de esquemas, reagrupando as folhas que haviam sido divididas. A integração de decisores irmãos é consequência da anulação de uma diferenciação implementada no nível imediatamente superior da árvore (no esquema pai). Pode acontecer também o caso de que uma diferenciação ocorrida em níveis mais superiores da árvore perca o sentido, e possa ser eliminada. Nesse caso a integração é um pouco diferente, pois não se integra diretamente um conjunto de decisores irmãos, mas sim, se integram diretamente seus pais, e indiretamente os primos correlatos. A figura 5.13 ilustra um caso de integração. As figuras 5.14 e 5.15 mostram, respectivamente, o que ocorre na árvore de esquemas através dos processos de integração entre irmãos, e de integração entre primos.

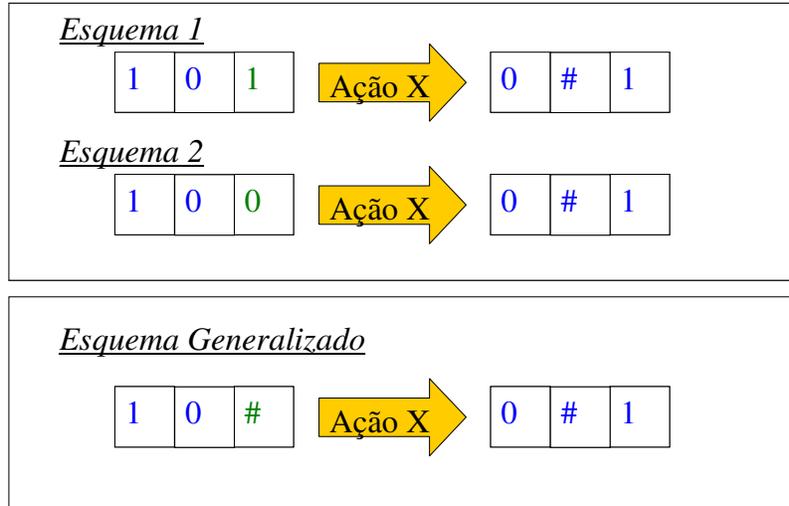


Figura 5.13: Exemplo de caso de Integração

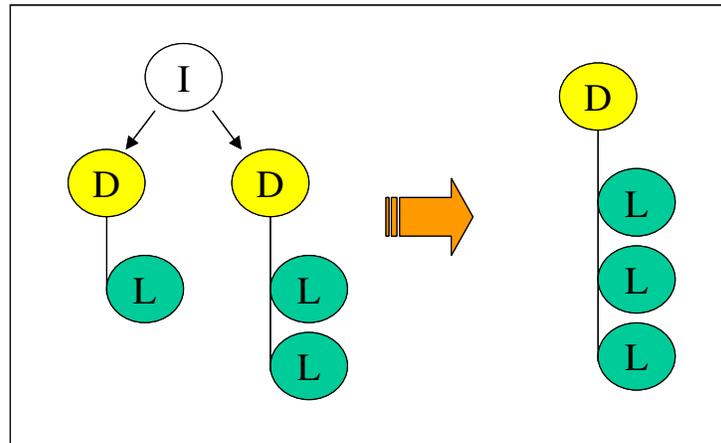


Figura 5.14: Mudança na estrutura do conjunto de esquemas, causada pela Integração entre irmãos

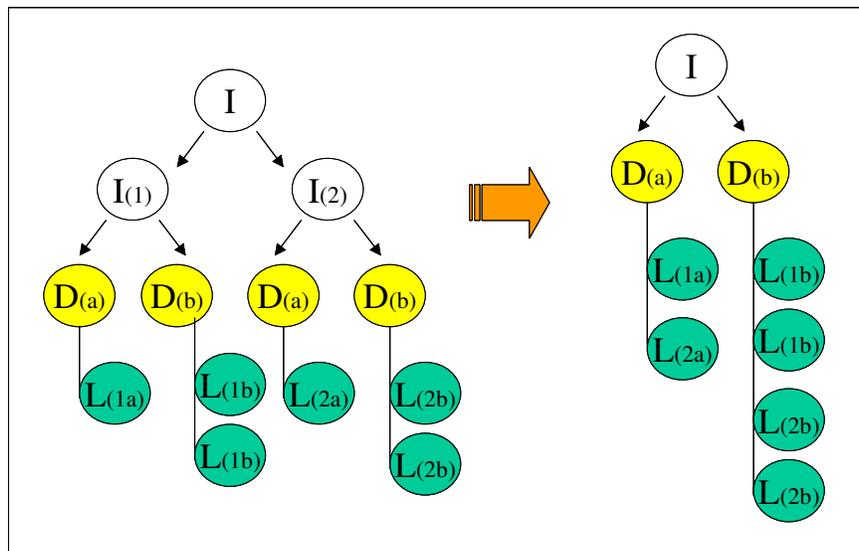


Figura 5.15: Mudança na estrutura do conjunto de esquemas, causada pela Integração entre primos

O problema que o conjunto de algoritmos aqui propostos resolve pode ser enunciado da seguinte maneira: O ambiente possui determinadas regularidades que podem ser verificadas por um agente durante a interação. Considerando-se que estas regularidades são estáveis (constantes durante todo o tempo da simulação), então o agente construtivista inserido neste ambiente é capaz de construir um conjunto de esquemas que melhoram sua interação com este ambiente. A solução do problema se dá através da coadunação dos métodos de aprendizagem descritos anteriormente nesse capítulo.

Se considerarmos *contexto*, *ação* e *expectativa* como um triplo espaço de busca, então a solução do problema significa, para o agente construtivista, encontrar um conjunto de esquemas nesse espaço de busca, que formem um conhecimento útil para levá-lo a estados afetivos mais agradáveis. Assim, espera-se que após um tempo finito, cada esquema do conjunto de esquemas que o agente construiu represente uma correlação interessante entre *contexto*, *ação* e *expectativa* no ambiente dado, considerando-se objetivos dados ao agente, que, conseqüentemente, lhe proporcionarão um comportamento inteligente e coerente. Os três espaços de busca juntos podem representar todos os esquemas possíveis através da combinação de seus elementos.

Um esquema não representa apenas pontos correlativos em cada um dos três espaços de busca, mas sim conjuntos de pontos. Isto acontece porque nem todos os elementos dos vetores do esquema precisam ser determinados (eles podem assumir o estado '*não importa*'), o que permite a construção de esquemas mais gerais, que não se aplicam a somente uma situação específica, mas a um conjunto de situações análogas. Por exemplo, quando o agente cria o esquema '*abrir porta*' (imaginando-se que o ambiente é formado por portas coloridas que abrem e fecham), pode desconsiderar a variável '*cor da porta*'. Assim, o conjunto envolvido no contexto desse esquema é o de todas as portas, independente de sua cor.

O modelo de agente enunciado até aqui tem um caráter reativo: embora aprenda com a experiência, não possui temporalidade (não leva em consideração o passado através de algum tipo de memória histórica, e não planeja o futuro), limitando-se, assim, a compreender apenas relações instantâneas; também não possui capacidade simbólica nem abstração, ou seja, não é capaz de formular conceitos além do nível perceptivo, sensorio-motor.

É interessante que o agente consiga descrever todas as regularidades que percebe na sua interação com o ambiente através do menor número de esquemas decisores possível. Existe assim um compromisso entre especialização e generalização. É preciso especializar o contexto dos esquemas para que separem e descrevam corretamente os domínios dos fenômenos identificados, porém mantendo a maior generalidade possível dentro desse limite. Ocorre também um compromisso semelhante no caso das expectativas desses esquemas. É interessante que a expectativa seja a mais específica possível, pois assim descreverá com mais precisão o resultado de uma ação, mas ela deve ser generalizada sempre que o estado de um elemento não seja consequência direta da ação. Como vimos, os primeiros decisores (que são as raízes) nascem com o vetor de contexto completamente generalizado, e o vetor de expectativa (uma vez definida a primeira folha) completamente específico. O desenvolvimento de cada esquema segue, assim, o caminho rumo a um limiar de equilíbrio entre generalização e especialização, por um lado generalizando as expectativas, e por outro, especializando os contextos dos esquemas decisores. A figura 5.16 permite visualizar essa relação.

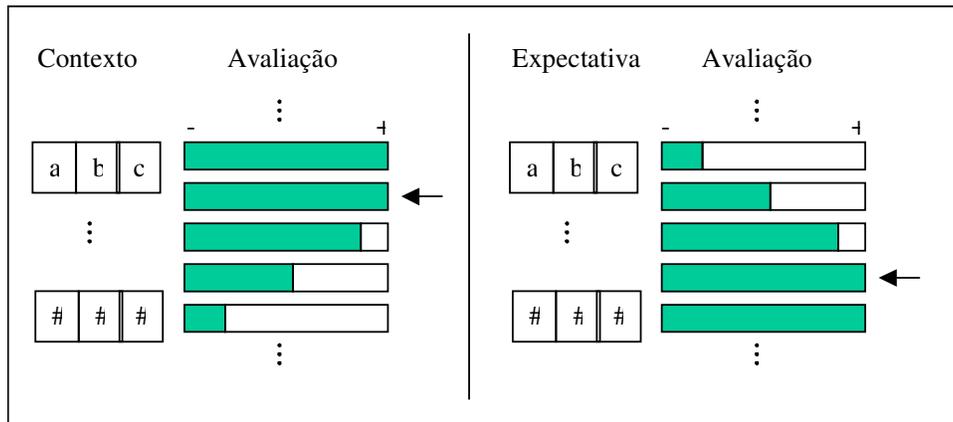


Figura 5.16: Relação ótima entre generalidade e especificidade para Contexto e Expectativa

## 5.2 Implementação

Para corroborar nossas afirmações a respeito das potencialidades da arquitetura de agente inteligente descrita nos capítulos anteriores, foi feita uma implementação do modelo no computador. Todo o software foi desenvolvido na linguagem Delphi 7.0, utilizando-se orientação a objetos.

Note-se que todas as classes principais estão implementadas em duas partes: uma classe “Type” e uma classe “Instance”. Assim, o próprio ambiente de simulação utilizou-se de uma estrutura inspirada no paradigma de orientação a objetos. Dessa forma, universos, objetos, organismos, agentes e seus componentes têm suas propriedades principais (poderíamos dizer *propriedades estruturais*) declaradas numa classe “Type” que pode ser instanciada várias vezes, onde cada instância guarda as propriedades instantâneas da simulação (*propriedades conjunturais*).

Não estão descritas nesse capítulo todas as classes implementadas, e das que estão descritas, apenas foram explicitados aqueles métodos considerados mais relevantes para a compreensão e validação do modelo.

A implementação de classes independentes para *objetos*, *corpos*, e *mentes* (distinguindo, na simulação, o tratamento de acontecimentos físicos, biológicos e cognitivos) possui a vantagem de permitir que o simulador possa utilizar diversos modelos de inteligência artificial funcionando num mesmo ambiente e num mesmo organismo, e também o inverso, utilizar os algoritmos e classes que fazem operar *a mente* do nosso agente construtivista em outros ambientes, em outros simuladores, ou mesmo em robôs reais, bastando, para isso, que os parâmetros de entrada e saída sejam adequados ao padrão que estabelecemos.

### 5.2.1 Universo, Objetos, Eventos e Fenômenos

O *universo* é a classe que comporta todos os outros elementos da simulação. Na nossa implementação, o universo é uma grade bidimensional de células, onde ficam localizados objetos. Esses objetos manifestam-se perceptivamente em planos perceptivo-sensoriais que são definidos na classe “TUniverseType”, pela propriedade “Planes”. Os planos permitem representar diferentes formas de manifestação dos objetos (por exemplo, manifestação luminosa, manifestação sonora, manifestação concreta...).

Os objetos são, portanto, aquilo que ocupa o universo. Em “TUniverseType” estão definidas uma lista de *tipos de objetos*, uma de *tipos de organismos* e outra de *tipos de agentes*. Os *agentes* sempre se referem a *organismos* (pois são “organismos mentalizados”), e por sua vez, os *organismos* sempre se referem a objetos (são “objetos corporizados”). São instâncias desses tipos de objetos que ocupam as células do espaço no universo instanciado. “TUniverseType” ainda define os fenômenos naturais do universo, na propriedade Phenomens, que descrevem as conseqüências dos eventos desencadeados pelos objetos.

As instâncias dos objetos, organismos e agentes ficam em “TUniverseInstance”, classe que representa uma instância do tipo de universo, relacionado pela variável “UniverseType”. Nessa classe encontra-se a propriedade “Space”, que é o mapa da disposição dos objetos no universo num instante, e também um contador para o número de turnos já passados, chamado “TotalTurns”. Assim, de certa forma existe na instância do universo um mapeamento de tempo, espaço e regras de causalidade.

```
TUniverseType = class
```

```

Name : string;
Planes : TList;           //Lista de Planos Perceptivo-Sensoriais
ObjectTypes : TList;     //Lista de Tipos de Objetos
OrganismTypes : TList;   //Lista de Tipos de Organismos
AgentTypes : TList;      //Lista de Tipos de Agentes
Phenomens : TList;       //Lista de Fenômenos

```

```
TUniverseInstance = class
```

```

Name : string;
UniverseType : TuniverseType;
Space : TSpace;          //Mapa com a Posição dos Objetos
ObjectInstances : TList; //Lista com as Instâncias dos Objetos
TotalTurns : integer;    //Número de Turnos passados

```

```

Procedure Process; //Passa o Turno, Chamando os Process dos Objetos
Procedure ShotEvent(ObjectInst; Event; OrganismInst);
Function PhenomenOcurrancy(Event; ObjectInst) : TList;

```

```
TSpace = class
```

```

NumAxisCells : integer;
Cells : array(X, Y) of TList; // Lista de Objetos em cada célula

```

“TuniverseInstance” implementa três métodos fundamentais, que fazem funcionar o sistema. O método “Process” é o que faz passar de um instante para o outro. Basicamente, este método chama o método “Process” de cada objeto (consequentemente, de cada organismo e de cada agente), que os leva, quando é o caso, a perceber e a agir. A ação dos objetos é transformada em eventos do universo.

Os eventos são descritos através de certas funções primitivas, que estão diretamente implementadas no simulador. As primitivas permitem a um objeto mover-se, mover outro objeto, girar, destruir-se, destruir outro objeto, criar outro objeto, ou emitir uma mensagem. A mensagem, citada na última primitiva, não trata-se de uma linguagem de comunicação entre os agentes. É apenas uma forma que possibilita a descrição genérica de outros tipos de eventos dos quais os objetos poderão se apropriar (por exemplo, o impacto entre dois objetos pode ser assim implementado como uma mensagem, a qual está internamente associada a conseqüências internas). Através dessa notação genérica de *objetos*, *eventos* e *fenômenos*, torna-se possível realizar a descrição de muitos *tipos de universo*.

```
TeventStyle = class
```

Primitivas:	Parâmetros:
Move	<source> <steps> <direction> <steps>
MoveSelf	<direction> <steps>
RotateLeft	-
RotateRight	-
Destruct	<destination> <steps>
DestructHere	-
Create	<destination> <steps> <elementtype>

CreateHere	<elementtype>
Send	<destination> <steps> <message-action>
SendHere	<message-action>

Tevent = class
Name : string; EventStyle : TEventStyle; Parameters : String;

Os fenômenos são descritos através de instâncias da classe “TPhenomenoum”, que modifica a lista de eventos que será processada pelo universo, quando determinadas condições são satisfeitas. Cada fenômeno possui uma lista de condições relacionada com os eventos programados a princípio para acontecer, que foram disparados pelos objetos. Quando as condições são satisfeitas, então o fenômeno altera a lista de eventos, de acordo como uma lista definida de conseqüências (que representam outros eventos a serem disparados).

Tphenomenon = class
Name : string; ConditionList: TList; ConsequenceList: TList;

TphenomenonConditionClause = class
ConditionType : TPhenomenonConditionType; ConditionValue : string;

TphenomenonConsequenceClause = class
ConsequenceType : TPhenomenonConsequenceType; ConsequenceEvent : TEvent;

O método “Process” da *instância do universo* chama o método “ShotEvent” para cada *evento* desencadeado por cada *objeto*. Esse método realiza as mudanças que os eventos implicam no ambiente. Eventualmente, certas combinações de eventos e objetos mudam o ambiente de forma inusual, e isso é descrito como um fenômeno. Assim antes de chamar qualquer “ShotEvent”, Process chama o método “PhenomenOcurrancy”, que verifica essas combinações de eventos e modifica a lista de eventos a ser executada caso haja a ocorrência de algum fenômeno.

Function PhenomenOcurrancy(EV : TEvent; Obj : TObjectInstance) : TList;
Var EvList : TList; p, c, e : integer; Ocurrancy : boolean; ValidConditions : boolean; PH : Tphenomenon;

```

Cond : TphenomenConditionClause;
Cons : TphenomenConsequenceClause;

Begin

  //Cria uma Lista de Eventos
  EvList := TList.Create;

  //passa por todos os fenômenos, verificando
  //se algum irá ocorrer na execução do Evento desencadeado
  Ocurrency := false;

  for p := 0 to UT.Phenomens.Count-1 do
    begin

      //para cada fenômeno
      PH := UT.Phenomens(p);

      //verifica a validade das condições
      ValidConditions := true;
      for c := 0 to PH.ConditionList.Count-1 do
        ...

      //se as condições são válidas, dispara os eventos
      //previstos pelo fenômeno
      if ValidConditions then
        begin
          Ocurrency := true;
          For e := 0 to PH.ConsequenceList.Count-1 do
            begin
              Cons := PH.ConsequenceList(e);
              EvList.Add(Cons.ConsequenceEvent);
            end;
          end;
        end; {next ph}

      //Se não houve fenômenos, mantém o evento original
      if not Ocurrency then
        EvList.Add(EV);

      result := EvList;

    end;
  end;

```

```

procedure ShotEvent
(OI : TObjectInstance; EV : TEvent; GI : TOrganismInstance);

```

```

var
  o : integer;
  OM : TObjectInstance;
  OT : TObjectType;
  PObjType : integer;
  NewO : TObjectInstance;
  pOrigin, pDestination : TLocate;

begin
  //Decodifica Parâmetros
  pOrigin := EV.OriginLocate(OI.Loc);
  pDestination := EV.DestinationLocate(OI.Loc);

  case EV.EventStyle of

    //Vira à Esquerda
    eRotateLeft:
      OI.Loc.Orient := OrientRotateLeft(OI.Loc.Orient);

    //Vira à Direita
    eRotateRight:
      OI.Loc.Orient := OrientRotateRight(OI.Loc.Orient);

    //Mover-se
    eMoveSelf:
      //Executa o Movimento
      Space.RemoveObject(OI.Loc.X, OI.Loc.Y, OI);
      OI.Loc.X := pDestination.X;
      OI.Loc.Y := pDestination.Y;
      Space.AddObject(OI.Loc.X, OI.Loc.Y, OI);

    eMove:
      ...

    eCreateHere:
      ...

    eCreate:
      ...

    eSendHere:
      //nada acontece a princípio,
      //a não ser por fenômenos, ou internamente)
      GI.ReceiveEvent(EV.Parameter1);

    eSend:
      ...

  end{case};

end;

```

Os objetos do universo são instâncias da classe “TObjectInstance”, que guarda sua posição no espaço, e uma referência ao seu tipo, que é uma instância da classe “TObjectType”. O tipo de objeto define como as instâncias são representadas no ambiente, ou seja, define através de que elemento o objeto será manifestado em cada plano perceptivo-sensorial. O tipo de objeto estipula também os eventos que podem ser desencadeados por suas instâncias no universo.

```
TObjectInstance = class
```

```
Name : string;
Loc : (X, Y, Orientation);
ObjectType : TObjectType;
```

```
TObjectType = class
Name : string;
RefElements : Array (0..NumPlanes-1) of Telement;
Events : List of TEvent; //eventos físicos que o objeto promove
```

## 5.2.2 Implementação dos Organismos

Os organismos também seguem a estrutura “Type” e “Instance”. “TOrganismType” possui uma referência a algum tipo de objeto, uma vez que a possibilidade de ação de um organismo é dependente da constituição física de seu corpo. Cada tipo de organismo possui, assim, uma lista de tipos de efetores externos, que estão relacionados a eventos que serão disparados pelos respectivos objetos constituidores desse organismo, possibilitando a modificação do ambiente como resultado da ação desse organismo. Há também uma lista de sensores externos, que define as capacidades perceptivas do agente no ambiente.

O que fundamentalmente distingue o organismo de um mero objeto é a presença de um ciclo interno de funcionamento. O tipo de organismo define, então, uma lista de propriedades internas e uma dinâmica de alteração do valor dessas propriedades no decorrer da existência de uma instância desse tipo de organismo durante a simulação. Essas regras de funcionamento podem ser entendidas como o metabolismo do organismo. O metabolismo pode estipular eventos cíclicos ou temporais para a alteração das propriedades (o que caracteriza uma dinâmica estritamente interna de funcionamento), mas também é possível definir regras para a alteração de propriedades internas em virtude de acontecimentos externos (o que caracterizaria o organismo como um sistema mais aberto), como eventos disparados por outros objetos e que incidem sobre o organismo. Além disso, o organismo pode implementar sensores e atuadores internos, que estão relacionados às propriedades internas do organismo, e não mais a elementos externos.<sup>8</sup>

Optamos, nessa implementação, por não criar uma classe especial para os agentes. Os próprios organismos possuem uma propriedade “Mind”, que pode estar vazia, (indicando que o organismo não é um agente da forma que definimos nesse capítulo), ou pode fazer referência a algum mecanismo mental, cognitivo ou reativo. O agente é então todo o organismo mentalizado.

<sup>8</sup> Poderia ser iniciada uma discussão conceitual sobre a presença de sensores e atuadores no organismo, uma vez que tais componentes só são utilizados pelo organismo quando ele é visto como agente. É a mente que recebe sinais de sensores e atuadores. Poderíamos ter optado por inserir ainda na classe dos organismos, a descrição de comportamentos reativos, que aí sim, utilizariam sensores e atuadores. Fica, no entanto, arbitrária essa decisão, pois revela justamente o limiar do que pode ser considerado ainda processo orgânico, e o que já é processo cognitivo. Parece-nos irremediavelmente uma fronteira difusa.

TorganismType = class
Name : string; OT : TobjectType; MindType : TMindType; PropertyType : Tlist; IntEffectors : Tlist; ExtEffectors : Tlist; IntPercepType : Tlist; ExtPercepType : Tlist; TimeSensibilityList : TList; //metabolismos disparados ciclicamente ExtEventSensibilityList : TList; //por eventos externos IntEventSensibilityList : TList; //por eventos internos ActEventSensibilityList : TList; //por consequência de ação
TorganismInstance = class
Name : string; GT : TorganismType; RefOI : integer; Mind : TMind; IntEffectorState : TSchVector; ExtEffectorState : TSchVector; IntPerceptState : TSchVector; ExtPerceptState : TSchVector; ProperState : TSchVector; MetabolicCycles : TList;
Procedure Process; Procedure ExecIntAction(IntActionType); Procedure ReceiveEvent(msg : string);
TMetabCycle = class
TS : TTimeSensibility; TimeCounter : integer; //contador do passo de um ciclo metabólico Enabled : boolean; //se o ciclo metabólico está ativo
TPropertyType = class
Name : string; NumStates : integer; DefaultValue : integer; Externalized : boolean;
TExtPerceptionType = class
Name : string; Reach : integer; Amplitude : integer; PercepStyle : TPercepStyle; Plane : TPlane;
TIntPerceptionType = class
Name : string; Prop : TPropertyType;
TExtEffector = class

```
Name : string;
ExtActionTypes : TList;
```

```
TIntEffector = class
```

```
Name : string;
IntActionTypes : TList;
```

```
TExtActionType = class
```

```
Name : string;
ImplicEvent : integer;
```

```
TIntActionType = class
```

```
Name : string;
ImplicProperty : integer;
ImplicOperation : TPropOperation;
ImplicValue : integer;
```

```
TTimeSensibility = class
```

```
Name : string;
ClickTimeStyle : TShotTimeStyle;
ClickEvent : integer;
Cycle : integer;
IntActionType : TIntActionType;
```

```
TExtEventSensibility = class
```

```
Name : string;
ReceivedMsg : string;
IntActionType : TIntActionType;
```

```
TintEventSensibility = class
```

```
Name : string;
ConditionType : TiesCondType;
Parameters : string;
IntActionType : TIntActionType;
```

```
TactEventSensibility = class
```

```
Name : string;
ExtActionTrig : TSchVector;
IntActionType : TIntActionType;
```

Assim, os dois principais métodos da instância do agente são o “ReceiveEvent” e o “Process”. “ReceiveEvent” é chamado pelo objeto que comporta o organismo quando ele recebe a mensagem de um evento que ocorreu no universo. Essa mensagem (que identifica o evento) é repassada ao organismo, que pode realizar uma reação interna ao evento dispara, provavelmente alterando propriedades internas, e pode ativar outros metabolismos.

O método “Process” é executado a cada turno, e também executa as reações internas a determinadas ocorrências, e ativa ou desativa a execução de outros metabolismos. Essas ocorrências podem ser ações que o organismo realizou no ambiente, e que têm conseqüências internas, podem ser determinados estados das propriedades internas, podem ser ações motivadas por efetores internos, ou podem ser mesmo a execução de metabolismos temporais, disparados anteriormente.

Depois de realizar a dinâmica interna, o organismo ajusta as percepções internas e externas, que são mandadas para a mente (quando o organismo é um agente), e atualiza o estado dos efetores externos, para que a ação seja realizada pelo objeto no ambiente.

### 5.2.3 Implementação das *Mentes Construtivistas*

A primeira estrutura que deve ser destacada, na implementação dos mecanismos construtivistas da inteligência que estamos propondo, é o esquema, implementado na classe “TScheme”. A condição do esquema dentro do conjunto de esquemas é dado pelas propriedades “Root”, “Decisor” e “Leaf”. Cada combinação de ação possível do agente tem um primeiro esquema relacionado, que é o esquema raiz (“Root”). Inicialmente, o esquema raiz é também um esquema decisor (“Decisor”), mas quando ocorrem diferenciações dessa raiz, são criados novos esquemas que tornam-se subordinados à ele na hierarquia de generalização-especialização. Cada “Root” é, na verdade, raiz de uma árvore de esquemas, onde só os esquemas decisores são considerados na escolha da ação. Eles são sempre o penúltimo esquema de cada ramo dessa árvore. O último ramo é o esquema folha (“Leaf”), que representa cada experiência específica que o “Decisor” já experimentou. As propriedades “SubordSchemes” e “ParentScheme” são justamente as referências para os esquemas superiores e inferiores da árvore. A propriedade “DifSonElement” indica por que elemento do vetor os filhos de um esquema estão diferenciados.

A propriedade “InCreation” indica que o esquema nunca foi experimentado na prática. Esquemas em criação são folhas novas, onde determinada ação nunca foi experimentada em um contexto específico, ou são decisores cujas folhas estão, todas, ainda nesse estado de criação. A propriedade “Fitness” representa a avaliação do esquema, no que diz respeito à confiabilidade de sua previsão. Esquemas usados com frequência, e que têm sucesso, possuem a avaliação máxima.

Por fim, cada esquema tem os 3 vetores fundamentais: “Percepts”, “Actions” e “Expects”. Representam, respectivamente, o contexto que excita o esquema, as ações que o esquema irá propor para o agente realizar se ativado, e as expectativas que tem, com relação ao resultado dessa ação. Os vetores são implementados pela classe “TSchVector”.

```
TScheme = class
```

```

Name : string;           //Nome do Esquema
Fitness : extended;     //Avaliação do Esquema
Age : integer;          //Idade do esquema
Activated : boolean;    //Se o esquema foi ativado no turno anterior
Excited : boolean;     //Se o esquema foi excitado
EmotionalEval : extended; //Avaliação emocional do esquema
InCreation : boolean;  //Se o esquema está em processo de criação
Excitations : integer; //vezes excitadas
Activations : integer; //vezes ativadas
Perceps : TSchVector;  //Observáveis do esquema
Expects : TSchVector;  //Resultados Esperados depois da aplicação
Actions : TSchVector;  //Ações Motoras a serem aplicadas
SubordSchemes : TList; //Lista de esquemas mais especializados
ParentScheme : TScheme; //Esquema imediatamente mais geral
Root : Boolean;        //se é um esquema raiz, sem pai
Decisor : Boolean;     //se é um, esquema decisor
Leaf : Boolean;        //se é um esquema folha (específico)
DifSonElement : integer; //index do elemento diferenciador dos filhos

```

```
TSchVector = class
```

```

NumElements : array of integer;
Value : array of integer;
    // 0 a n : representações de percepções
    // -1    : don't care

```

```
Function CalcCompatibility (V1, V2: TSchVector) : Extended;
```

A Função “CalcCompatibility”, definida na classe “TschVector”, calcula a compatibilidade entre dois vetores. Um elemento de um vetor é compatível com o do outro se tiverem valores iguais ou se qualquer um deles for “don't care” (compatível, portanto, com qualquer coisa). Quando todos os elementos de um vetor são compatíveis com os elementos correspondentes do outro vetor, então a compatibilidade entre os vetores é igual a 1. Este valor vai baixando proporcionalmente, até chegar a zero, caso em que nenhum elemento é compatível.

```
Function CalcCompatibility(Vector1, Vector2 : TSchVector) : extended;
```

```

Var
    Somat : Extended;
    i : integer;

begin
    Somat := 0;
    If Vector1.Size = Vector2.Size then
        Begin
            for i := 0 to Vector1.Size-1 do
                if (Vector1.DontCare(i)) or (Vector2.DontCare(i)) then
                    Somat := Somat + 1
                Else
                    if (Vector1.Value(i) = Vector2.Value(i)) then
                        Somat := Somat + 1;
                    Result := Somat / Vector1.Size;
                End
            Else
                Result := 0;
            end;

```

A mente também está implementada em duas partes: uma classe “TMindType”, que guarda as definições gerais do tipo da mente, e a classe “TMindInstance”, que guarda uma instância da mente de algum agente durante a simulação, com os estados do seu conhecimento.

“TMindType” possui propriedades que definem o tamanho das entradas e saídas mentais. As entradas (“DefaultPercepts”) são a concatenação das percepções internas e externas do organismo. As saídas (“DefaultActions”) são a concatenação das ações internas e externas do organismo. Optou-se por colocar a propriedade “CognitiveModel”, que diz que tipo de algoritmos a mente utiliza, para constituir sua inteligência. No nosso caso, só existe um modelo cognitivo implementado, que é o da arquitetura construtivista proposta, mas assim simulador dá abertura para serem testados outros modelos.

Ainda na definição do tipo da mente encontram-se a lista de gatilhos emocionais (“EmotionalTriggers”), que são parâmetro para a função avaliativa (sistema emocional) das situações vivenciadas pelo agente. Outro parâmetro necessário ao modelo é o desejo de conhecimento (“KnowledgeDesire”), que fornece para os algoritmos de decisão que ênfase deve ser dada na escolha da ação: ou se para buscar uma situação afetivamente agradável, ou se para seguir uma curiosidade e explorar uma situação pouco conhecida.

O parâmetro “LimCertainty” define o limiar de certeza de um esquema, ou seja, a avaliação mínima que ele precisa ter para ser considerado confiável (e sair do caso de despertar curiosidade para a exploração). O parâmetro InitialFitness define o valor inicial de avaliação de um esquema novo ou modificado.

```

TmindType = class
DefaultPercepts : TschVector; //Formato das Entradas Sensoriais (X)
DefaultActions : TschVector; //Formato das Saídas Motoras (Y)
CognitiveModel : TCogModel; //Modelo (Algoritmos de IA)
EmotionTriggers : TList; //Gatilhos Emocionais
KnowledgeDesire : extended; //Limiar de Curiosidade
LimCertainty : extended; //Limiar Certeza
InitialFitness : extended; //Avaliação inicial dos esquemas

```

A instância da mente, implementada pela classe “TMindInstance” possui uma referência a um tipo de mente, onde estão uma série de parâmetros que, como já visto, condicionam o desenvolvimento do conhecimento. A instância da mente possui um vetor de entrada e um vetor de saída, onde a cada instante são colocados, respectivamente, a percepção do agente e suas ações. A instância possui também a memória de um instante, que guarda a percepção no turno imediatamente anterior da simulação. Ela guarda também qual foi o esquema ativado no último turno (“Decisor” e “Leaf”). O conhecimento do agente é construído na forma de esquemas. O conjunto de esquemas que o agente possui fica na lista “Schemes”.

```

TMindInstance = class

```

```

MT : TMindType;          //Tipo de Mente
Percepts : TSchVector;  //Entradas Sensoriais
Actions : TSchVector;   //Saídas Motoras
LastPercepts : TschVector; //Entradas Sensoriais na última vez
Schemes : TList;        //População de Esquemas
WinnerLeaf : TScheme;   //index da folha ativado
WinnerDecisor : TScheme; //index do decisor ativado

Procedure Process;      //Procedimento do Turno: perceber, pensar, agir.

Procedure Accomodation;
function Assimilation : TScheme;

function FindWinner(ListSchemes) : TScheme; //Esquema a Ativar

procedure Differentiation(SchemeDec, SchemeLeafDeseq : TScheme);
procedure Integration(SchDecisorChanged : TScheme);
procedure ParentIntegration(SchDecisorChanged : TScheme);
procedure ExpectsGeneralization(Scheme); //Generalização de Expectat

CorrectParent(ChangedSch : TScheme);
function FindCompat(BaseContext) : TList;
function FindCompatDecisors(BaseContext) : TList;
procedure CreateRootSchemes;
function GeneralSensation(SchVector) : Extended; //Avaliação Emocional
function Roots : TList; //Retorna os Esquemas Raíz
function CompatDecisors(BaseContext) : TList;
function CompatDecisor(BaseContext; SRoot) : TScheme;
function CompatLeaf(BaseContext; SDecisor) : TScheme;
procedure SetActivation(Scheme : TScheme);
procedure SetExcitation(Scheme : TScheme);
procedure Neutralize;
function DecisorsSons(SchParent : TScheme) : boolean;
function DecisorsBrothers(Scheme : TScheme) : boolean;
function DecisorsCousins(Scheme : TScheme) : boolean;
function CoherentSons(SchParent : TScheme) : boolean;
function CoherentBrothers(Scheme : TScheme) : boolean;
function CoherentCousins(Scheme : TScheme) : boolean;
function CompatUnkles(Scheme : TScheme) : boolean;

```

A função `GeneralSensation` é chamada para calcular o valor emocional de um dado contexto, somando-se os valores dados por todos os gatilhos emocionais disparados. Retorna a sensação geral provocada pela expectativa de aplicação do esquema.

Como visto, é um sistema de emoções básicas, onde cada emoção básica recebe uma série de sinais e dependendo da configuração desses sinais ativa a emoção, que altera o estado emocional, o qual pode ser percebido pelo sistema cognitivo, seja através de alterações corporais, seja diretamente. O algoritmo, porém, só está implementando a avaliação. Inicialmente, a função verifica quais gatilhos emocionais a ativação do esquema despertaria (segundo a própria expectativa do esquema). Quando a expectativa do esquema é compatível com o contexto de um gatilho emocional, então agrega seu valor avaliativo a uma sensação geral.

```
function GeneralSensation(S : TSchVector) : Extended;
```

```

Var
  Sum : Extended;
  i : Integer;
  E : TEmotionTrigger;

begin
  Sum := 0;
  For i:= 0 to EmotionTriggers.Count-1 do
    begin
      E := EmotionTriggers(i);
      if CalcCompatibility(S, E.Context) = 1 then
        Sum := Sum + (E.EmotionalValue * Determination(S, E));
      End;
    Result := Sum;
  end;

  //Determination é inversamente proporcional ao número de "don't cares"

```

O método “Process”, implementado na classe “TMindInstance” é chamado a cada turno de simulação, e é o responsável por desencadear tanto a tomada de decisão quanto a aprendizagem. O método Process se encarrega de perceber o contexto em que o agente está situado, e então ativar um esquema para realizar alguma ação (trata-se da assimilação). Antes disso, porém, o método realiza a comparação entre o resultado obtido pela ação do turno anterior e a expectativa que o esquema então ativado possuía. Em caso de não correspondência, são disparadas as reequilibrações cognitivas devidas (processo de acomodação).

```

procedure TAssimMind.Process;

var
  i:integer;
  S : TScheme;

begin
  //ACOMODAÇÃO
  Accomodation;

  //Guarda lembrança do mundo antes da aplicação do esquema
  //(para que perceba a mudança no próximo turno)
  for i := 0 to Perceps.Size-1 do
    LastPerceps.Value(i) := Perceps.Value(i);

  //ASSIMILAÇÃO
  WinnerLeaf := Assimilation;
  WinnerDecisor := WinnerLeaf.ParentScheme;

  //Realiza a ação do esquema vencedor
  Actions := WinnerLeaf.Actions;

end;

```

A assimilação (“Assimilation”) pode ser vista como um procedimento de duas etapas. Num primeiro momento, o sistema encontra entre os esquemas da população aqueles que são compatíveis com o contexto experienciado. Estes esquemas são, então, excitados. Quando um determinado ramo das árvores de esquemas (considerando-se uma árvore para cada combinação de ações possível) não tinha esquemas compatíveis com o contexto, então um novo esquema é criado (seja ele “Leaf” ou “Decisor”), e colocado no estado “InCreation” (além de também ser excitado). Num segundo momento, o sistema escolhe, entre os esquemas excitados, aquele que será ativado e, portanto, terá sua ação executada. Essa seleção é feita pelo método “FindWinner”, que considera o parâmetro “KnowledgeDesire” para escolher entre esquemas mais positivos emocionalmente, ou entre esquemas ainda incertos, para que sejam experimentados. Quando todos os esquemas ultrapassam o limiar de certeza, não ocorre mais escolha por curiosidade.

```
Function TAssimMind.Assimilation : TScheme;

Var
  i : integer;
  L, D : TScheme;
  ExcitedListD : TList;

Begin

  //Desmarca Excitações e Ativações Anteriores
  Neutralize;

  //pega esquemas decisores ativáveis (excitados)
  // (ou cria-os, nos ramos onde não havia decisor compatível)
  ExcitedListD := CompatDecisors(Perceps, Schemes, Roots);

  //Pega as folhas correspondentes aos decisores excitados
  // (ou cria as folhas se não existirem)
  //Marcando a excitação desses Esquemas
  for i := 0 to ExcitedListD.Count-1 do
    begin
      D := ExcitedListD(i);
      L := CompatLeaf(Perceps, D);
      SetExcitation(L);
    end;

  //Encontra o vencedor e o torna ativado
  D := FindWinner(ExcitedListD);
  L := CompatLeaf(Perceps, D);
  SetActivation(L);
  Result := L;

end;
```

```
Function FindWinner(ListSchemes : TList) : TScheme;
```

```

Var
  ...
begin
  //Sorteia o critério (curiosidade ou avaliação emocional)
  //segundo parâmetro KnowledgeDesire
  if (Random < MT.KnowledgeDesire) then
    Criteria := ByKnowledgeDesire
  Else
    Criteria := ByEmotionalEval;

  //Calcula a probabilidade de escolha de cada esquema na roleta.
  //se o critério é emocional, tem mais peso os mais positivos.
  //se o critério é curiosidade, tem mais peso os mais incertos.
  for i := 0 to ListSchemes.Count-1 do
    ...
  //Faz uma "roleta" e sorteia um dos esquemas para ser ativado,
  // de acordo com as probabilidades definidas
  // (somat guarda a soma das probabilidades)
  Number := Random * Somat;
  S:= nil;
  for i := 0 to ListSchemes.Count-1 do
    begin
      if Number <= Probability(i) then
        begin
          S := ListSchemes(i);
          Break;
        end;
      end;
    end;

  Result := S;
end;

```

A acomodação, definida como o método “Accomodation”, coordena o processo de correção e reequilíbrio do conjunto de esquemas, tendo em vista algum insucesso na previsão de resultados da ação recentemente realizada. Quando o esquema folha estava em criação e é utilizado pela primeira vez, então a acomodação realiza o preenchimento de suas expectativas, de acordo diretamente com o resultado da ação realizada. Se o esquema folha não estava em criação, então a acomodação verifica se o resultado da ação foi completamente compatível com a expectativa do esquema folha, e generaliza essas expectativas em caso de insucesso. A mudança nas expectativas de um esquema folha (seja por terem sido preenchidas na seqüência do processo de criação, seja no caso de terem sido generalizadas após um insucesso) implica em modificações em todo o conjunto de esquemas do agente, a fim de que mantenha um conhecimento coerente e consistente com suas experiências. Assim, o primeiro passo consiste em diferenciar o esquema decisor, a fim de separar o caso da folha que teve suas expectativas alteradas, e está em desacordo com as outras folhas. A seguir, verifica-se se as mudanças não tornaram possível uma reintegração de esquemas decisores em outros níveis da árvore.

```

procedure Accomodation;

Var
  i:integer;
  InstantFitness : extended;

Begin

```

```

//SE o esquema folha usado estava em criação (primeiro uso),
if WinnerLeaf.InCreation then

  //SET-CREATION
  begin
    //Preenche Expectativa da Folha
    WinnerLeaf.Expects := Perceps;
    //Tira o Status de Criação da Folha
    WinnerLeaf.InCreation := false;
    //Calcula Valor Emocional da Folha
    WinnerLeaf.EmotionalEval :=
      MT.GeneralSensation(WinnerLeaf.Expects);
    //Corrige o Pai (Decisor) e os ramos superiores
    CorrectParent(WinnerLeaf);
    //Se a alteração de Expectativas tornou o
    // ramo incoerente, diferencia a árvore
    if not CoherentSons(WinnerDecisor) then
      begin
        //DIFERENCIAÇÃO
        // Divide a Árvore, se houver incoerências
        Differentiation(WinnerDecisor, WinnerLeaf);
        // Propaga mudanças para os pais
        CorrectParent(WinnerLeaf);
      end;
      //INTEGRAÇÃO
      // integra ramos da Árvore,
      //se havia separação desnecessária
      Integration(WinnerDecisor);
    end

  else

    //SE o esquema folha NÃO é novo
    begin

      //Verifica Êxito do Esquema na Aplicação
      // e faz sua Reavaliação
      InstantFitness := CalcCompatibility(WinnerLeaf.Expects,
                                          Perceps);

      //SE o esquema NÃO foi bem-sucedido,
      if InstantFitness < 1 then
        begin

          //REAVALIAÇÃO negativa do esquema:
          WinnerLeaf.Fitness := MT.InitialFitness;
          //GENERALIZAÇÃO DE EXPECTATIVA
          //Corrige a Expectativa,
          //adaptando-a à última aplicação do esquema
          ExpectsGeneralization(WinnerLeaf);
          //Faz a Reavaliação Emocional
          WinnerLeaf.EmotionalEval :=
            MT.GeneralSensation(WinnerLeaf.Expects);
          // Propaga mudanças para os pais
          CorrectParent(WinnerLeaf);
          //DIFERENCIAÇÃO
          // Divide a Árvore, se houver incoerências
          Differentiation(WinnerDecisor, WinnerLeaf);
          // Propaga mudanças para os pais
          CorrectParent(WinnerLeaf);
          //INTEGRAÇÃO
          Integration(WinnerDecisor);
        end

      //SE o esquema foi bem-sucedido

```

```

else
    //REAVALIAÇÃO positiva do esquema
    begin
        //Nova Avaliação = média entre a de agora
        //(última aplicação) e a avaliação até então
        WinnerLeaf.Fitness := (WinnerLeaf.Fitness + 1) / 2;
        CorrectParent(WinnerLeaf);
    end;
end;
end;

```

A generalização de expectativas (método “ExpectsGeneralization”) corrige as expectativas de um esquema de acordo com a diferença dos resultados de sua última aplicação, mudando os elementos que não foram correspondidos para “don't care”.

```

procedure ExpectsGeneralization(Scheme : TScheme);

Var
    i:integer;

begin
    for i := 0 to iMT.PercepSize-1 do
        if Scheme.Expects.Weight(i) then
            if Scheme.Expects.Value(i) <> Percepts.Value(i) then
                begin
                    //generaliza a Expectativa, colocando um don't care
                    Scheme.Expects.Weight(i) := false;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

A diferenciação transforma um esquema decisor em um esquema não decisor, construindo-lhe novos filhos decisores. Esses novos decisores são mais específicos porque definem mais um elemento em seu contexto. É preciso, assim, escolher um elemento diferenciador de contexto, e o algoritmo dará preferência para aqueles elementos correspondentes às diferenças de expectativa (estabelecendo a heurística de que, provavelmente, o estado do próprio elemento percebido é condição para entender-se o resultado da ação sobre aquele elemento).

```

procedure TAssimMind.Differentiation(SchemeDec, SchemeLeafDeseq :
TScheme);

```

```

Var
  i, j, N, M, E : integer;
  D, S : TScheme;
  CtxMask, ConsElement : TSchVector;
  NewA, NewC: TSchVector;
  PrefND, ND1, ND2, ND3 : integer;
  List, ListLeafs : TList;

begin
  //Verifica se é Necessário Diferenciar
  // (se tiver apenas um esquema filho, então não há contradição)
  if SchemeDec.SubordSchemes.Count >= 2 then
    begin
      //Faz uma representação generalizada dos contextos das folhas
      // (pois não é necessariamente igual ao contexto do decisor:
      // o contexto do decisor pode ser mais geral)
      S := SchemeDec.SubordSchemes(0);
      CtxMask := S.Perceps.CreateCopy;
      for j := 1 to SchemeDec.SubordSchemes.Count-1 do
        begin
          S := SchemeDec.SubordSchemes(j);
          for i := 0 to S.Perceps.Size-1 do
            if S.Perceps.Value(i) <> CtxMask.Value(i) then
              CtxMask.Value(i) := -1;
            end;

          //Analiza elementos para diferenciação
          ND1 := 0; ND2 := 0; ND3 := 0;
          ConsElement := SchemeDec.Perceps.CreateCopy;
          for i := 0 to SchemeDec.Expects.Size-1 do
            begin
              if not CtxMask.Weight(i) then
                // -1 em CtxMask é elemento possível para diferenciação
                begin
                  if SchemeDec.Expects.Weight(i) then
                    begin
                      if SchemeDec.Expects.Value(i) <>
                        SchemeLeafDeseq.Expects.Value(i) then
                        begin
                          //elementos diferentes na expectativa
                          // são fortes candidatos a diferenciador
                          ConsElement.Value(i) := 3;
                          ND3 := ND3 + 1;
                        end
                      else
                        begin
                          //elementos iguais na expectativa
                          // são candidatos fracos
                          ConsElement.Value(i) := 1;
                          ND1 := ND1 + 1;
                        end
                      end
                    end
                  else
                    begin
                      //elementos com expectativa incerta
                      // são candidatos médios
                      ConsElement.Value(i) := 2;
                      ND2 := ND3 + 1;
                    end
                  end;
                end
              end
            end
          else
            begin
              //elementos com contexto igual não
              // são candidatos possíveis
            end
          end;
        end
      end;
    end;
  end;
end;

```



```

//Seta o Elemento Diferenciador
SchemeDec.DifSonElement := E;

//Repete o processo recursivamente no
//ramo onde ficou o esquema novo
//(devendo ser diferenciado até chegar
//a ramos com expectativas coerentes)
if SchemeLeafDeseq.ParentScheme.SubordSchemes.Count
    > 1 then
    Differentiation(SchemeLeafDeseq.ParentScheme,
        SchemeLeafDeseq);
    end;
end;
end;

```

Um primeiro processo de integração é feito pelo método “Integration”, e ocorre quando algum decisor tem sua expectativa alterada, podendo ser que seja possível reintegrá-lo com seus irmãos. Esse processo só se aplica a decisores (nós superiores não decisores acabam integrados através da recursividade). O primeiro passo, então, é verificar quando um esquema decisor que acabou de ser modificado, tem todos os irmãos decisores. Se sim, verifica se esses irmãos têm todos exatamente as mesmas expectativas. Se isso se confirma, significa que a diferenciação entre eles, que outrora fazia sentido, agora não faz mais. O algoritmo, nessa condição transforma o pai desses decisores (que é mais geral) em decisor, e os exclui da lista de esquemas.

```

procedure TAssimMind.Integration(SchDecisorChanged : TScheme);

Var
    i : integer;
    SchParent, SchBrother, SchSub : TScheme;
    ListBrothers : TList;

Begin
    //Seleciona o Pai
    SchParent := SchDecisorChanged.ParentScheme;

    //Verifica se todos os irmãos são Decisores
    // - só é possível juntar decisores,
    // - do contrário pode acontecer de se
    // misturar folhas com esquemas superiores
    if DecisorsBrothers(SchDecisorChanged) then
    //Se todos os irmãos são decisores,
    // vê se é possível integrá-los
    begin
        //Verifica se a Expectativa desse Esquema é exatamente
        // igual a de todos os seus irmãos
        // - pois só é possível integrar decisores
        // cujas expectativas igualaram-se durante o desenvolvimento
        if CoherentBrothers(SchDecisorChanged) then
            //Se todos os irmãos tem a mesma expectativa, integra-os
            // - Passa os filhos de todos os irmãos para seu pai,
            // e elimina os irmãos (criando relação direta netos-avô)
            begin
                //Cria uma lista separada de Irmãos,

```

```

// tirando-os do seu pai (o avô) e da lista de eschemas
ListBrothers := TList.Create;
while SchParent.SubordSchemes.Count > 0 do
begin
    SchBrother := SchParent.SubordSchemes(0);
    ListBrothers.Add(SchBrother);
    SchParent.SubordSchemes.Delete(0);
    Schemes.Remove(SchBrother);
end;
//Coloca os netos sob a guarda do avô
for i := 0 to ListBrothers.Count-1 do
begin
    SchBrother := ListBrothers(i);
    while SchBrother.SubordSchemes.Count > 0 do
begin
    SchSub := SchBrother.SubordSchemes(0);
    SchParent.SubordSchemes.Add(SchSub);
    SchBrother.SubordSchemes.Delete(0);
    SchSub.ParentScheme := SchParent;
end;
end;
//Mata todos os irmãos
for i := 0 to ListBrothers.Count-1 do
begin
    SchBrother := ListBrothers(i);
    SchBrother.Destroy;
end;
//Faz do Pai o novo decisor
SchParent.Decisor := true;
//Tira definição do Elemento Diferenciador
SchParent.DifSonElement := -1;

//após uma integração, ainda pode ser possível outra
Integration(SchParent);

end

else

//Se os irmãos (decisores) não tem as mesmas expectativas,
// ainda assim, pode haver uma coerência paralela com
// os primos, sendo possível, integrar os pais
begin
    ParentIntegration(SchDecisorChanged);
end;

end;

end;
end;

```

Ainda existe um outro tipo de integração possível, realizada pelo método “ParentIntegration”. A alteração na expectativa de um decisor, mesmo que não torne possível fazê-lo reintegrar-se a seus irmãos, pode permitir a integração no nível superior (de seu pai com seus tios), desde que haja um tipo de coerência entre todos os esquemas desse nível (todos os primos). Essa coerência deve considerar a diferenciação entre esquemas, segundo os elementos diferenciadores. É uma coerência por paralelismo entre primos, e não por igualdade de expectativas, como no caso dos irmãos. Verifica-se se todos os tios diferenciam seus filhos pelo mesmo elemento, e se todos os primos são coerentes em expectativas, no sentido de que, para cada expectativa de um primo, filho de um dos tios, existe igualmente um primo correspondente, filho de cada um dos outros tios restantes.

```

procedure TAssimMind.ParentIntegration(SchDecisorChanged : TScheme);

var
  i, j, k : integer;
  S, SchParent, SchLeaf, SchUnkle, SchGrand, SchDecSon : TScheme;
  R, PossibleNewParents : TList;
  C : TSchVector;
  CoherentNewParents : boolean;

begin
  //Seleciona o Pai
  SchParent := SchDecisorChanged.ParentScheme;

  //Verifica se todos os irmãos do pai (tios) deste decisor tem:
  // - todos os seus filhos (primos do decisor) como decisores,
  // - todos os tios diferenciam os filhos pelo
  // mesmo elemento que o pai (tios compatíveis)
  // - expectativas paralelas compatíveis
  // (primos decisores, igualmente diferenciados e compatíveis)
  if DecisorsCousins(SchDecisorChanged) then
    if CompatUnkles(SchDecisorChanged) then
      begin

        SchGrand := SchParent.ParentScheme;
        PossibleNewParents := TList.Create;
        If SchGrand.SubordSchemes.Count > 1 then
          begin

            //Pega cada primo e coloca suas folhas
            //num novo possível decisor
            for i := 0 to SchGrand.SubordSchemes.Count-1 do
              begin
                SchUnkle := SchGrand.SubordSchemes(i);
                for j := 0 to SchUnkle.SubordSchemes.Count-1 do
                  begin
                    SchDecSon := SchUnkle.SubordSchemes(j);
                    for k := 0 to SchDecSon.SubordSchemes.Count-1 do
                      begin
                        SchLeaf := SchDecSon.SubordSchemes(k);
                        R := FindCompatDecisors(SchLeaf.Perceps,
                                                PossibleNewParents);

                        //Se houver o novo possível decisor,
                        // coloca a folha nele, senão, cria um.
                        // (Só pode haver um compatível)
                        if R.Count > 0 then
                          begin
                            S := R(0);
                          end
                        else
                          begin
                            //Cria um novo possível decisor
                            // baseado nesta folha
                            S := CreateNewDecisor(SchLeaf);
                            PossibleNewParents.Add(S);
                          end;
                          S.SubordSchemes.Add(SchLeaf);
                        end;
                      end;
                    end;
                  end;
                end;
              end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;

  //Verifica se essa nova distribuição seria coerente

```

```

CoherentNewParents := true;
for i := 0 to PossibleNewParents.Count-1 do
begin
  S := PossibleNewParents(i);
  if not CoherentSons(S) then
  begin
    CoherentNewParents := false;
    Break;
  end;
end;

//Se deu tudo certo, efetiva a integraçao
if CoherentNewParents then
begin
  //Deserda Velhos Parents, matando-os e
  //matando seus filhos (velhos Decisores)
  while SchGrand.SubordSchemes.Count > 0 do
  begin
    SchParent := SchGrand.SubordSchemes(0);
    SchGrand.SubordSchemes.Delete(0);
    while SchParent.SubordSchemes.Count > 0 do
    begin
      SchDecSon := SchParent.SubordSchemes(0);
      SchParent.SubordSchemes.Delete(0);
      SchDecSon.Free;
    end;
    SchParent.Free;
  end;
  //Inclui os Novos Decisores na Lista de Esquemas
  // e na Lista de Filhos do Avô
  //Faz as folhas reconhecerem seus novos pais
  for i := 0 to PossibleNewParents.Count-1 do
  begin
    S := PossibleNewParents(i);
    Schemes.Add(S);
    SchGrand.SubordSchemes.Add(S);
    S.ParentScheme := SchGrand;
    for j := 0 to S.SubordSchemes.Count-1 do
    begin
      SchLeaf := S.SubordSchemes(j);
      SchLeaf.ParentScheme := S;
    end;
  end;
  //Preenche expectativas dos novos pais
  for i := 0 to PossibleNewParents.Count-1 do
  begin
    S := PossibleNewParents(i);
    for j := 0 to S.SubordSchemes.Count-1 do
    begin
      SchLeaf := S.SubordSchemes(j);
      S.InCreation := true;
      if not SchLeaf.InCreation then
      begin
        S.InCreation := false;
        S.Expects := SchLeaf.Expects;
        break;
      end;
    end;
  end;
  if not S.InCreation then
  for j := 0 to S.SubordSchemes.Count-1 do
  begin
    SchLeaf := S.SubordSchemes(j);
    if not SchLeaf.InCreation then
      ConstructExpectsFromLeafs(S)
  end;
end;

```

```
        //Vê se não é possível realizar novas integrações
        // possibilidades pela realização dessa
        S := PossibleNewParents(0);
        Integration(S);

        end;

    end;

end;

end;
```

### 5.3 Experimentos

Realizamos um experimento de simulação utilizando o software desenvolvido como resultado deste trabalho, que implementa um agente inteligente com mecanismos cognitivos inspirados na teoria psicológica construtivista e estruturas corporais e emocionais, compatíveis com a proposta apresentada nos capítulos anteriores.

O universo virtual onde ocorre o experimento constitui-se de um ambiente bidimensional (uma grade de células), onde cada célula pode conter uma parede ou ser um espaço vazio. O agente só pode estar em espaços vazios, e tem capacidade de realizar três ações: andar uma célula para frente, virar-se para a esquerda ou virar-se para a direita (nesses casos, realizando uma rotação de 90 graus). A cada instante de tempo, o agente deve executar uma das três ações. O agente anda livremente através das células vazias, mas sofre uma colisão se tentar andar na direção de uma parede que esteja imediatamente à sua frente.

Na figura 5.17, pode-se ter idéia do ambiente, representado por uma grade bidimensional, onde as células escuras são paredes, as células claras são espaços vazios, e a célula em destaque é o agente, que está enxergando uma célula a sua frente.

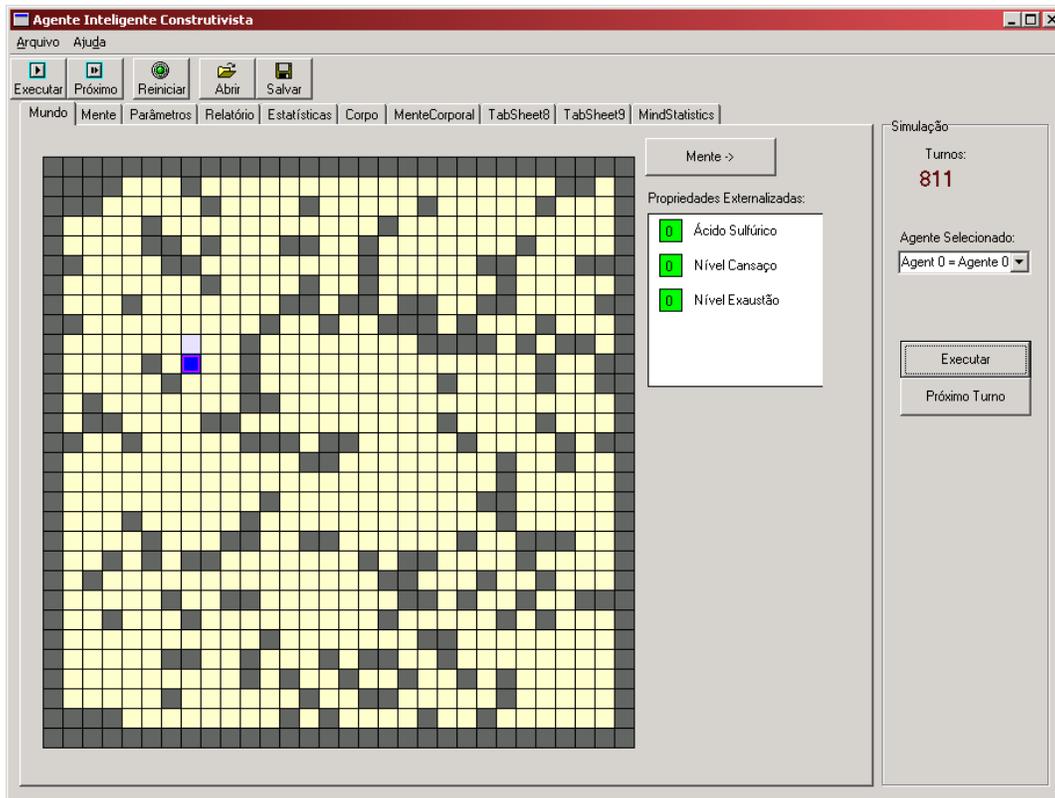


Figura 5.17: Ambiente de Simulação

Além das colisões, quando o agente anda por muito tempo, ele cansa. Então a idéia do experimento é que o agente aprenda a andar pelo ambiente sem colidir-se com as paredes, e também sem ficar exausto.

### 5.3.1 Descrição do Universo e de seus Objetos

O Universo é composto por apenas um plano perceptivo, chamado de “Plano Físico-Sólido”. Neste plano existem 3 tipos de elementos diferenciáveis: os espaços vazios (claros) as paredes (escuros) e o agente. Cada célula da grade bidimensional (que representa o espaço total do universo) estará marcada com um desses elementos a cada instante.

Existem, assim, dois tipos de objetos, que coincidem com os elementos perceptivos do plano perceptivo descrito (o espaço vazio não está ligado a nenhum tipo de objeto). O tipo de objeto “Parede” não possui eventos associados. Já o tipo de objeto “Agente” possui quatro eventos associados. Os eventos “Andar Pra Frente”, “Virar à Direita” e “Virar à Esquerda” dão a possibilidade do agente agir, e são, em princípio, disparados pelo corpo, e pela mente desse objeto (que representa, portanto, além de um objeto físico, um organismo e um agente). O quarto evento “Impacto”, refere-se à colisão, que será descrita como fenômeno, sendo necessário que um evento seja modelado no objeto, para que desencadeie as conseqüências internas e externas necessárias.

O único fenômeno modelado no universo é a colisão. Este fenômeno, como já explicado anteriormente, ocorre quando um agente tenta andar para a célula onde existe uma parede. A descrição completa do universo pode ser lida na tabela 5.1.

Tabela 5.1: Descrição do Universo Experimental

UniverseType.Name		= "Universo"	
UniverseType.NumPlanes		= 1	
①	Plane.Name	= Plano Físico Sólido	
	Plane.EmptyElement	= "Elemento Branco (vazio)"	
	Plane.NumElements	= 3	
	①	Element.Name	= "Elemento Branco (vazio)"
		Element.Color	= <i>White</i>
	②	Element.Name	= "Elemento Preto (parede)"
		Element.Color	= <i>Black</i>
	③	Element.Name	= "Elemento Azul (agente)"
		Element.Color	= <i>Blue</i>
UniverseType.NumObjectTypes		= 2	
①	ObjType.Name	= "Objeto Parede"	
	ObjType.PlanesRepresentation	= 1	
	ObjType.IdxElement	= "Elemento Preto"	
	ObjType.NumEvents	= 0	
②	ObjType.Name	= "Objeto Agente"	
	ObjType.PlanesRepresentation	= 1	
	ObjType.IdxElement	= "Elemento Azul"	
	ObjType.NumEvents	= 4	
	①	Event.Name	= "MoverFrente"
		Event.Style	= MoveSelfTo
		Event.Direction (parameter)	= front
		Event.Distance (parameter)	= 1
	②	Event.Name	= "RotarEsq"
		Event.Style	= TurnSelfLeft
		Event.Angle (parameter)	= 90°
	③	Event.Name	= "RotarDir"
		Event.Style	= TurnSelfRight
		Event.Angle (parameter)	= 90°
	④	Event.Name	= "Impact"
		Event.Style	= InternalEvent
Event.Message (parameter)		= "Impacto"	
UniverseType.NumPhenomena		= 1	
①	Phenomenoum.Name	= "Bater na Parede"	
	Phenomenoum.NumConditions	= 2	
	①	Cond.Type	= EventIs
		Cond.Value	= MoveSelfTo
	②	Cond.Type	= DestinationContainsObjectType
		Cond.Value	= "Objeto Parede"
	Phenomenoum.NumConseq	= 1	
	①	Cons.Type	= SendEventToOriginalObject
		Cons.Message	= "Impacto"
	Phenomenoum.InterruptOriginEvent	= true	

### 5.3.2 Descrição do Organismo do Agente

O agente possui cinco propriedades internas (corporais): *Ácido Sulfúrico*, *Ácido Láctico*, *Nível de Cansaço*, *Nível de Exaustão* e *Endorfina*<sup>9</sup>. O *Ácido Sulfúrico* aumenta quando o agente colide com uma parede, ficando em nível elevado no organismo do agente durante um instante. O metabolismo do agente elimina-o no instante seguinte a sua ocorrência. *Ácido Láctico* é uma variável que pode assumir valores entre 0 e 19. A cada vez que o agente anda, o ácido láctico sobe um ponto, quando ele não anda, desce um ponto. Esta variável ativa outras duas: nível de cansaço, quando atinge 14 pontos, e nível de exaustão quando atinge 15 pontos. A endorfina é uma enzima virtual que se faz presente no corpo do agente quando ele anda, apenas durante o instante imediatamente seguinte.

Dessa maneira, a dinâmica de variação dos valores dessas propriedades internas é regulada por algumas funções metabólicas. Duas delas estão associadas ao ácido sulfúrico, uma que aumenta seu valor, e é desencadeada pela colisão, outra, que diminui seu valor uma vez que ele tenha subido. Outras duas estão associadas de forma análoga à endorfina e ao ácido láctico, uma aumenta seus valores e é desencadeada pela ação de andar do agente, outra diminui seus valores quando o agente não está andando. Por fim, mais quatro funções metabólicas fazem parte do funcionamento orgânico do agente, e estão relacionadas a eventos internos. Quando os níveis de ácido láctico atingem os valores descritos anteriormente, funções metabólicas específicas aumentam ou diminuem os sinalizadores de cansaço e exaustão.

As propriedades internas do agente, bem como as funções metabólicas que regulam sua variação estão descritas nas seguintes tabelas 5.2 e 5.3.

Tabela 5.2: Propriedades Internas

Nome:	Valores:
- Ácido Sulfúrico	(false, true)
- Ácido Láctico	(0..20)
- Nível Cansaço	(false, true)
- Nível Exaustão	(false, true)
- Endorfina	(false, true)

Tabela 5.3: Funções Metabólicas

Nome:	Tipo	Alteração
Sentir Dor	Evento Externo	Se Evento Externo = Impacto Então: Ácido Sulfúrico := 1
Cessar Dor	Cíclico	Ácido Sulfúrico := 0
Sentir Prazer	Consequência	Se Ação = Ir Pra Frente Então:

<sup>9</sup> Embora estejamos utilizando nomes relacionados à enzimas do corpo humano, não é nosso objetivo modelar o funcionamento dessas enzimas no agente. Embora haja uma pequena correlação, os nomes têm aqui apenas um papel ilustrativo.

	de Ação	Endorfina := 1
Cessar Prazer	Cíclico	Endorfina := 0
Cansar	Consequência de Ação	Se Ação = Ir Pra Frente Então: Ácido Lático := Ácido Lático + 1
Descansar	Cíclico	Ácido Lático := Ácido Lático - 1
Sentir Cansaço	Interna	Se Ácido Lático >= 14 Então: Nível Cansaço := 1
Cessar Cansaço	Interna	Se Ácido Lático < 14 Então: Nível Cansaço := 0
Sentir Exaustão	Interna	Se Ácido Lático >= 15 Então: Nível Exaustão := 1
Cessar Exaustão	Interna	Se Ácido Lático < 15 Então: Nível Exaustão := 0

O agente possui cinco percepções. Quatro delas são internas, e dizem respeito ao ácido sulfúrico, cansaço, exaustão e endorfina. Note-se que a propriedade interna *ácido lático* não tem uma percepção interna correspondente, portanto não é diretamente percebida pelo agente. Apenas uma das cinco percepções é externa, e esta representa um tipo de visão. A *visão* permite ao agente distinguir o que está na célula imediatamente à sua frente.

Todas as percepções internas possuem propriedades corporais correspondentes. Primeiramente, o corpo do agente é sensível ao impacto externo, transformando isso numa percepção interna de dor. Ao mesmo tempo, o próprio metabolismo corporal cancela a dor no instante seguinte à sua ativação, fazendo com que o agente só sinta dor durante um instante, imediatamente após a colisão. O cansaço é uma propriedade que é ativada quando o agente repete muitas vezes a ação de andar. O metabolismo corporal naturalmente elimina esta sensação quando a ação causadora se encerra. A tabela 12.4 mostra a descrição completa do tipo de organismo utilizado no experimento.

Tabela 5.4: Descrição do Organismo Experimental

UniverseType.NumOrganismTypes		= 1
OrganismType.Name		= "Agente"
OrganismType.idxObjType		= "Objeto Agente"
OrganismType.NumProperties		= 5
⊖	Prop.Name	= "Ácido Sulfúrico"
	Prop.NumStates	= boolean (true, false)
	Prop.DefValue	= false
⊕	Prop.Name	= "Ácido Lático"
	Prop.NumStates	= 20, (0..19)
	Prop.DefValue	= 0
⊗	Prop.Name	= "Nível Cansaço"
	Prop.NumStates	= boolean (true, false)
	Prop.DefValue	= false
⊘	Prop.Name	= "Nível Exaustão"

	Prop.NumStates	= boolean (true, false)	
	Prop.DefValue	= false	
⊕	Prop.Name	= “Endorfina”	
	Prop.NumStates	= boolean (true, false)	
	Prop.DefValue	= false	
	OrganismType.NumExtPercepTypes	= 1	
⊖	ExtPercepType.Name	= Visão	
	ExtPercepType.Reach	= 1	
	ExtPercepType.Amplitude	= 1	
	ExtPercepType.Style	= FrontalSquare (1x1)	
	ExtPercepType.RefPlane	= “Plano Físico-Sólido”	
	OrganismType.NumIntPercepTypes	= 4	
⊖	IntPercepType.Name	= “Dor”	
	IntPercepType.RefProperty	= “Ácido Sulfúrico”	
(1)	IntPercepType.Name	= “Cansaço”	
	IntPercepType.RefProperty	= “Nível Cansaço”	
(2)	IntPercepType.Name	= “Exaustão”	
	IntPercepType.RefProperty	= “Nível Exaustão”	
(3)	IntPercepType.Name	= “Prazer”	
	IntPercepType.RefProperty	= “Endorfina”	
	OrganismType.NumExternalEffectors	= 1	
⊖	ExtEffector.Name	= “MonoFeet”	
	ExtEffector.NumExtActionTypes	= 3	
	⊖	ExtActionType.Name	= “Andar pra Frente”
		ExtActionType.RefObjEvent	= “MoverFrente”
	(1)	ExtActionType.Name	= “Virar à Direita”
		ExtActionType.RefObjEvent	= “RotarDir”
⊖	ExtActionType.Name	= “Virar à Esquerda”	
	ExtActionType.RefObjEvent	= “RotarEsq”	
	OrganismType.NumIntEffectors	= 0	
	OrganismType.NumIntEventSensibility	= 4	
⊖	IntEventSens.Name	= “Sente Cansaço”	
	IntEventSens.ConditionType	= “Property = Value”	
	IntEventSens.ConditionRefProperty	= “Ácido Láctico”	
	IntEventSens.ConditionValue	= 14	
	IntEventSens.ConsequenceOperation	= “Property := Value”	
	IntEventSens.ConsequenceRefProperty	= “Nível Cansaço”	
	IntEventSens.ConsequenceValue	= true	
⊖	IntEventSens.Name	= “Elimina Cansaço”	
	IntEventSens.ConditionType	= “Property = Value”	
	IntEventSens.ConditionRefProperty	= “Ácido Láctico”	
	IntEventSens.ConditionValue	= 13	
	IntEventSens.ConsequenceOperation	= “Property := Value”	
	IntEventSens.ConsequenceRefProperty	= “Nível Cansaço”	
	IntEventSens.ConsequenceValue	= false	
(1)	IntEventSens.Name	= “Sente Exaustão”	
	IntEventSens.ConditionType	= “Property = Value”	
	IntEventSens.ConditionRefProperty	= “Ácido Láctico”	
	IntEventSens.ConditionValue	= 15	
	IntEventSens.ConsequenceOperation	= “Property := Value”	
	IntEventSens.ConsequenceRefProperty	= “Nível Exaustão”	
	IntEventSens.ConsequenceValue	= true	
(2)	IntEventSens.Name	= “Elimina Exaustão”	
	IntEventSens.ConditionType	= “Property = Value”	
	IntEventSens.ConditionRefProperty	= “Ácido Láctico”	
	IntEventSens.ConditionValue	= 14	

	IntEventSens.ConsequenceOperation	= "Property := Value"
	IntEventSens.ConsequenceRefProperty	= "Nível Exaustão"
	IntEventSens.ConsequenceValue	= false
	OrganismType.NumExtEventSensibility	= 1
⊖	ExtEventSens.Name	= "Sente Dor"
	ExtEventSens.Msg	= "Impacto"
	ExtEventSens.ConsequenceOperation	= "Property := Value"
	ExtEventSens.ConsequenceRefProperty	= "Ácido Sulfúrico"
	ExtEventSens.ConsequenceValue	= true
	OrganismType.NumActEventSensibility	= 4
⊖	ActEventSens.Name	= "Cansar"
	ActEventSens.VectorValue	= ("Andar Pra Frente")
	ActEventSens.ConsequenceOperation	= "Property := Property + Value"
	ActEventSens.ConsequenceRefProperty	= "Ácido Láctico"
	ActEventSens.ConsequenceValue	= +1
⊖	ActEventSens.Name	= "Sensação de Andar"
	ActEventSens.VectorValue	= ("Andar Pra Frente")
	ActEventSens.ConsequenceOperation	= "Property := Value"
	ActEventSens.ConsequenceRefProperty	= "Endorfina"
	ActEventSens.ConsequenceValue	= true
	OrganismType.NumTimeEventSensibility	= 3
⊖	TimeEventSens.Name	= "Diminuição Natural da Endorfina"
	TimeEventSens.Style	= Cyclical
	TimeEventSens.RefEvent	= null
	TimeEventSens.Cycle	= 1
	TimeEventSens.ConsequenceOperation	= "Property := Value"
	TimeEventSens.ConsequenceRefProperty	= "Endorfina"
	TimeEventSens.ConsequenceValue	= false
⊖	TimeEventSens.Name	= "Diminuição Natural do Sulfúrico"
	TimeEventSens.Style	= Cyclical
	TimeEventSens.RefEvent	= null
	TimeEventSens.Cycle	= 1
	TimeEventSens.ConsequenceOperation	= "Property := Value"
	TimeEventSens.ConsequenceRefProperty	= "Endorfina"
	TimeEventSens.ConsequenceValue	= false
⊖	TimeEventSens.Name	= "Diminuição Natural do Ác.Láctico"
	TimeEventSens.Style	= Cyclical
	TimeEventSens.RefEvent	= null
	TimeEventSens.Cycle	= 1
	TimeEventSens.ConsequenceOperation	= "Property := Propert + Value"
	TimeEventSens.ConsequenceRefProperty	= "Ácido Láctico"
	TimeEventSens.ConsequenceValue	= -1

### 5.3.3 Descrição da Mente do Agente

No que se refere às emoções, nosso experimento limitou-se a implementar elementos do subsistema avaliativo, não utilizando nem o subsistema emocional nem o subsistema reativo. Existem três gatilhos emocionais no sistema avaliativo. Dois deles despertam valores emocionais negativos, e são ativados na percepção interna de dor e de exaustão. O outro gatilho emocional retorna um valor emocional positivo para a presença de endorfina. Assim, o sistema emocional do agente indicará um valor avaliativo negativo para qualquer situação de dor ou exaustão, e resultará num tipo de prazer quando o agente andar.

A mente recebe de forma não diferenciada a informação proveniente dos sensores externos (visão) e internos (dor, prazer, cansaço e exaustão), agregando-os como elementos de um vetor conjunto de entrada. Da mesma forma ocorre com o vetor de saída, que neste caso é equivalente ao único efector do organismo, que é externo.

A avaliação inicial de cada esquema é de 0.5, e o limiar para a certeza está estabelecido em 0.999. De acordo com a fórmula descrita no algoritmo para reavaliação dos esquemas, é preciso que um esquema tenha sucesso por pelo menos nove vezes consecutivas para que o sistema cognitivo o considere um esquema confiável. Quando um esquema é corrigido, por qualquer um dos mecanismos de ajuste, sua avaliação volta ao valor inicial. A avaliação de um esquema é levada em conta na hora da tomada de decisão, pois existe uma chance de ser escolhido um esquema cujo valor avaliativo emocional não é o melhor, desde que esse esquema ainda não esteja bem testado (ou seja, ainda não tenha atingido o limiar de certeza). Existe um parâmetro no sistema cognitivo que define se o esquema será escolhido por ter maior valor emocional, ou se por curiosidade, para ser testado. Na nossa experiência inicial, o valor de curiosidade (*KnowledgeDesire*) está definido em 0.5, o que significa que, em metade das situações, quando ainda há esquemas incertos, o mecanismo optará por experimentá-los. Esses parâmetros estão mostrados na tabela 12.5.

Como o sistema cognitivo constrói expectativas para suas ações em cada contexto percebido, e incorpora o valor emocional dessas expectativas a seus esquemas cognitivos, espera-se que o agente procure evitar conduzir-se a situações emocionais desagradáveis (dor e exaustão), e busque as situações agradáveis (prazer).

Tabela 5.5: Descrição dos parâmetros da mente utilizada no experimento

UniverseType.NumMindTypes		= 1
MindType.Name		= "Mente"
MindType.RefCognitiveModel		= "AssimilativeMind"
(iii)	SchVector.Size	= 5
	SchVector.NumElements	= (2, 2, 2, 2, 2)
	SchVector.DefaultValues	= (0, 0, 0, 0, 0)
(ino)	SchVector.Size	= 1
	SchVector.NumElements	= (3)
	SchVector.DefaultValues	= (0)
MindType.NumEmotionTriggers		= 3
(0)	EmotionTrigger.Context	= (1, x, x, x, x)
	EmotionTrigger.Value	= -1.0
(1)	EmotionTrigger.Context	= (x, x, 1, x, x)
	EmotionTrigger.Value	= -0.8
(2)	EmotionTrigger.Context	= (0, x, 0, 1, x)
	EmotionTrigger.Value	= +0.4
MindType.KnowledgeDesire		= 0.5
MindType.LimCertainty		= 0.999
MindType.InitialFitness		= 0.5

### 5.3.4 Resultados do Experimento

Os resultados do experimento foram positivos. O agente, implementado como descrito, após algum tempo de interação com o ambiente, aprende as situações que o levam a diferentes estados emocionais, e, com isso, passa a evitar àqueles estados emocionalmente negativos, e realiza as ações que o levam a estados emocionalmente positivos. A tabela 12.6 exemplifica (de maneira simplificada) os conhecimentos que o agente construiu regularmente na experiência.

Tabela 5.6: Principais esquemas aprendidos com carga emocional

Contexto:	Ação:	Expectativa:
- Se estiver vendo uma parede	Andar	Sentirá dor.
- Se estiver cansado	Andar	Poderá ficar exausto.
- Em qualquer situação	Andar	Sentirá prazer.
- Se estiver cansado	Virar-se	Não ficará exausto.
- Em qualquer situação	Virar-se	Não sentirá dor nem prazer.

Foram realizadas centenas de simulações, modificando as condições iniciais do ambiente, e o agente teve um desenvolvimento semelhante em todos eles. A figura 5.18 mostra a evolução típica do desempenho do agente, no que diz respeito a evitar a exaustão e a colisão. Inicialmente, ocorrem muitas colisões, conforme o conhecimento do agente se estabiliza, tais eventos negativos deixam de ocorrer. A figura 5.19 mostra a evolução cognitiva do agente, que em determinado momento atinge a estabilidade, não sofrendo mais desequilíbrios, e estando apto a assimilar todas as situações que o ambiente apresenta.

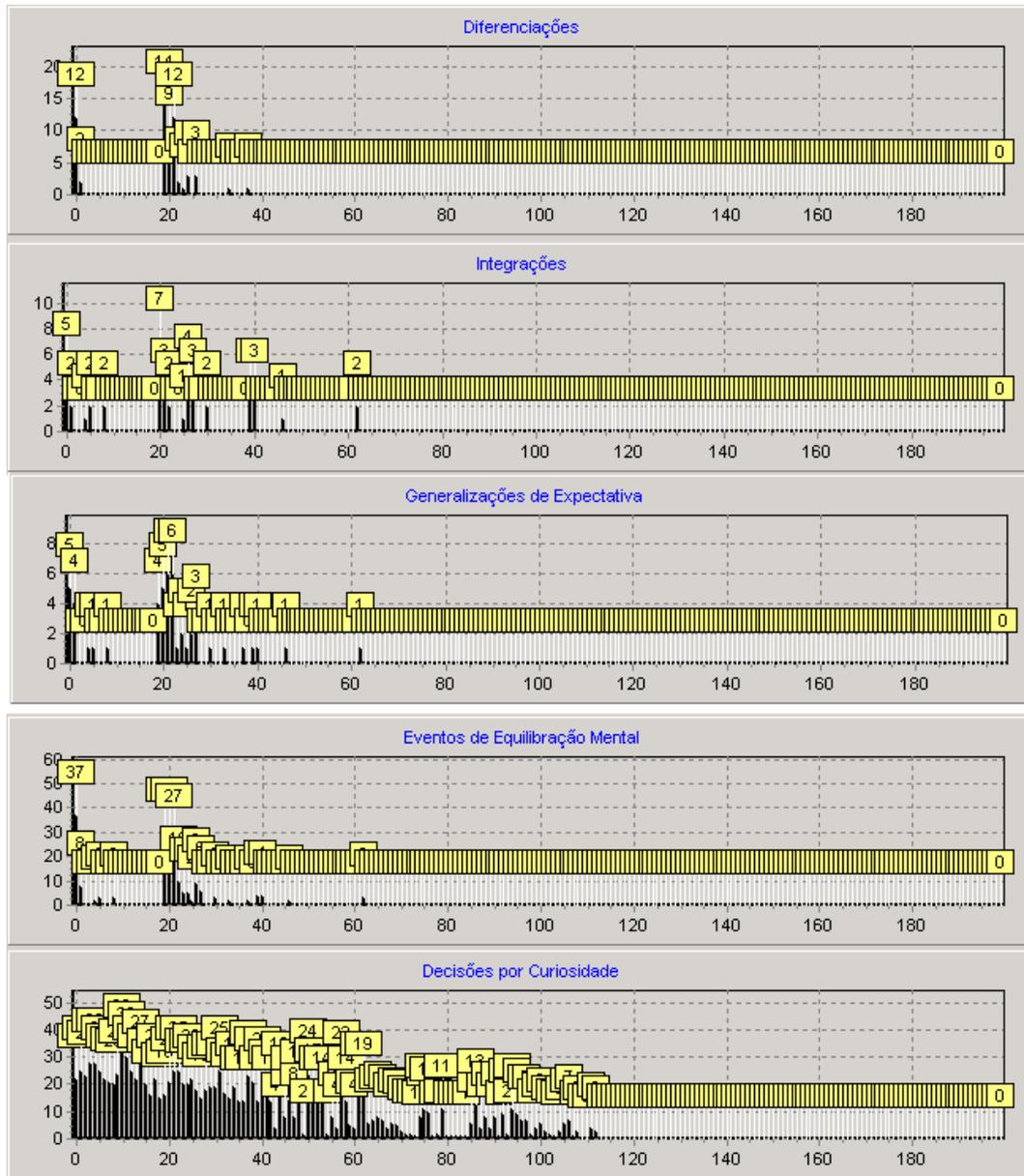


Figura 5.18: Gráficos que demonstram a ocorrência dos processos de aprendizagem, durante o desenvolvimento cognitivo do agente.



## 6 CONCLUSÕES E CONTINUIDADE

Acreditamos ter podido realizar, com este trabalho, uma redefinição das maneiras de conceber o sujeito humano, e a partir daí, imaginar a arquitetura para um agente artificial inteligente e autônomo.

Em primeiro lugar, distinguimos a noção clara de que é preciso considerar a imensa capacidade do ser humano de construir estruturas intelectuais, e desenvolver a própria inteligência. Ao mesmo tempo, essa flexibilidade deve ser encerrada numa estrutura biológica específica, que orienta as possibilidades e limites desse desenvolvimento, e fornece uma série de recursos cognitivos inatos, com os quais e a partir dos quais a inteligência simbólica irá se desenvolver.

Em segundo lugar, percebemos que a mente está diretamente conectada, intrincada e integrada ao corpo. Também as emoções e os sistemas cerebrais da regulação biológica estão fortemente ligados e envolvidos nos sistemas racionais e conceituais construídos nas estruturas neocorticais.

No que diz respeito ao agente artificial, fortaleceu-nos a noção de que é preciso ter clareza quanto aos limites e potencialidades que cada arquitetura estabelece, e a partir dela, que mecanismos construtivos são possíveis, e para onde conduzirão o desenvolvimento do agente, considerado, então, como uma totalidade num dado ambiente.

Se visto como um mecanismo para resolver problemas, a arquitetura de agente proposta por nós aqui não merece grande destaque, uma vez que suas limitações são sérias, e outras técnicas mais populares de IA poderiam resolver os mesmos problemas com mais eficiência. Por outro lado, quando visto como a semente de um projeto maior, que visa a compreensão e a construção de um mecanismo artificial de inteligência realmente diferenciado, então nosso agente adquire valor frente as propostas contemporâneas de desenvolvimento em IA, uma vez que traz consigo os ideais de uma IA Forte.

Assim, o modelo apresentado é o de um agente básico, é o de uma arquitetura preliminar, mas que permite vislumbrar a realização de expansões qualitativamente importantes.

Nosso agente mostrou-se capaz de descobrir as regularidades de qualquer ambiente que venha a habitar, considerando-se, evidentemente, suas limitações de agente instantâneo e sensório-motor.

Como continuidade deste trabalho, está estabelecida a necessária busca por um agente construtivista mais cognitivo, que apresente temporalidade e conceitualização, ilustrados na Figura 6.1. Nessa perspectiva, a alternativa sugerida é possibilitar ao agente construir múltiplos conjuntos de esquemas relacionados, fazendo variar o significado da percepção e da atuação de forma que estas também façam referência à própria atividade cognitiva.

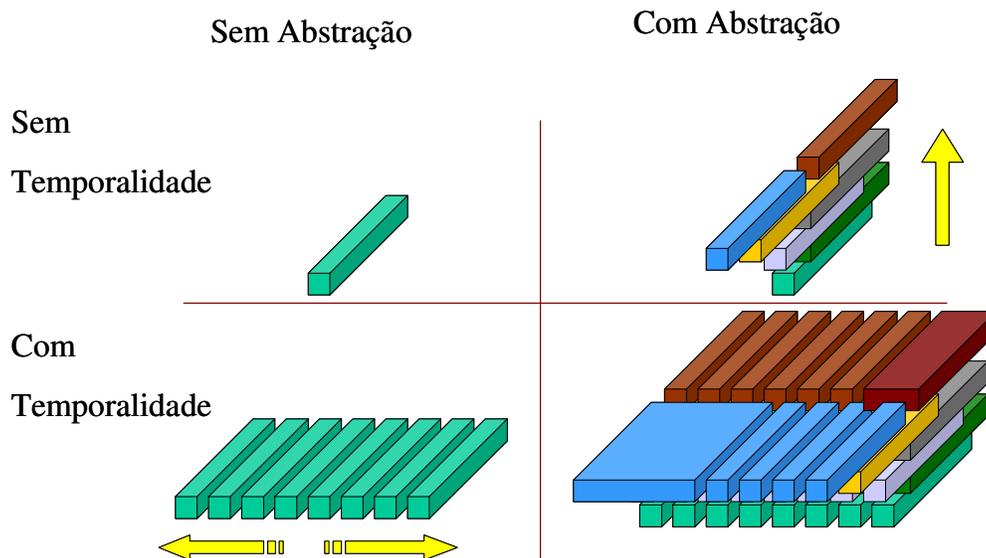


Figura 6.1: Uma representação do aumento de capacidade de construção cognitiva a partir da inclusão da percepção temporal e da abstração.

Como principal contribuição para a área de Inteligência Artificial, este trabalho oferece uma nova arquitetura para um agente computacional inteligente fundamentado em princípios da IA Construtivista. Mais que isso, se for possível dar continuidade à arquitetura, fazendo as extensões sugeridas, nossa proposta poderá alcançar um resultado singular, uma vez que é muito incipiente a pesquisa de modelos com capacidade de aprendizagem que trate sistemas complexos. Deste modo, o objetivo de trabalhos futuros, a serem desenvolvidos, é incorporar mecanismos à arquitetura do agente, que lhe adicionem as seguintes capacidades:

- **Percepção temporal:** O agente deve ser capaz, não só de identificar regularidades nas percepções instantâneas de um contexto, mas também perceber contextos distribuídos no tempo, onde uma seqüência de acontecimentos ou ações forma um conjunto significativo; essa capacidade é um pré-requisito para que seja possível a emergência, no agente, de planejamentos e memórias.
- **Formação de conceitos abstratos:** O agente deve ser capaz de superar suas formas de percepção, não se limitando às meras percepções elementares, sensoriais, mas construindo conceitos mais abstratos; a formação desses novos conceitos permite ao agente construir novas ferramentas para compreender sua própria realidade em níveis mais complexos.
- **Desenvolvimento de múltiplos sistemas de conhecimento:** O agente deve ser capaz de construir subconjuntos de percepções, que representariam domínios

específicos de conhecimento; tais domínios representariam sistemas de conhecimento dinâmicos, em interação e criadores de significados próprios e sujeitos a adaptações específicas, durante o processo adaptativo do agente.

- **Construção de operações de transformação entre sistemas:** O agente deve ser capaz de construir operações regulares de transformação entre sistemas e entre esquemas, impedindo assim, que o conhecimento seja reduzido a um banco de registros de casos, e permitindo que o agente não só conheça a regularidade dos fenômenos, mas desenvolva também uma compreensão sistemática das transformações pelas quais o mundo se desenvolve.
- **Inferência de hipóteses:** O agente também não pode esperar que todos os casos aconteçam para que ele tenha um conhecimento deles; é preciso haver um mecanismo de inferência de conhecimentos a partir do que já se é sabido; o mecanismo deve possibilitar a existência de hipóteses concorrentes, que mais tarde se consolidarão em novos esquemas, ou mesmo em novos sistemas.
- **Tratamento de incertezas e contradições:** A possibilidade de que o agente especule hipoteticamente sobre seu universo requer que o sistema cognitivo seja capaz de conviver com contradições temporárias, e incertezas quanto à validade dos próprios esquemas, ao mesmo tempo em que deve buscar solucionar tais conflitos cognitivos. As experiências de descoberta de conhecimento no mundo real (que envolve desde modelos de IA, até teorias científicas) mostram que é preciso uma certa maleabilidade no que diz respeito ao estabelecimento de certezas.
- **Integração modular de outros mecanismos de aprendizagem:** É recorrente nas literaturas em ciências cognitivas (RAPP, 2001), (LURIA, 1979), (PINKER, 1997), (DAMÁSIO, 1996) que a mente organiza-se em módulos muitas vezes não hierárquicos, mas sim coordenados, e que esses módulos podem ter propriedades de funcionamento especiais, mesmo no nível fisiológico. Assim, seria interessante imaginar que a mente do agente fosse constituída de uma espécie de “sociedade da mente” (MINSKY, 1985), onde pode ser interessante que determinados módulos tenham uma constituição distinta de outros, e isso sendo inatamente dado, ou mesmo constituído por uma meta-organização durante o desenvolvimento do agente. A Psicologia Construtivista está, sem dúvida, de acordo com essa perspectiva sistêmica da mente, desenhada através de módulos de conhecimento específicos e interativos.

## REFERÊNCIAS

- BARRETO, J. M. **Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI**. São Paulo: UniCamp, 1999.
- BECKER, F. **Educação e Construção do Conhecimento**. Porto Alegre: ArtMed, 2001.
- BECKER, F. **A Origem do Conhecimento e a Aprendizagem Escolar**. Porto Alegre: ArtMed, 2003.
- BELPAEME, T.; STEELS, L.; VAN LOOVEREN, J. The construction and acquisition of visual categories. In: EUROPEAN WORKSHOP LEARNING ROBOTS, EWLR, 6., 1997, Brighton. **Learning Robots: proceedings**. Berlin: Springer-Verlag, 1998. (Lecture Notes in Computer Science, 1545).
- BERCHT, M. **Em Direção a Agentes Pedagógicos com Dimensões Afetivas**. 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- BITTENCOURT, G. **Inteligência Artificial: ferramentas e teorias**. São Paulo: Ed. da UniCamp, 1996.
- BIRK, A.; PAUL, W. Schemas and Genetic Programming. **Studies in Cognitive Systems**, Boston, v.26, n.1, 2000.
- BROOKS, R. A. Intelligence Without Representation. **Artificial Intelligence Journal**, Essex, UK, v. 47, p.139–159, 1991.
- BODEN, M. **As Idéias de Jean Piaget**. São Paulo: Cultrix, 1983.
- BUCHANAN, B. **A Brief History of Artificial Intelligence**. 2002. Disponível em: <<http://www.aaai.org/AITopics/bbhist.html>>. Acesso em: fev. 2004.
- CAÑAMERO, D. **A hormonal model of emotions for behavior control**. Brussels, Belgium: Vrije Universiteit Brussel, 1997.
- CELERRIÈR, G; INHELDER, B. **O desenrolar das descobertas da criança: um estudo sobre as microgêneses cognitivas**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- COELHO, H. **Sonho e Razão**. 2. ed. Lisboa: Relógio d'Água, 1999.
- COLHEART, M. Assumptions and Methods in Cognitive Neuropsychology. In: RAPP, B. **The Handbook of Cognitive Neuropsychology**. Philadelphia: Psychology Press, 2001.
- COSTA, A. C. R. **Inteligência Artificial Construtivista: princípios gerais e perspectivas de cooperação com a informática na educação**. 1995. Relatório de Pesquisa

– Instituto de Informática, UFGRS, Porto Alegre.

COSTA, A. C. R. **Inteligência de Máquina**: esboço de uma abordagem construtivista. 1993. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFGRS, Porto Alegre.

COSTA, A. C. R. **Para uma Revisão Epistemológica da Inteligência Artificial**. 1986a. Relatório de Pesquisa – Instituto de Informática, UFGRS, Porto Alegre.

COSTA, A. C. R. **Sobre os Fundamentos da Inteligência Artificial**. 1986b. Relatório de Pesquisa – Instituto de Informática, UFGRS, Porto Alegre.

COSTA, A. C. R. Made-Up Minds Book Review. **Journal of Logic and Computation**, Oxford, v.5, n.3, p.571-572, 1993.

COSTA, A. C. R.; DIMURO, G. P. **Needs and Functional Foundation of Agent Autonomy**. 2003. Disponível em: <<http://gmc.ucpel.tche.br/imqd/artigos/needs-03-04-06.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2004.

DAMÁSIO, A. **O Erro de Descartes**: emoção, razão e o cérebro humano. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

DAVIDSSON, P. On the concept of concept in the context of autonomous agents. In: WORLD CONFERENCE ON THE FUNDAMENTALS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 2., 1995. **Proceedings...** Paris: Angkor Press, 1995. p.85-96.

DE JONG, E. D. Autonomous Concept Formation. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IJCAI, 16., 1999, Stockholm, Sweden. **Proceedings...** San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999. v.2, p. 344-349.

DENNETT, D. **Kinds of Minds**. New York: Basic Books, 1996.

DRESCHER, G. **Mid-Up Minds**: A Constructivist Approach to Artificial Intelligence. Cambridge: MIT Press, 1991.

FLAVELL, J. **A Psicologia do Desenvolvimento de Jean Piaget**. São Paulo: Pioneira, 1996.

FRANKLIN, S. Autonomous Agents as Embodied AI. **Cybernetics and Systems**, Washington, v.28, n.6, p.499-520, 1997.

FRANKLIN, S.; GRAESSER, A. Is it an Agent, or just a program? A taxonomy for autonomous agents. In: **Intelligent Agents III**: Agent Theories, Architectures, and Languages. Heidelberg: Springer, 1996.

GIDDENS, A. **Conversas com Giddens**. São Paulo: FGV, 1998.

GOLDBERG, D. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. Menlo Park: Addison-Wesley, 1989.

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

HOLLAND, J. Genetic Algorithms. **Scientific American**, New York, v.267, n.1, p. 44-50, 1992.

IMBERT, M. Neurociências e Ciências Cognitivas. In: ANDLER, D. (Org.). **Introdução às Ciências Cognitivas**. São Leopoldo: Ed. da UNISINOS, 1998.

- JULIA, D. **Dicionário da Filosofia**. Rio de Janeiro: Larousse do Brasil, 1969.
- KOHONEN, T. **Self-Organization and Associative Memory**. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- LEDoux, J. **The Emotional Brain**. New York: Simon and Schuster, 1996.
- LOCKE, J. **Ensaio acerca do Entendimento Humano**. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (Os Pensadores).
- LURIA, A. **The Making of Mind: A Personal Account of Soviet Psychology**. Cambridge: Harvard University Press, 1979.
- MAES, P. Artificial Life Meets Entertainment: Life like Autonomous Agents. **Communications of the ACM**, New York, v.38, n.11, p108-114, 1995.
- MATURANA, H. **Da Biologia à Psicologia**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.
- MAUSS, M. **Sociologia e Antropologia**. São Paulo: USP, 1974.
- McCorduck, P. **Machines Who Think**. San Francisco: Freeman, 1979.
- McCulloch, W.; Pitts, W. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. **Bulletin of Mathematical Biophysics**, Grosso Point Park, USA, v.5, p.115-137, 1943.
- MINSKY, M. **The Society of Mind**. New York: Simon & Schuster, 1985.
- MINSKY, M. A framework for representing knowledge. In: WINSTON, P. H. (Ed.). **The Psychology of Computer Vision**, New York: McGraw-Hill, 1975. p.211-277.
- MONTANGERO, J.; MAURICE-NAVILLE, D. **Piaget ou a Inteligência em Evolução**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.
- MÜLLER, J-P.; RODRIGUEZ, M. A Constructivist Approach to Autonomous Systems. In: GROWING MIND SYMPOSIUM, 1996, Genebra. **Proceedings...** [S.l : s.n.], 1996.
- MUÑOZ, M. **Proposta de Modelo Sensorio Cognitivo inspirado na Teoria de Jean Piaget**. 1999. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- MUÑOZ, M. **Estudos de Inteligência Artificial Construtivista**. 1997. Monografia – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- NEWELL, A. The Knowledge Level. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v.2, n.2, p. 87-127, 1980.
- NEWELL, A. Physical Symbol Systems. **Cognitive Science**, Norwood, v.4, p.135-183, 1980.
- NILSSON, N. **Principles of Artificial Intelligence**. New York: Springer, 1982.
- ORTONY, A.; CLORE, G.; COLLINS, A. **The Cognitive Structure of Emotions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- PEROTTO, F. **Como é compreendida a expressão ‘Inteligência Artificial’ neste início de século XXI? traços preliminares para uma resposta**. 2002. Monografia – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- PIAGET, J. **O Nascimento da Inteligência na Criança**. 2.ed. Rio de Janeiro: Zahar,

1975a.

PIAGET, J. **A Construção do Real na Criança**. 2.ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1975b.

PIAGET, J. **A Formação do Símbolo na Criança**. 2.ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1975c.

PIAGET, J. O tempo e o desenvolvimento intelectual da criança. In: PIAGET, J. **Problemas de Psicologia Genética**. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (Os Pensadores).

PIAGET, J. **Biologia e Conhecimento**. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 2000.

PIAGET, J. **A Equilíbrio das Estruturas Cognitivas**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PIAGET, J. The relation of affectivity to intelligence in the mental development of the child. **Bulletin of the Menninger Clinic**, [S.l.], v.26, n.3, 1962.

PIAGET, J. O Desenvolvimento Mental da Criança. In: PIAGET, J. **Seis Estudos de Psicologia**. 24. ed. Rio de Janeiro: Forense, 2002.

PIAGET, J. Problems of Equilibration. In: GRUBER, E.; VONÈCHE, J. **The Essential Piaget**. London: Routledge e Kegan Paul, 1977. p. 838-841.

PINKER, S. **Como a Mente Funciona**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

RAPP, B. (Ed.). **The Handbook of Cognitive Neuropsychology**. Hove, UK: Psychology Press, 2001.

RUSSELL, S.; NORVING, P. **Artificial Intelligence: a Modern Approach**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1995.

SIMON, H.; KAPLAN, C. Foundations of Cognitive Science. In: POSNER, M. **Foundations of Cognitive Science**. Cambridge: MIT Press, 1993.

SIMONS, G. L. **Introdução à Inteligência Artificial**. Lisboa: Clássica, 1986.

SLOMAN, A. Architectural Requirements for Human-like Agents Both Natural and Artificial (what sorts of machine can love?). In: DAUTENHAHN, K. (Ed.). **Human Cognition and Social Agent Technology**. London: John Benjamins, 1999a.

SLOMAN, A. Review of Affective Computing. **Artificial Intelligence Magazine**, [S.l.], v.20, n.1, p.127-133, 1999b.

SMITH, D. C.; CYPHER, A.; SPOHRER J. KidSim: Programming Agents Without a Programming Language. **Communications of the ACM**, New York, v.37, n.7, p.55-67, 1994.

TEIXEIRA, J. F. **Mente, Cérebro e Cognição**. Petrópolis: Vozes, 2000.

TURING, A. Computação e Inteligência. In: TEIXEIRA, J. F. (Org). **Cérebros Máquinas e Consciência: Uma introdução à filosofia da mente**. São Carlos: Ed. da UFSCar, 1996.

VARGAS, P. **Uso de Sistemas Classificadores**. Campinas: UniCamp, 2000.

VELÁSQUEZ, J. Modeling Emotions and Other Motivations in Synthetic Agents. In: CONFERENCE ON INNOVATIVE APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, IAAI, 14., 1997. **Proceedings...** Providence, Rhode Island: AAI Press, 1997. p.10-15.

VICARI, R. M. (Org). **Fundamentos da Inteligência Artificial: Relatório da**

Disciplina de Projeto de Pesquisa I (comp36), realizada no 2. sem/92. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1993. (RP215).

WAZLAWICK, R. **Aquisição de Conceitos em Agentes Sensório-Motores: O Problema da Regulação dos Campos Conceituais.** Florianópolis: UFSC, 1996.

WAZLAWICK, R. **Um Modelo Operatório Para a Construção do Conhecimento.** 1993. Tese (Doutorado em Computação) – PPGEP, UFSC, Florianópolis.

WOOLDRIDGE, M.; JENNINGS, N. R. Intelligent Agents: Theory and Practice. **Knowledge Engineering Review**, [S.l.], v.10, n.2, p.115-152, 1995.